

# **RECONNAISSANCE DES FORMES EN SISMIQUE DE PUIITS TROIS COMPOSANTES AVEC EXTRACTION AUTOMATIQUE DU SIGNAL D'APPRENTISSAGE PAR FILTRE POLINE**

**Zahia BENAÏSSA\*, Abdelkader BENAÏSSA\*, Tahar AÏFA\*\*, Mohamed Ali BETTIRA\*,  
Mabrouk DJEDDI\*\*\* et Amar BOUDELLA\***

---

## **RÉSUMÉ**

En sismique de puits, la technique d'enregistrement à trois composantes (3C) permet de reconstituer le mouvement réel d'une particule dans l'espace. Ce mouvement donne accès à des indications pétrophysiques intéressantes sur l'anisotropie, l'hétérogénéité, la lithologie et le changement de faciès d'un milieu donné grâce à l'étude séparée des ondes de compression (P) et de cisaillement (S). L'un des objectifs du traitement sismique est d'identifier et de séparer ou filtrer ces ondes pour une meilleure connaissance de la structure des milieux. La méthode de séparation des ondes par reconnaissance des formes, exposée ici, a pour but d'extraire efficacement, à partir d'un enregistrement de sismique de puits 3C, les ondes ressemblant à un type d'ondes préalablement choisi. Elle nécessite, néanmoins, une bonne connaissance de la forme du signal à extraire (signal d'apprentissage).

Nous montrons, sur des données réelles de sismique de puits type Profil Sismique Vertical (PSV) avec déport, que l'efficacité de cette méthode peut être grandement améliorée en introduisant un prétraitement basé sur un filtrage directionnel de polarisation par inertie (filtre POLINE). Ce prétraitement cerne les zones susceptibles de contenir les ondes P et SV de conversion ou issues de la source sur les composantes du PSV avec déport. Il permet d'identifier et d'extraire automatiquement des signaux d'apprentissage P et SV sur les enregistrements des composantes X et Z.

Par ailleurs, nous comparons les performances de la méthode de reconnaissance des formes et du filtre POLINE qui est un excellent filtre directionnel pour extraire les ondes polarisées sur des données de puits 3C. La reconnaissance des formes, qui considère l'ensemble des classes d'ondes polarisées, est puissante et offre une plus grande cohérence et une meilleure continuité des événements sismiques.

**Mots clés** - Reconnaissance des formes - Filtre POLINE - Matrice des corrélations - Valeurs et vecteurs propres associés - Ondes P et SV.

---

\* Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediène, Faculté des Sciences de la Terre, BP. 32, El-Alia, Bab-Ezzouar, Alger, Algérie. E-mail : zabendz@yahoo.fr

\*\* Géosciences-Rennes, CNRS UMR6118, Université de Rennes I, Campus de Beaulieu, 35042, Rennes cedex France. E-mail : tahar.aifa@univ-rennes1.fr

\*\*\* Université M'hamed Bougara de Boumerdès, Laboratoire de Physique de la Terre, Avenue de l'indépendance, Boumerdès, Algérie.

- *Manuscrit déposé le 26 Février 2006, accepté après révision le 30 Avril 2006.*

## PATTERN RECOGNITION IN THREE COMPONENTS WELL SEISMIC WITH AUTOMATIC EXTRACTION OF TRAINING SIGNAL USING POLINE FILTER

### ABSTRACT

In well seismic, the technique of three components (3C) recording allows to reconstitute the real movement of a particle in space. This movement gives access to interesting petrophysical indications about anisotropy, heterogeneity, lithology and facies change of a given medium when separating compressional (P) and shear (S) waves. One of the aims of the seismic processing is to identify and separate these waves for a better knowledge of the subsurface. The wave separation method studied here, using a pattern recognition deals with extraction of waves in agreement with a previous selected type of waves from a 3C seismic recording. It requires, nevertheless, a very good knowledge of the signal shape to be extracted (training signal).

Using an offset Vertical Seismic Profile (VSP) type well survey, we show that the efficiency of this method can be largely improved by introducing a pre-processing based upon a polarization filtering obtained from inertial matrix (poline directional filter). This pre-processing is to identify and automatically extract P and SV training signals from recordings of X and Z components.

In addition, comparison of the performances of the pattern recognition method with the best directional filter to extract the polarized waves on three components well seismic data shows that the pattern recognition, which considers the whole classes of polarized waves, is powerful and offers a greater coherence and a better continuity of the seismic events regarding the poline filter.

**Key words-** Pattern recognition - Poline filter - Correlation matrix - Eigen values - Eigen vectors- P and SV waves.

### 1. INTRODUCTION

En sismique de puits, dans le cas d'un Profil Sismique Vertical (PSV) avec déport, chaque composante présente la contribution de différents trains d'ondes, à savoir les ondes primaires P, les ondes secondaires verticales SV et horizontales SH, montantes et descendantes (de conversion ou issues de la source). Un grand déport entre la source et la sonde triaxiale rend le phénomène de conversion encore plus important. La séparation des ondes P et SV sur les composantes X et Z (la composante Y ne contenant que des ondes SH) est très importante en sismique de puits car l'analyse combinée des ondes de compression et de cisaillement permet de renforcer la caractérisation du gisement d'un point de vue

structure et lithologie.

Il existe plusieurs méthodes de séparation des champs d'ondes. Elles peuvent être classées en trois familles : les méthodes à gabarit, les méthodes d'inversion et les méthodes matricielles (Glangeaud et Mari, 1994). La méthode que nous proposons dans ce travail peut s'apparenter à la troisième famille; elle est fondée sur la théorie de « la reconnaissance des formés » et consiste en une reconnaissance de signaux le long d'une trace sismique. Celle-ci s'effectue par comparaison de la forme du signal avec celle du modèle d'apprentissage. Elle s'appuie sur la théorie vectorielle des signaux qui assimile tout signal discret de longueur N échantillons à un vecteur de dimension N (Belaïd

RECONNAISSANCE DES FORMES EN SISMIQUE DE PUIITS TROIS COMPOSANTES AVEC EXTRACTION AUTOMATIQUE  
DU SIGNAL D'APPRENTISSAGE PAR FILTRE POLINE

et Belaïd, 1992). La méthode consiste en la projection de la trace sismique sur un sous-espace engendré par les premiers vecteurs propres de la matrice des corrélations, construite à partir du signal d'apprentissage ou onde choisie (Michaud, 1985). Ce procédé exige un signal d'apprentissage P ou SV selon le filtrage désiré, bien défini, donc correctement prélevé sur la trace sismique.

Jusque là, la détection des zones susceptibles de contenir ces ondes sur les enregistrements de sismique de puits type PSV avec déport est effectuée manuellement, par localisation des zones où le trièdre (X, Y, Z) capte, en fonction du rapport profondeur-déport les différents types d'ondes en fonction de leur polarisation (Mari *et al.*, 1998; Michaud, 1985; Benhama *et al.*, 1988). Toutefois, une confusion entre deux types d'ondes peut facilement se produire et mener à une interprétation erronée, vu la complexité des phénomènes de conversion et d'interférence des ondes. Un préfiltrage s'avère donc nécessaire. Nous montrons dans ce qui suit, l'intérêt d'utiliser conjointement la méthode de reconnaissance des formes avec le filtre directionnel de polarisation par inertie (filtre POLINE). Le filtre POLINE permet une identification sûre et une extraction automatique du signal d'apprentissage. De plus, cette combinaison nous permet de faire une comparaison entre les résultats obtenus par reconnaissance des formes avec ceux obtenus après filtrage par polarisation d'inertie.

## 2. PRINCIPES MATHÉMATIQUES DE LA RECONNAISSANCE DES FORMES

La reconnaissance des formes, basée essentiellement sur l'intelligence artificielle, couvre de vastes domaines. Elle a pour objectif de reconnaître, parmi un ensemble de formes (objet), une forme préalablement choisie (concept). En sismique, l'objet représente la trace et le concept une onde que l'on veut extraire ou suivre dans celle-ci.

Tout système de reconnaissance des formes comprend deux étapes, à savoir l'étape d'apprentissage et l'étape d'interprétation ou de décision (Belaïd et Belaïd, 1992).

### Étape d'apprentissage

Cette étape, appelée aussi étape de paramétrisation, consiste à déterminer des paramètres bien représentatifs du modèle choisi. L'ondelette qui correspond à l'arrivée du type d'ondes à identifier est appelée signal d'apprentissage. A trois dimensions, ce dernier correspond à un signal de longueur  $3N$  échantillons et est représenté par le vecteur  $\vec{S}$  tel que :

$$\vec{S}^T = \{[X_a(1), X_a(2), \dots, X_a(N)]; [Y_a(1), Y_a(2), \dots, Y_a(N)] \\ [Z_a(1), Z_a(2), \dots, Z_a(N)]\}$$

où  $\vec{S}^T$  est le vecteur transposé de  $\vec{S}$ .

On définit la matrice des corrélations M de ce signal d'apprentissage  $\vec{S}$  par:

$$M = \begin{bmatrix} M_{XX} & M_{XY} & M_{XZ} \\ M_{YX} & M_{YY} & M_{YZ} \\ M_{ZX} & M_{ZY} & M_{ZZ} \end{bmatrix}$$

où

$M_{XX}$ ,  $M_{YY}$ ,  $M_{ZZ}$  sont les matrices d'auto-corrélation telles que (I représente X, Y ou Z):

$$M_{II} = \begin{bmatrix} a_0 & a_1 & \dots & a_{N-2} & a_{N-1} \\ a_1 & a_0 & \dots & \dots & a_{N-2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{N-2} & \dots & \dots & a_0 & a_1 \\ a_{N-1} & a_{N-2} & \dots & a_1 & a_0 \end{bmatrix}$$

avec:

$$a_k = \sum_{m=1}^{N-k} I_a(m) I_a(m+k) \quad (1)$$

et  $M_{xy}$ ,  $M_{yx}$ ,  $M_{xz}$ ,  $M_{zx}$ ,  $M_{zy}$ ,  $M_{yz}$  les matrices d'intercorrélation des composantes X, Y et Z telles que (I et J représentent X, Y ou Z):

$$M_{IJ} = \begin{bmatrix} a_0 & a_1 & \dots & a_{N-2} & a_{N-1} \\ a_{-1} & a_0 & \dots & \dots & a_{N-2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{-N+2} & \dots & \dots & a_0 & a_1 \\ a_{-N+1} & a_{-N+2} & \dots & a_{-1} & a_0 \end{bmatrix}$$

avec:

$$a_k = \sum_{m=1}^{N-k} I_a(m) J_a(m+k) \quad k \geq 0 \quad (2)$$

$$a_k = \sum_{m=1}^{N-k} I_a(m-k) J_a(m) \quad k < 0.$$

La matrice des corrélations M est une matrice carrée, réelle, symétrique, définie, non négative et de dimension  $(3N \times 3N)$ . Elle possède  $3N$  vecteurs propres associés à  $3N$  valeurs propres réelles non négatives (Brezinski et Redivo-Zaglia, 2004). Ces  $3N$  vecteurs propres, une fois normalisés, forment une base orthonormée  $B_{kl}$  (base de Karhunen-Loève) de l'espace des tri signaux. Chacun d'eux est défini dans une base canonique  $B_0$  de l'espace des tri signaux par :

$$\vec{V}_i = \sum_{j=1}^{3N} V(j,i) \vec{e}_j \quad (3)$$

où  $\vec{V}_i$  est le vecteur propre associé à la  $i$ ème valeur propre,  $V(j,i)$  la composante de  $\vec{V}_i$  dans la base  $B_0$  et  $\vec{e}_j$  le vecteur unitaire dans l'espace des tri signaux. Le vecteur d'apprentissage s'écrit alors dans la base  $B_{kl}$  de la façon suivante:

$$\vec{S} = \sum_{i=1}^{3N} (\vec{S} \cdot \vec{V}_i) \vec{V}_i \quad (4)$$

L'addition des valeurs propres  $\lambda_i$ , normalisées et classées par ordre décroissant, tend rapidement vers la somme de toutes les valeurs propres normalisées (100%), en considérant seulement les  $p$  premières valeurs. Ainsi, les  $p$  premières valeurs propres suffisent pour décrire correctement le signal d'apprentissage et les vecteurs propres correspondant engendrent un sous-espace de dimension  $p$ , appelé sous-espace des tri signaux propres (Ciarlet, 2002).

### Étape d'interprétation

Elle consiste en une projection de la trace sismique sur le sous-espace des tri signaux propres, de façon à ne laisser dans cette dernière que ce qui s'apparente au signal d'apprentissage. C'est l'étape d'extraction. La dimension  $p$  du sous-espace sur lequel la projection sera faite est telle que :

$$\sum_{i=1}^p \lambda_i \geq s \quad (5)$$

où  $s$  est le seuil de confiance fixé, en général, à 90%.

Un tri signal  $U(t)$  représenté dans l'espace des signaux à dimension  $3N$ , par le vecteur de composantes  $u_i$  dans la base  $B_0$ , s'écrit:

$$\vec{U} = \sum_{i=1}^{3N} u_i \vec{e}_i \quad (6)$$

et dans la base  $B_{kl}$ :

$$\vec{U} = \sum_{i=1}^{3N} (\vec{U} \cdot \vec{V}_i) \vec{V}_i = \sum_{i=1}^{3N} \alpha_i \vec{V}_i \quad (7)$$

avec:

$$\alpha_i = \sum_{j=1}^{3N} u_j V(j,i)$$

La projection de  $\vec{U}$  sur le sous-espace vectoriel de dimension  $p$ , engendré par les  $p$  premiers vecteurs propres de la matrice des corrélations du signal d'apprentissage  $\vec{S}$ , est  $\vec{U}_p$  définie par:

$$\vec{U}_p = \sum_{i=1}^p \alpha_i \vec{V}_i \quad (8)$$

et dans la base  $B_0$  par:

$$\vec{U}_p = \sum_{i=1}^{3N} \left[ \sum_{j=1}^p \alpha_j V(j,i) \right] \vec{e}_j$$

Ce qui donne en écriture matricielle:

$$\vec{U}_p = \mathcal{P} \cdot \vec{U} \quad (9)$$

où  $\mathcal{P}$  est la matrice de projection :

$$\mathcal{P} = V_p V_p^T \quad (10)$$

où  $V_p$  est la matrice des  $p$  vecteurs propres du tri signal d'apprentissage.

Cette projection revient à ne conserver du vecteur  $\vec{U}$  que l'information relative à  $\vec{S}$ . Un tri signal sismique peut être considéré comme une suite de signaux  $U(t)$  de longueur  $3N$ , chaque composante se recouvrant sur  $(N-1)$  échantillons. Sa projection revient donc à projeter séparément les signaux consécutifs qui le constituent. Le tri signal projeté est reconstruit par une opération de moyenne dans les zones de recouvrement (Michaud, 1985).

### 3. LE FILTRE POLINE

C'est un filtre directionnel, qui utilise la matrice d'inertie pour l'analyse de la qualité de la polarisation et de la direction principale de polarisation, fournies par la trajectoire de la particule. Si on considère  $N$  points, de masse unitaire, relatifs à un repère orthonormé (Oxyz), et repérés par leurs coordonnées  $(x_i, y_i, z_i)$ , la matrice d'inertie  $M_{in}$  se définit comme suit:

$$M_{in} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^N x_i^2 & \sum_{i=1}^N x_i y_i & \sum_{i=1}^N x_i z_i \\ \sum_{i=1}^N x_i y_i & \sum_{i=1}^N y_i^2 & \sum_{i=1}^N y_i z_i \\ \sum_{i=1}^N x_i z_i & \sum_{i=1}^N y_i z_i & \sum_{i=1}^N z_i^2 \end{bmatrix}$$

Cette matrice permet le calcul d'un coefficient appelé taux de polarisation  $T$  (Olson et Samson, 1980), pouvant indiquer la qualité de polarisation du nuage de points:

$$T = [k \cdot \text{Tr}(M_{in}^{-2}) - \{\text{Tr}(M_{in})\}^2] / [(k-1) \cdot \{\text{Tr}(M_{in})\}^2] \quad (11)$$

$k$  est la dimension du repère,  $M_{in}$  la matrice d'inertie et  $\text{Tr}(M_{in})$  la trace de la matrice  $M_{in}$ . Les vecteurs propres de cette matrice représentent les axes principaux de l'ellipsoïde d'inertie. Le vecteur propre correspondant à la plus grande valeur propre de la matrice  $M_{in}$  donne l'axe principal de polarisation du nuage de points.

Le principe du filtre POLINE consiste à évaluer, sur une fenêtre glissante, le taux de polarisation  $T$  ainsi que l'angle  $\alpha$  entre l'axe principal de polarisation et la direction suivant laquelle on désire effectuer le filtrage (OX, OY ou OZ). Ces deux valeurs sont rapportées au centre de la fenêtre. Une courbe  $F(t)$  de pondération est alors calculée pour chaque composante (Benhama, 1984):

$$F(t) = T(t)^m [\cos\{\alpha(t)\}]^n \quad (12)$$

$m$  et  $n$  sont des nombres positifs, représentant respectivement la puissance du taux de polarisation et la puissance du cosinus de l'angle  $\alpha$ .

La composante filtrée est obtenue par une multiplication de la composante brute par la courbe de pondération qui lui est associée. D'utilisation simple, l'efficacité de ce filtre de polarisation par inertie ou POLINE reste tributaire du choix de ses paramètres, à savoir la longueur de la fenêtre de mesure, la puissance  $m$  du taux de polarisation et la puissance  $n$  du cosinus de l'angle  $\alpha$  (Benhama, 1984).

Le filtre POLINE permet le filtrage suivant un type d'ondes désiré pour une classe de polarisation prédéfinie par ses paramètres de mesure. Il ne peut donc extraire l'ensemble des classes de polarisation appartenant à un même type d'ondes. Toutefois, il peut être un bon outil d'extraction automatique du signal d'apprentissage.

#### 4. APPLICATION À LA SÉPARATION D'ONDES P ET SV SUR DES DONNÉES RÉELLES DE SISMIQUE DE PUITS TYPE PSV AVEC DÉPORT

Les paramètres d'acquisition du PSV avec déport choisis pour cette application sont les suivants :

- la source, positionnée à 1500 m de la «gueule» du puits, est un vibroseis à deux vibrateurs, générateur d'ondes P; le signal émis est un sweep de bande fréquentielle [8-72] Hz, avec une durée de 12 s,
- le récepteur d'enregistrement est une sonde triaxiale,
- la longueur des enregistrements à chaque côte est de 4000 ms avec un pas d'échantillonnage de 2 ms,
- l'enregistrement est effectué sur 249 côtes, avec un pas de remontée de la sonde variable d'une côte à l'autre,

-la profondeur de la côte la plus proche de la surface du sol est de 880 m, et la plus profonde associée à la trace 1 est de 3600 m.

Sur la figure 1, sont représentés les enregistrements relatifs aux trois composantes X, Y et Z, après réorientation de la sonde triaxiale. Seules les traces 131 à 250 sont représentées. Une étude de la répartition de l'énergie montre que la plus grande partie de cette dernière est également répartie entre les composantes X et Z pour les faibles profondeurs et que l'énergie augmente avec la profondeur en faveur de la composante verticale. Ceci est dû essentiellement aux angles d'incidence qui diminuent en profondeur. Pour les faibles profondeurs, où les angles d'incidence sont relativement importants, une importante conversion des ondes P émises en ondes SV se produit, ce qui explique une

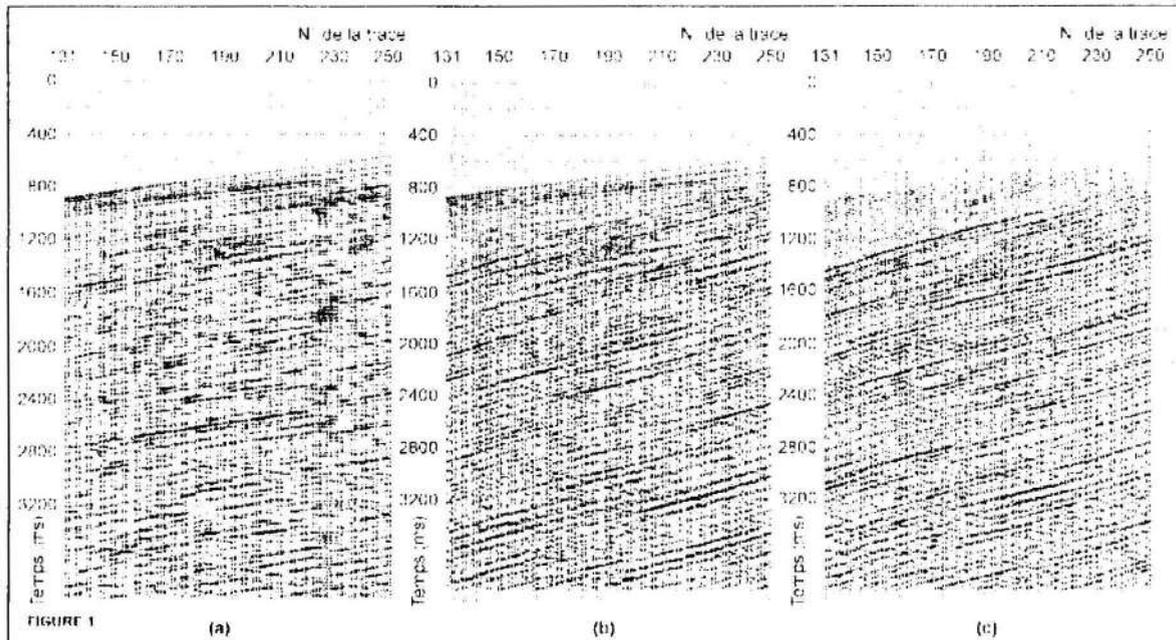


Fig. 1- PSV avec déport: données initiales. (a)-composante horizontale X réorientée; (b)- composante verticale Z; (c)- composante horizontale Y réorientée.

*Offset PSV: initial data. (a)-reoriented horizontal component X; (b)-vertical component Z; (c)- reoriented horizontal component Y.*

RECONNAISSANCE DES FORMES EN SISMOLOGIE DE PUISSES TROIS COMPOSANTES AVEC EXTRACTION AUTOMATIQUE  
DU SIGNAL D'APPRENTISSAGE PAR FILTRE POLINE

forte énergie sur la composante X. L'énergie, relativement faible (environ 10%) sur l'ensemble des niveaux d'enregistrement de la composante Y, est due essentiellement à la source émettrice d'ondes P dont l'énergie est principalement focalisée dans le plan (XOZ).

Pour procéder à la séparation des ondes P et SV sur les composantes X et Z par la méthode de reconnaissance des formes, il est important d'identifier correctement les signaux à extraire. Pour faire ressortir les zones susceptibles de contenir les ondes P et SV, on applique le filtre POLINE sur l'ensemble des composantes du PSV avec déport.

### Extraction des signaux d'apprentissage

L'extraction des motifs d'apprentissage P et SV est effectuée automatiquement sur les enregistrements X, Y et Z après application du filtre POLINE, en faisant appel à trois critères, à savoir : la qualité, la direction de polarisation et l'amplitude du signal (Benhama, 1984).

### Signal d'apprentissage P

Les composantes X et Z, après filtrage de polarisation par inertie (cf. Eq.12) suivant la direction Z, sont représentées sur la figure 2. Les paramètres du

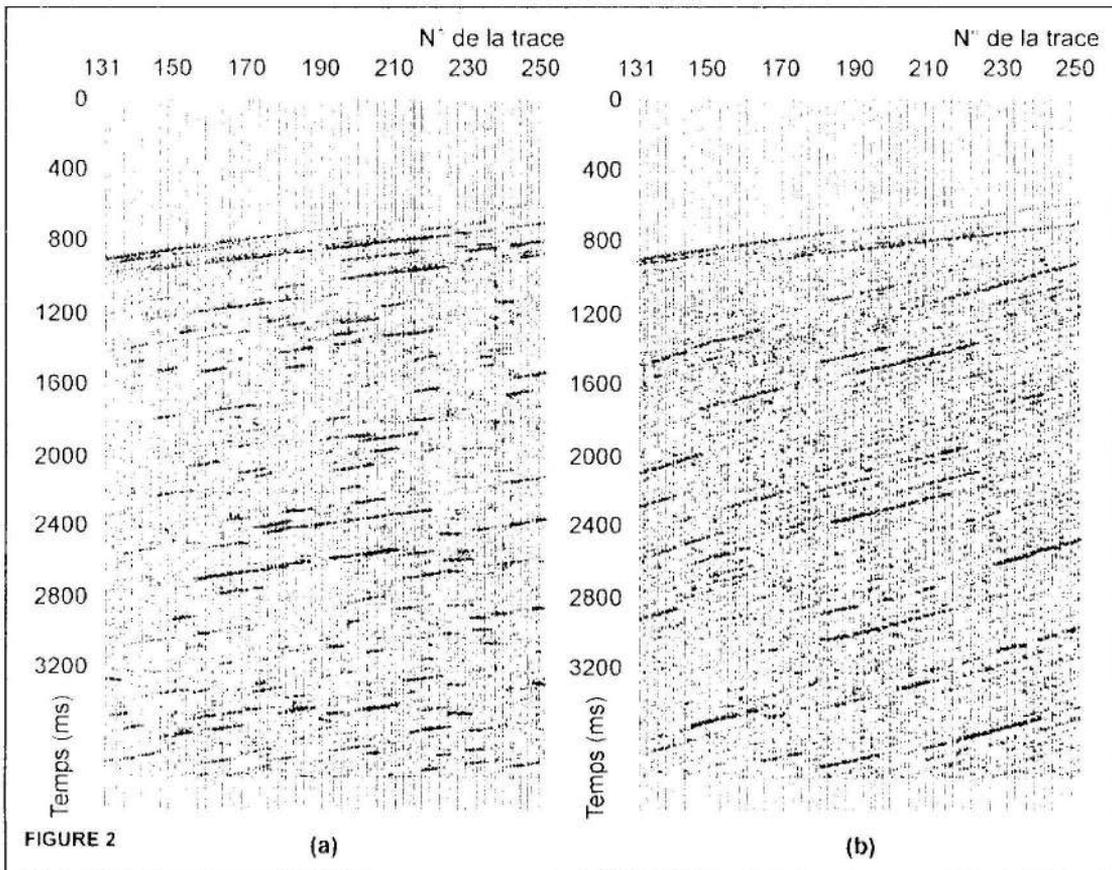


Fig. 2. Composantes X et Z, après filtrage POLINE suivant la direction Z, pour la détection des zones susceptibles de contenir les ondes P. (a)-composante horizontale X; (b)-composante verticale Z.

*Components X and Z, after POLINE filtering along direction Z, to detect zones likely containing P waves. (a)-horizontal component X; (b)- vertical component Z.*

filtre POLINE sont: longueur de la fenêtre=38 ms,  $m=1$ ,  $n=2$ ,  $T_{\text{seuil}}=0.54$ ,  $\alpha_{\text{seuil}}=38^\circ$ . Les arrivées directes P sont bien polarisées surtout aux grandes profondeurs. La majorité des événements SV qui masquaient les arrivées P sont atténués.

L'apprentissage P est extrait de la trace 147, correspondant à l'arrivée directe de la composante verticale au temps 1150 ms. Par analogie, on peut déduire le signal d'apprentissage sur les autres composantes. En fixant la pseudo période du signal à 38 ms, la dimension de l'espace des tri signaux est de 57. Les composantes X et Z du signal d'apprentissage P sont approximativement en opposition de phase, alors que la composante Y est sub-nulle (fig. 3a). La trajectoire des particules correspondant à cette arrivée montre une onde bien polarisée suivant la direction verticale, dans le plan (XOZ) (fig. 3b).

### Signal d'apprentissage SV

La figure 4 montre les composantes X et Z après filtrage (cf. Eq.12) suivant la direction X. Les paramètres du filtre POLINE sont: longueur de la fenêtre=58 ms,  $m=1$ ,  $n=2$ ,  $T_{\text{seuil}}=0.64$ ,  $\alpha_{\text{seuil}}=45^\circ$ . L'arrivée première P est fortement atténuée. Parmi les événements bien polarisés suivant X, on distingue les ondes SV surtout dans la partie supérieure de la composante X, dues à la conversion.

L'apprentissage SV est extrait de la trace 137 de la composante X à 2050 ms. La dimension de l'espace des tri signaux est égale à 87, pour une pseudo période fixée à 58 ms. Les composantes X et Z du signal d'apprentissage SV sont approximativement en phase et la composante Y est sub-nulle (fig. 5a). La trajectoire des particules correspondant à cette arrivée, montre une onde bien polarisée suivant la direction horizontale X dans le plan (XOZ) (fig. 5b).

## Application de la reconnaissance des formes

### Filtrage par l'apprentissage P

Le sous-espace de projection défini à partir du tri signal d'apprentissage P est de dimension 7. Les sept vecteurs propres qui génèrent ce sous-espace de projection correspondent aux sept premières valeurs

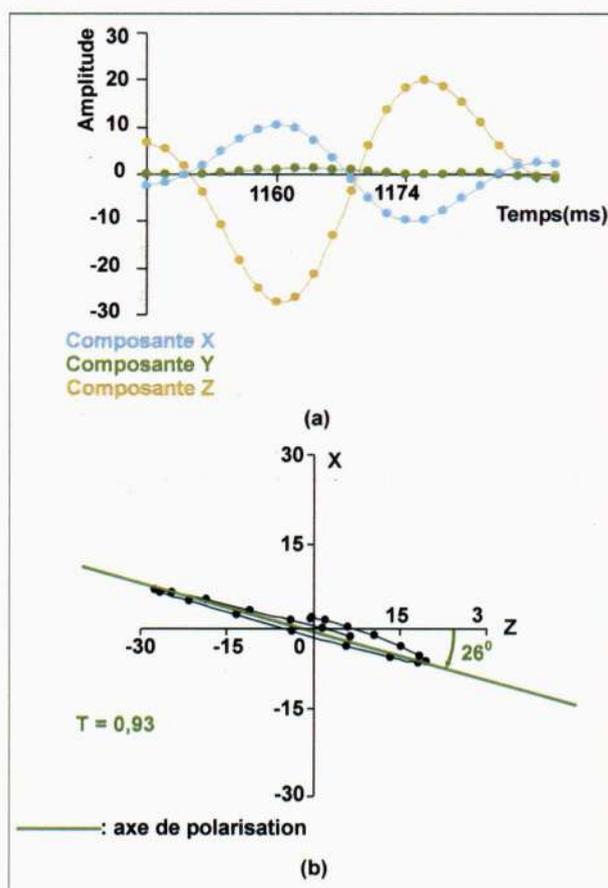


Fig. 3 - Trajectoire des particules associée au passage de l'onde P (signal d'apprentissage). Signal extrait du triplet 147 à 1150 ms, après application du filtre POLINE. (a)-tri signal d'apprentissage P; (b)-trajectoire des particules dans le plan (XOZ).

**Trajectory of the particles associated to the P wave's travel (training signal). Signal extracted from triplet 147 at 1150 ms, after application of POLINE filter. (a)-training tri signal P; (b)-particles trajectory in (XOZ) plane.**

RECONNAISSANCE DES FORMES EN SISMOLOGIE DE Puits TROIS COMPOSANTES AVEC EXTRACTION AUTOMATIQUE  
DU SIGNAL D'APPRENTISSAGE PAR FILTRE POLINE

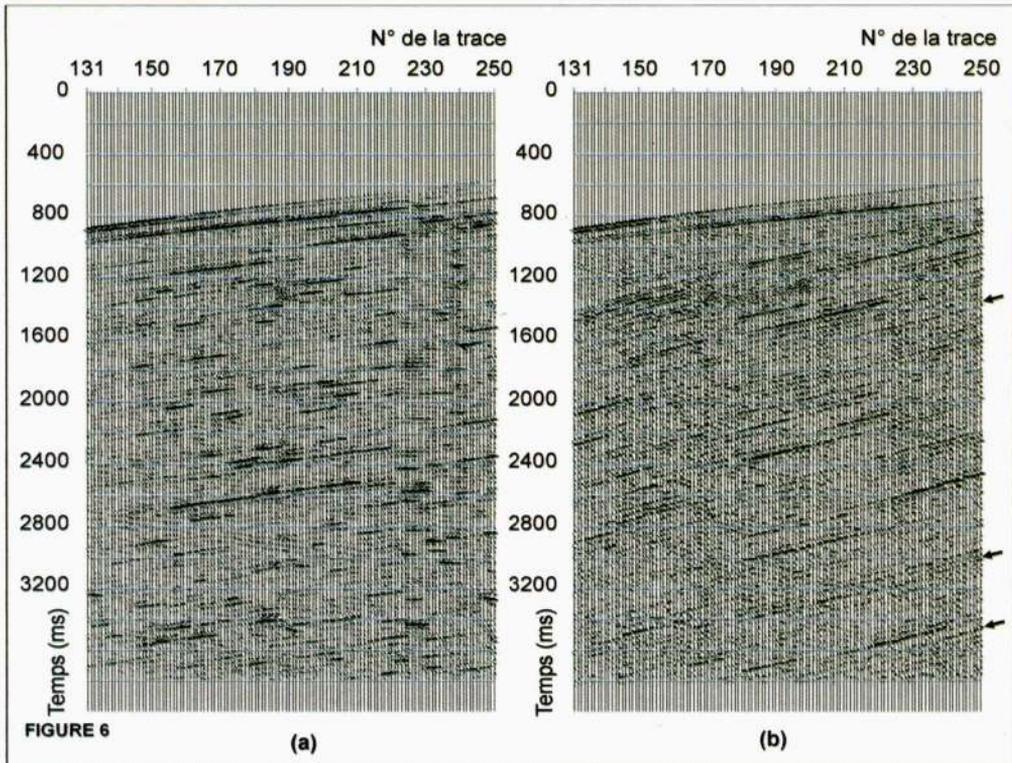


Fig. 4 - Composantes X et Z après filtrage POLINE suivant la direction X, pour la détection des zones susceptibles de contenir les ondes SV. (a)-composante horizontale X; (b)-composante verticale Z.

Components X and Z after POLINE filtering, along direction X, to detect zones likely containing SV waves. (a)-horizontal component X; (b)-vertical component Z.

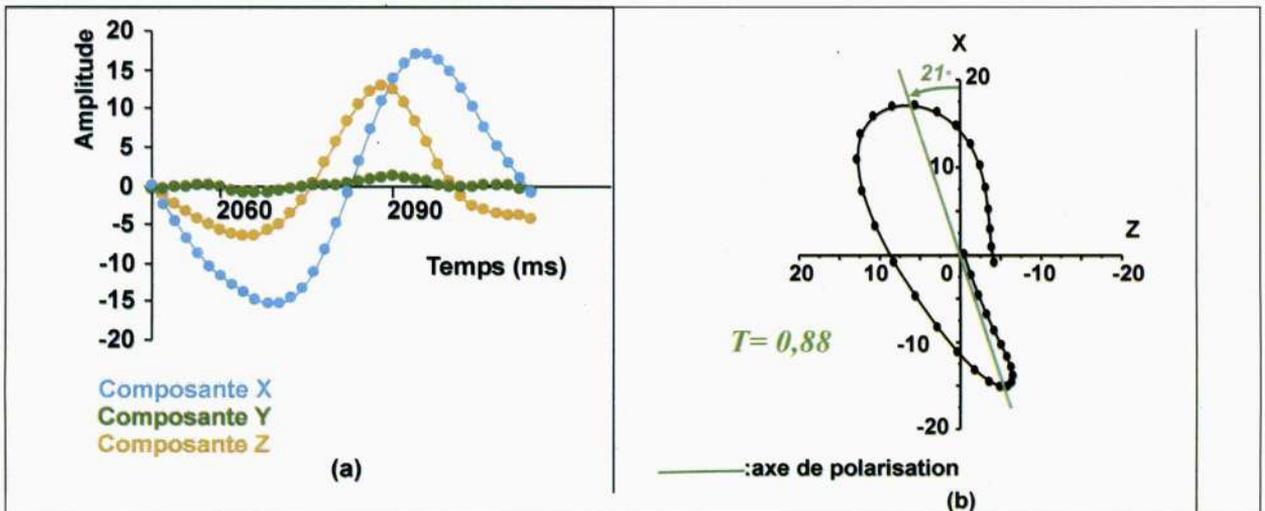


Fig. 5 - Trajectoire des particules associée au passage de l'onde SV (signal d'apprentissage). Signal extrait du triplet 137 au temps 2050 ms, après application du filtre POLINE. (a)-tri signal d'apprentissage SV. (b)-trajectoire des particules dans le plan (XOZ).

Trajectory of the particles associated to the SV wave's travel (training signal). Signal extracted from triplet 137 at 2050 ms, after application of POLINE filter. (a)-training tri signal SV; (b)-particles trajectory in (XOZ) plane.

propres. Ces dernières normalisées et cumulées ont atteint un seuil de plus de 90% (cf. Eq. 5).

Les résultats de la projection (cf. Eq.9) des deux composantes X et Z sur ce sous-espace sont représentés sur la figure 6. Sur la composante X filtrée par le motif P (Figure 6a), les événements P sont dans l'ensemble bien extraits (surtout au début de l'enregistrement entre 600 et 1000 ms sur la trace 250 et au centre entre 2300 et 2600 ms sur la trace 210). La résolution est améliorée en raison de la forte atténuation des arrivées SV. Sur la composante Z (fig. 6b), les événements SV, s'étendant pratiquement sur toutes les traces, sont dans l'ensemble atténués. En profondeur, certains événements SV (indiqués par des flèches sur la fig. 6b) ont totalement disparu.

Sur les deux composantes X et Z filtrées en onde P (fig. 6), les arrivées premières sont épurées (surtout pour la composante Z), comparées à celles qui se trouvent sur les composantes non filtrées (fig. 1a, b) qui présentent un taux de bruit élevé à son niveau. Les ondes P sont plus visibles sur les parties supérieures des composantes X et Z, dans les zones où les ondes sont conservées par le filtrage POLINE (fig. 2).

#### *Filtrage par l'apprentissage SV*

Le sous-espace de projection défini à partir du tri signal d'apprentissage SV est de dimension 9. Les neuf vecteurs propres correspondant aux neuf premières valeurs propres ont engendré ce sous-espace. Le cumul de ces valeurs propres normalisées a atteint un seuil de plus de 90% (cf. Eq. 5).

Le résultat de la projection (cf. Eq. 9) des deux composantes X et Z sur ce sous-espace est représenté sur la figure 7. Bien que l'atténuation de l'arrivée première est significative sur les composantes X et Z filtrées par le motif SV, cette dernière reste néanmoins visible sur quelques

traces (traces 140 à 210 sur la composante X, traces 145 à 205 sur la composante Z). Ceci est peut être dû, soit aux grandes amplitudes de l'onde P sur ces traces, soit à la présence de quelques résidus d'ondes S issues de la source émettrice. Pour les temps faibles, on observe une bonne extraction des ondes SV sur la composante X (fig. 7a); ceci est dû à la contribution des ondes SV issues de la conversion. Les événements P qui persistent sur cette même composante sont dus, soit aux grandes amplitudes des arrivées, soit à leur forme conforme à celle de l'apprentissage SV. Sur la composante Z (fig. 7b), les événements profonds descendants SV sont de plus en plus cohérents et présentent une meilleure continuité. Les événements montants qui étaient plus ou moins visibles sur la composante verticale brute, sont peu présents car ils sont issus des événements en ondes P descendants.

## 5. DISCUSSIONS ET CONCLUSION

Une certaine similitude est à signaler entre les composantes X et Z après filtrage POLINE (fig. 2, 4) et celles filtrées par reconnaissance des formes (fig. 6, 7). Cependant, sur les enregistrements obtenus après application du filtre directionnel, les réflexions apparaissent entrecoupées malgré la courbe de pondération  $F(t)$  (cf. Eq.12). Une grande cohérence et une bonne continuité des événements sismiques, ainsi qu'un bon rapport signal sur bruit, distinguent les enregistrements filtrés par reconnaissance des formes de ceux filtrés en polarisation par inertie.

Le filtrage POLINE ne garde qu'une certaine classe d'ondes polarisées de même type et atténue les autres, tandis que le filtrage par signal d'apprentissage permet de conserver un ensemble de classes d'ondes polarisées à condition que le signal à filtrer ne subisse pas de forts changements de gabarit, ce qui est le cas en sismique. En effet, l'impulsion émise par la source se propage et se réfléchit sur les

RECONNAISSANCE DES FORMES EN SISMIQUE DE PUITS TROIS COMPOSANTES AVEC EXTRACTION AUTOMATIQUE  
DU SIGNAL D'APPRENTISSAGE PAR FILTRE POLINE

interfaces géologiques en ne subissant que de faibles modifications. De plus, la méthode de reconnaissance des formes, en se basant sur la matrice des corrélations, réintroduit en quelque sorte le facteur temps, notion qui disparaît totalement en considérant la matrice d'inertie.

Cette technique basée sur la reconnaissance des formes ne nécessite pas d'a priori, tels que la mise à plat de l'onde à extraire comme l'exige par exemple la méthode SVD (Singular Value Decomposition), ou des tests préalables, comme pour les filtres directionnels, afin d'ajuster certains paramètres (angle de demi ouverture du cône, taux de polarisation, etc...) et le filtre SMF (Spectral Matrix Filtering) pour choisir l'opérateur de moyenne appliqué à la matrice

spectrale. Elle ne nécessite pas non plus un échantillonnage fin et régulier en distance. Par ailleurs, elle est aussi coûteuse en temps calcul que les méthodes SVD et SMF (Glangeaud et Mari, 1994). Cette méthode exige par contre, que l'ondelette qui correspond à l'onde à extraire ait une forme qui l'identifie des autres arrivées. Ce qui est le cas en général, des ondes polarisées en sismique de puits 3C, car l'expérience montre que l'arrivée d'une onde sismique se traduit par l'apparition sur la trace sismique d'un signal d'allure sinusoïdale, mais dont la longueur et la forme varient avec le type d'onde considéré (Michaud, 1985). Cependant, pour certaines valeurs du rapport départ/profondeur, il arrive qu'on ne puisse pas distinguer entre la forme d'une onde P et celle d'une onde SV; en pratique, l'onde P est donc reconnue par le motif SV et

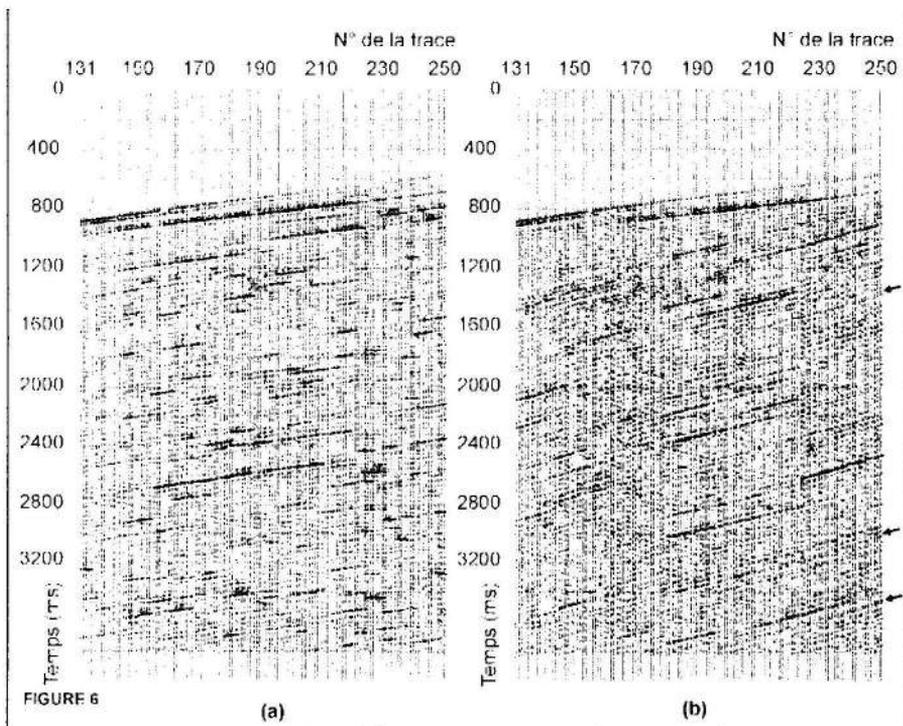


Fig. 6 - Composantes X et Z filtrées en apprentissage P par la méthode de reconnaissance des formes. (a)-composante horizontale X; (b)-composante verticale Z. Certains événements SV (indiqués par des flèches) ont totalement disparus.

*Components X and Z filtered by P training using pattern recognition method. (a)-horizontal component X; (b)-vertical component Z. Certain events (indicated by arrows) completely disappeared.*

inversement (fig. 6, 7). On parlera alors plus de filtrage que de séparation d'ondes.

La reconnaissance des formes s'avère être un bon outil de séparation de ces différents types d'ondes (P et SV), mais encore faut-il que ces dernières soient bien identifiées. Nous avons montré, dans cette étude, que l'utilisation du filtre POLINE comme prétraitement sur les données initiales de puits facilite l'identification de ces ondes. Ce premier filtrage cerne les zones susceptibles de contenir des ondes P et SV et permet ainsi d'obtenir une identification sûre et une extraction automatique des signaux d'apprentissage. L'efficacité de la méthode de séparation des ondes par reconnaissance des

formes se trouve ainsi améliorée et son utilisation facilitée.

Cette étude, qui montre encore une fois l'utilité de combiner deux méthodes de filtrage des ondes polarisées pour des résultats plus probants (Benchikh et Djeddi, 2002 ; Glangeaud et Mari, 1994), laisse prévoir une application facile et prometteuse de ce procédé, sur des données de sismique de surface 3C.

### BIBLIOGRAPHIE

BELAÏD, A., BELAÏD, Y., 1992. Reconnaissance des formes. Méthodes et Applications. *Inter Editions*, Paris, 429 p.

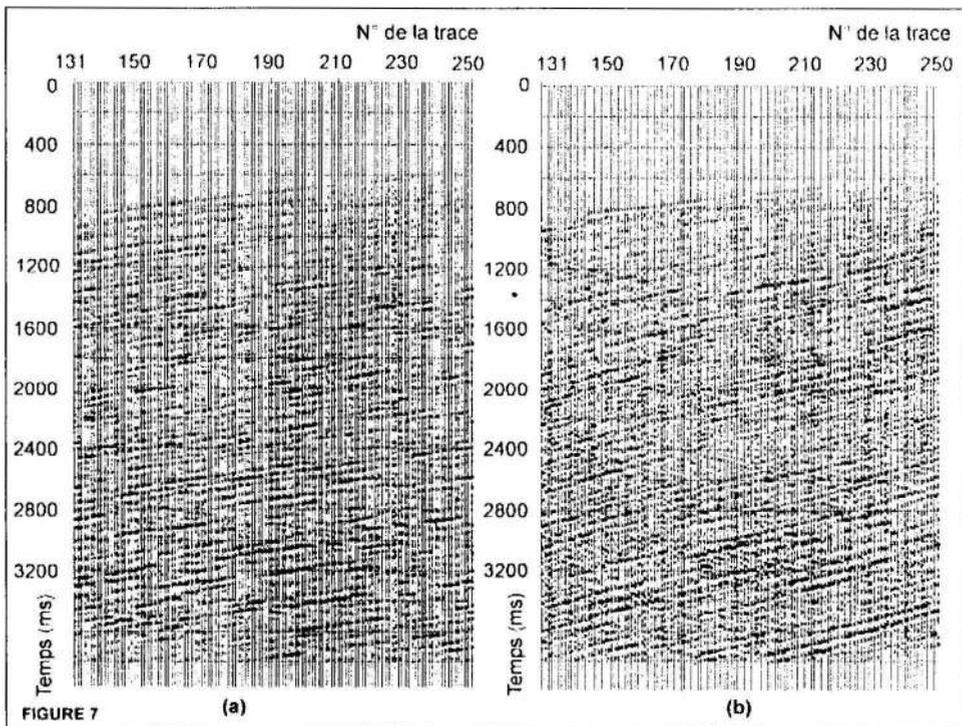


Fig. 7 - Composantes X et Z filtrées en apprentissage SV par la méthode de reconnaissance des formes. (a)-composante horizontale X; (b)-composante verticale Z.

**Components X and Z filtered by SV training using pattern recognition method. (a)-horizontal component X; (b)-vertical component Z.**

RECONNAISSANCE DES FORMES EN SISMIQUE DE PUITS TROIS COMPOSANTES AVEC EXTRACTION AUTOMATIQUE  
DU SIGNAL D'APPRENTISSAGE PAR FILTRE POLINE

- BENCHIKH, M., DJEDDI, M., 2002.** Utilisation de la transformation de Karhunen – Loève combinée avec un filtre de polarisation. Applications en sismique de surface et en sismique de puits. *Bulletin du Service Géologique de l'Algérie*, Vol. 13, n° 1, pp. 81 – 92.
- BENHAMA, A., 1984.** Le mouvement réel des particules en sismique: polarisation- détection automatique des arrivées. *Thèse de docteur- Ingénieur, Université Pierre et Marie Curie (Paris 6)*, 176 p.
- BENHAMA, A., CLIET, C., DUBESSET, M., 1988.** Study and applications of spacial directional filtering in three component recordings. *Geophysical Prospecting*, 36, pp.591-613.
- BREZINSKI, C., REDIVO-ZAGLIA, M., 2004.** Méthodes numériques directes de l'algèbre matricielle. *Ellipses Ed.*, Paris, 133p.
- CIARLET, P.G., 2002.** Introduction à l'analyse numérique matricielle et à l'optimisation. *Dunod Ed.*, Paris, 279 p.
- GLANGEAUD, F., MARI, J.L., 1994.** Wave separation. Part two: Applications. *Revue de l'Institut Français du Pétrole*. Vol. 49, n° 1, pp. 21–61.
- MARI, J-L., ARENS, G., CHAPPELLIER, D., GAUDIANI, P., 1998.** Géophysique de gisement et de génie civil. *Technip Ed.*, Paris, 488 p.
- MICHAUD, O., 1985.** Utilisation de la reconnaissance des formes en sismique trois composantes. *Document IFP*, n° 33585, 93 p.
- OLSON, J.V., SAMSON, J.C., 1980.** Some comments on the descriptions of the polarisation states of waves. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, Vol. 61, pp. 115-130.