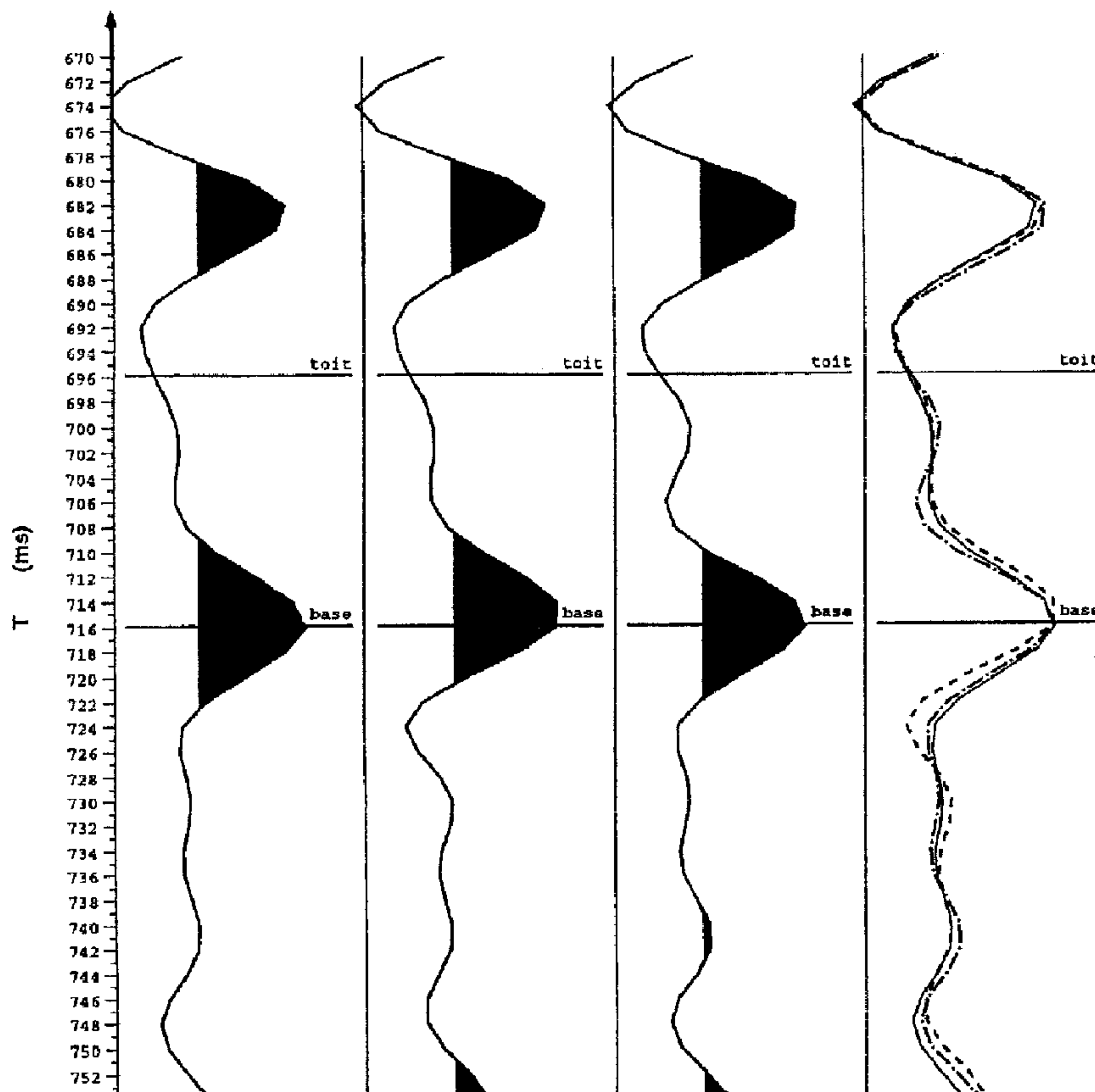




(22) Date de dépôt/Filing Date: 2002/04/25
(41) Mise à la disp. pub./Open to Public Insp.: 2002/10/27
(45) Date de délivrance/Issue Date: 2013/09/03
(30) Priorité/Priority: 2001/04/27 (FR01/05.675)

(51) Cl.Int./Int.Cl. *G01V 1/28* (2006.01),
G01V 1/30 (2006.01)
(72) Inventeurs/Inventors:
FOURNIER, FREDERIQUE, FR;
LUCET, NATHALIE, FR
(73) Propriétaire/Owner:
INSTITUT FRANCAIS DU PETROLE, FR
(74) Agent: ROBIC

(54) Titre : METHODE POUR FACILITER LE SUIVI AU COURS DU TEMPS DE L'EVOLUTION D'UNE ZONE SOUTERRAINE PAR ANALYSE COMPAREE DE DIFFERENTS JEUX D'ENREGISTREMENTS SISMIQUES
(54) Title: METHOD TO FACILITATE MONITORING OVER TIME OF SUBSURFACE AREA CHANGES THROUGH COMPARATIVE ANALYSIS OF VARIOUS SETS OF SEISMIC RECORDINGS



(57) Abrégé/Abstract:

- La présente invention concerne une méthode pour faciliter le suivi au cours du temps de l'évolution d'une zone souterraine par analyse comparée d'un certain nombre n de jeux d'enregistrements sismiques obtenus successivement à l'issue de n campagnes



(57) **Abrégé(suite)/Abstract(continued):**

sismiques 3D successives (sismique dite 4D). - La méthode comporte la mise en oeuvre d'une technique de reconnaissance des formes appliquée à l'ensemble des événements sismiques des n campagnes considérés et analysés simultanément, qui permet de faire apparaître les évolutions des événements sismiques du sous-sol. - Application au suivi des modifications intervenant dans une zone-réservoir du sous-sol en cours de production, par exemple.

PRECIS DE LA DIVULGATION :

- La présente invention concerne une méthode pour faciliter le suivi au cours du temps de l'évolution d'une zone souterraine par analyse comparée d'un certain nombre n de jeux d'enregistrements sismiques obtenus successivement à l'issue de n campagnes sismiques 3D successives (sismique dite 4D).
- La méthode comporte la mise en œuvre d'une technique de reconnaissance des formes appliquée à l'ensemble des événements sismiques des n campagnes considérés et analysés simultanément, qui permet de faire apparaître les évolutions des événements sismiques du sous-sol.
- Application au suivi des modifications intervenant dans une zone-réservoir du sous-sol en cours de production, par exemple.

METHODE POUR FACILITER LE SUIVI AU COURS DU TEMPS DE
LEVOLUTION D'UNE ZONE SOUTERRAINE PAR ANALYSE COMPAREE DE
5 DIFFERENTS JEUX D'ENREGISTREMENTS SISMIQUES

La présente invention concerne une méthode pour faciliter le suivi au cours du temps de l'évolution d'événements sismiques dans une zone d'intérêt d'une formation souterraine (une zone réservoir par exemple), par analyse comparée d'un certain nombre n
10 de jeux d'enregistrements sismiques obtenus respectivement à l'issue de campagnes sismiques 3D successives (sismique dite 4D). Il s'agit d'étudier et d'interpréter les évolutions des enregistrements sismiques qui sont liées aux évolutions des propriétés physiques de la zone, suite aux mécanismes de production par exemple.

Par événements sismiques, on entend des portions de trace sismique prélevées au
15 niveau de la zone d'intérêt sur les jeux successifs d'enregistrements ou traces. Les événements sismiques que l'on cherche à classer sont caractérisés par des attributs ou paramètres sismiques. Ces attributs peuvent être de différents types. Il peut s'agir par exemple de la succession des amplitudes de portions de traces sismiques (contenues dans la fenêtre sismique étudiée).

20 **Etat de la technique**

Les mesures sismiques sont classiquement utilisées pour fournir des informations complémentaires, par rapport aux données des forages, sur les variations des formations du sous-sol : variations lithologiques, pétrophysiques, ou de saturations en fluide. En particulier, dans le cadre de la production des réservoirs d'hydrocarbures, il est devenu
25 fréquent de répéter l'enregistrement des mesures sismiques et d'interpréter alors les variations de la mesure sismique en liaison avec les variations de saturation et de pression consécutives aux phénomènes de production du réservoir.

Une technique classique d'utilisation de ces enregistrements consiste à analyser directement les différences d'amplitude - ou de tout autre attribut sismique - entre les diverses campagnes. L'interprétation est alors souvent étayée par une modélisation du comportement acoustique du sous-sol en fonction des modifications supposées des propriétés physiques de celui-ci. On trouvera un exemple de cette approche dans :

- Johnston, D., 2000, "Using legacy seismic data in an integrated time-lapse study : Lena Field, Gulf of Mexico", The Leading Edge, 19, n°3.

L'interprétation des données basée sur des différences d'amplitude (ou de tout autre attribut des traces) peut parfois s'avérer difficile. En effet, les variations des propriétés physiques de la roche au cours du temps liées par exemple à la production du gisement, à l'utilisation de méthodes de récupération assistée, etc., entraînent des variations de l'amplitude des traces sismiques au niveau du réservoir, mais aussi des décalages en temps de ces traces (allongement ou raccourcissement de la trace). La différence entre deux traces sismiques peut donc être difficilement interprétable puisqu'elle résulte non seulement de changement d'amplitude mais aussi de décalages en temps occultant ces variations d'amplitude comme on peut le voir sur l'exemple de la Figure 1.

Une autre approche consiste à utiliser des techniques statistiques de reconnaissance des formes qui permettent de classer les événements sismiques en diverses catégories, traduisant les différents états physiques du réservoir. Ces approches sont décrites, par exemple, dans :

- Dumay, J. Fournier, F., 1988, "Multivariate statistical analyses applied to seismic facies recognition", Geophysics, 53, n° 9, pp. 1151-1159.

Leur application, dans le cas de l'interprétation de la sismique répétée, peut se faire sur les amplitudes sismiques des différentes campagnes sismiques, sur tout attribut dérivant de la trace sismique, ou sur des différences d'amplitude entre campagnes. Ces techniques de reconnaissance des formes peuvent être utilisées avec ou sans apprentissage, comme déjà décrites et mises en œuvre dans le brevet FR 2 768 818 (US 6 052 651) et la demande de brevet EN 0011618, tous les deux au nom du demandeur.

Dans le cadre de la sismique répétée, on peut trouver un exemple de classification d'événements sismiques avec apprentissage, où l'apprentissage a été effectué en utilisant

les données sismiques d'une première campagne et la classification appliquée indépendamment à cette première campagne puis à une campagne répétée, dans :

- Sonneland, L., Veire, H.F., Raymond, B., Signer, C., Pedersen, L., Ryan, S., Sayers, C., 1997, "Seismic reservoir monitoring on Gullfalks", The leading Edge, 16, n° 9, pp.1247-1252.

Afin de s'affranchir des artefacts liés au calcul des différences d'amplitude (ou au calcul des différences de tout autre attribut sismique), et pour analyser l'évolution des événements sismiques au cours du temps dans sa globalité, nous proposons une méthode permettant de classer ces événements en fonction de leur forme globale, tout en analysant simultanément dans un même ensemble les mesures sismiques issues des différentes campagnes.

La méthode selon l'invention

La méthode selon l'invention a pour but de détecter les changements physiques subis au cours du temps par une zone du sous-sol, par analyse des changements observables dans des événements sismiques caractérisés chacun par des attributs sismiques, relevés à l'intérieur d'au moins une fenêtre temporelle, sur les traces sismiques de plusieurs jeux de traces sismiques obtenues respectivement au cours de campagnes sismiques successives, comportant l'utilisation pour classer les événements sismiques d'une technique de reconnaissance des formes avec formation d'une base d'apprentissage multi-classes et construction d'une fonction de classement applicable aux événements sismiques, caractérisée en ce qu'elle comporte:

- la formation d'un ensemble d'analyse regroupant tous les événements sismiques relevés sur les traces des différents jeux de traces sismiques obtenues à l'issue des différentes campagnes sismiques, avec

identification de chacun d'eux par sa position spatiale dans ladite zone et par le numéro du jeu de traces auquel il appartient;

- la formation d'une base d'apprentissage comprenant plusieurs classes d'apprentissage regroupant chacune un certain nombre d'événements sismiques disponibles sur l'ensemble de campagnes sismiques successives que l'on peut associer à des propriétés physiques communes;
- la construction d'une fonction de classement calibrée sur lesdites classes d'apprentissage définies; et
- l'application à l'ensemble des événements sismiques disponibles sur l'ensemble de campagnes sismiques successives, de la fonction de classement calibrée, de façon à attribuer au moins une partie des événements sismiques dudit ensemble aux différentes classes d'apprentissage.

La construction d'une fonction de classement calibrée est effectuée par exemple par une technique d'analyse discriminante, ou bien encore par une technique de réseaux neuronaux.

Suivant un mode de mise en œuvre, on forme la base d'apprentissage par exemple à partir d'événements sismiques mesurés au voisinage de puits forés au travers de la formation étudiée, en définissant à partir d'eux des classes d'apprentissage correspondant à différentes natures de roche, ou à différents contenus fluides.

Suivant un autre mode de mise en œuvre, on forme par exemple les classes d'apprentissage par une classification non supervisée des événements sismiques.

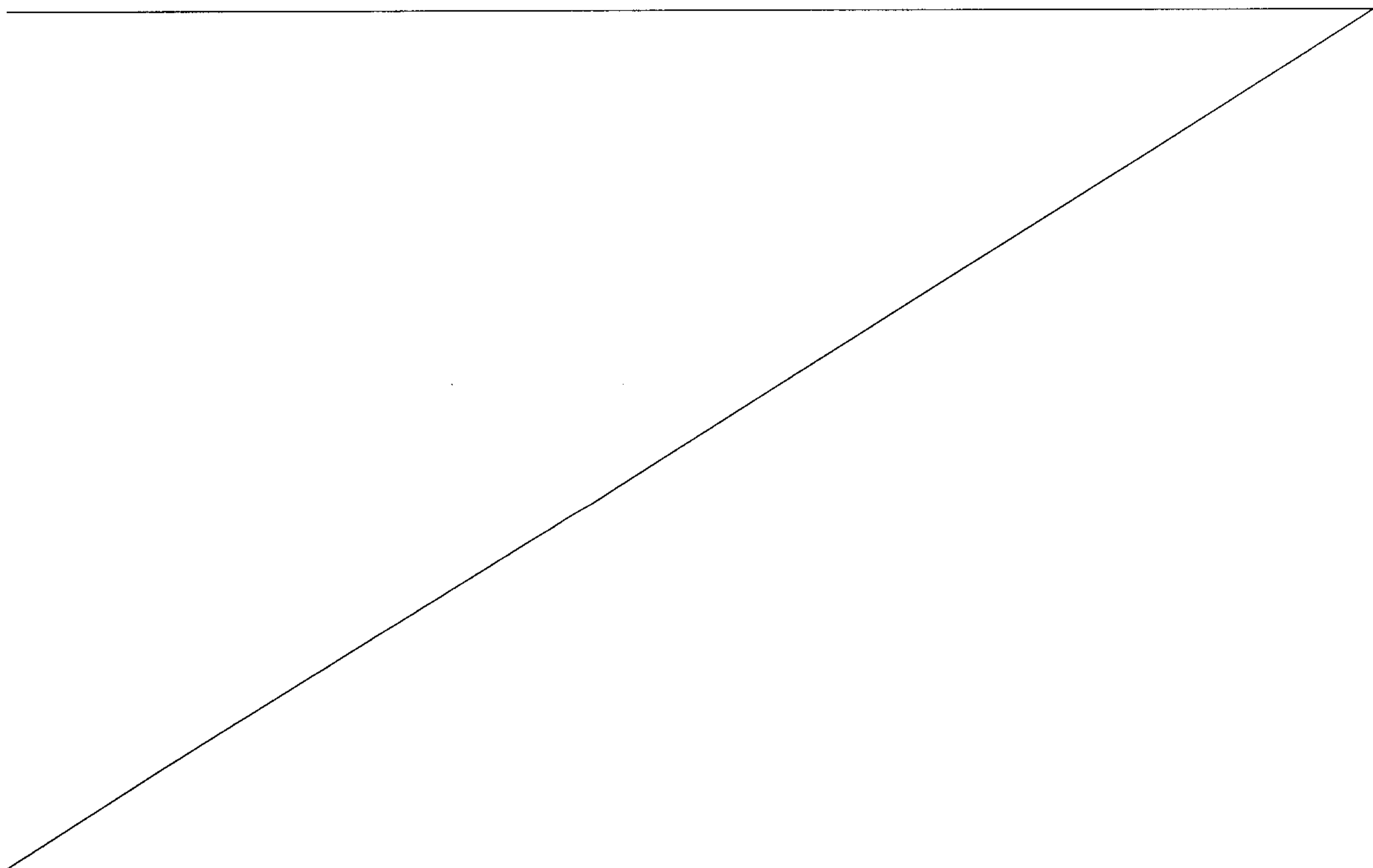
On peut utiliser en particulier les modes d'une fonction de densité de probabilité multivariée calculée à partir de l'ensemble des événements sismiques caractérisés par les attributs associés.

4a

Suivant un autre mode de mise en œuvre, on forme la base d'apprentissage en sélectionnant les traces sismiques dans les parties les plus représentatives des différents états physiques supposés de la première zone, et de leurs variations, obtenus par exemple avec un modèle numérique de simulation d'écoulement et de production.

Pour analyser les résultats, on peut, par exemple, créer des cartes de différences de classement en campagnes répétées, permettant de mieux mettre en évidence les changements de classe d'un événement sismique, et ce d'une campagne à une autre.

On peut ainsi détecter au cours du temps des changements dans la forme globale de la trace sismique, ou a contrario des stabilités des événements sismiques dans certaines zones qui sont soit hors d'atteinte des processus de récupération utilisés, soit sismiquement insensibles aux variations des états physiques du réservoir.



Présentation succincte des figures

D'autres caractéristiques et avantages de la méthode selon l'invention, apparaîtront à la lecture de la description ci-après d'un exemple non limitatif de réalisation, en se référant aux dessins annexés où :

- 5 - la Fig. 1a montre un exemple d'événements sismiques enregistrés à trois campagnes sismiques différentes S1, S2 et S3 au niveau d'un réservoir mis en production entre les acquisitions S1 et S2 ; les « événements-différences » (modifications) entre campagnes sismiques sont présentés Figure 1b.
- 10 - la Fig.2 montre un schéma de principe de la classification de l'ensemble des événements sismiques dans l'espace généré par les attributs sismiques, ce schéma de principe étant illustré pour l'interprétation des deux premières campagnes sismiques S1 et S2 ;
- 15 - les Fig. 3a à 3c montrent les véritables projections des événements sismiques des campagnes S1, S2 et S3, analysées simultanément, dans l'espace des attributs sismiques, dont l'analyse conduit à trois cartes de classement, dont deux ont été représentées sur la figure 2 à titre d'illustration (celles concernant les campagnes S1 et S2) ; et
- la Fig. 4 présente la carte de différences des classements des événements sismiques, obtenues à partir des classements des campagnes S1 et S2.

20 Description détaillée

Les événements sismiques que l'on cherche à classer sont constitués à partir de l'ensemble des traces sismiques issues des n campagnes de sismique 3D répétées, considérées au niveau du réservoir. Ces événements sismiques sont caractérisés par des attributs ou paramètres sismiques extraits des différents enregistrements de la sismique
25 répétée, au niveau de la zone cible du sous-sol, le plus souvent un réservoir d'hydrocarbures. La méthodologie de définition des classes comporte les étapes suivantes :

a) La première étape est une étape de définition des classes d'apprentissage. Cette étape se fait par l'analyse simultanée des événements sismiques disponibles sur l'ensemble des campagnes. Une première possibilité est d'extraire les événements sismiques

enregistrés au voisinage de puits, et dont l'interprétation géologique - ainsi que l'évolution au cours du temps de cette interprétation - a été effectuée. Cette méthodologie permettra alors de classer l'ensemble des événements sismiques en fonction de variations géologiques observées au niveau des puits. La deuxième possibilité consiste à effectuer une analyse non supervisée de l'ensemble des événements sismiques enregistrés au cours des différentes campagnes, en utilisant, par exemple, la technique décrite dans le brevet FR 2 768 818 (US 6 052 651) précité. D'autres possibilités existent, comme par exemple de définir les classes d'apprentissage en se servant d'une modélisation mathématique des états physiques attendus au niveau du réservoir, et ce compte tenu des variations engendrées par sa production. Le point à souligner dans notre approche est qu'ici les événements sismiques sont considérés et analysés simultanément sur l'ensemble des campagnes.

b) La deuxième étape consiste à calibrer une fonction de classement à partir des événements sismiques sélectionnés à l'étape précédente pour représenter les classes d'états physiques considérées. Ce calibrage peut se faire, par exemple, par analyse discriminante.

Une fois cette fonction de classement établie, elle est exploitée au cours de la troisième étape pour attribuer les événements sismiques de l'ensemble des campagnes aux différentes classes considérées à l'étape précédente, et créer ainsi pour chaque campagne une carte de classement de ses événements sismiques.

On peut enfin créer des cartes de différences de faciès sismiques d'une campagne à l'autre afin de détecter les changements d'affectation de certaines traces sismiques au cours du temps.

Les diverses étapes de la méthode sont clairement illustrées par les figures.

Afin de suivre les modifications physiques au niveau du réservoir liées aux mécanismes de production, trois campagnes sismiques ont été enregistrées : la première avant la mise en production, et les deux autres, plusieurs mois après le début de la production. Ces modifications sont analysées au niveau d'une fenêtre temporelle constante de 20 ms représentée sur les Figures 1a et 1b. Cette fenêtre temporelle correspond approximativement à la zone réservoir. Les événements sismiques analysés sont alors les morceaux de traces sismiques qui peuvent être extraits de chacun de ces volumes de données, au niveau de cette fenêtre. Les attributs utilisés pour représenter ces événements

sont les valeurs des amplitudes échantillonnées sur les 11 pas de temps successifs inclus dans la fenêtre de 20 ms.

L'observation attentive des Fig. 1a et 1b met en évidence, pour une position spatiale particulière, que les variations des événements à cette position suivant les trois campagnes de mesure concernent à la fois leur amplitude et leur forme. Le simple calcul d'un « événement-différence » qui est le résultat d'une soustraction des valeurs des attributs de deux événements appartenant à deux campagnes différentes, mais localisés au même endroit, (« événements- différence » qui sont représentés sur la Figure 1b), ne permet pas de prendre en compte fidèlement ces variations d'amplitude et de forme, ces dernières étant liées à des variations de temps de trajet de l'onde sismique. Pour une analyse pertinente, il faut donc comparer les événements de l'ensemble des campagnes, les uns par rapport aux autres, en les étudiant dans leur globalité pour intégrer dans l'analyse les deux types de variations.

Les classes d'apprentissage, censées représenter les différents états physiques du réservoir, ont été définies à partir de la fonction de densité de probabilité multivariée calculée sur l'ensemble des événements des trois campagnes sismiques S1 à S3, dans un espace engendré par les 11 attributs sismiques précédemment mentionnés. On choisit les échantillons d'apprentissage des classes en sélectionnant les événements appartenant aux pics de forte valeur de la fonction de densité.

On établit ensuite une fonction de classement des événements à l'aide, par exemple, d'une analyse discriminante calibrée sur les classes d'apprentissage.

Cette fonction de classement est alors appliquée à l'ensemble des événements sismiques des trois campagnes S1, S2, S3 pour les affecter à l'une des classes d'apprentissage. Les différentes classes résultant de cette affectation peuvent se visualiser dans des plans de l'espace des attributs sismiques, comme sur les Fig: 3a à 3c, où l'on voit le plan engendré par l'amplitude du toit dans la fenêtre centrée sur le réservoir (A(20ms)) en fonction de l'amplitude située 4 ms au-dessus de la base du réservoir (A(4ms)). Ce plan est visualisé trois fois (Fig.3a à 3c), pour faire apparaître séparément les classements des événements appartenant respectivement aux trois campagnes sismiques considérées, S1, S2 et S3. Cependant, dans l'espace des attributs, les événements ont été classifiés simultanément, ils ne sont distingués par campagne que pour faciliter la visualisation des

classes et leur évolution en fonction du temps, c'est à dire en fonction de leur appartenance aux différentes campagnes sismiques S1, S2 et S3.

Les résultats pour les campagnes S1 (avant mise en production du réservoir) et S2 (première campagne après la mise en production) sont aussi présentés sous forme de cartes de classes Figure 2, qui traduisent les états physiques du réservoir et leur évolution au cours du temps (entre S1 et S2). Ainsi, on observe que si la bordure nord du réservoir n'est pas affectée par la mise en production (même répartition des classes entre les campagnes S1 et S2), la partie sud se caractérise par la disparition d'une classe entre S1 et S2, compensée par l'apparition d'une nouvelle classe principalement dans la zone sud-ouest, et l'extension spatiale d'une des classes principales de la carte associée à S1. Ces évolutions se retrouvent bien sûr sur les plans des Fig.3a à 3c concernant les campagnes S1 et S2.

Une interprétation de ces cartes peut se faire également en analysant les changements d'affectation aux classes des événements d'une campagne à l'autre. On peut ainsi présenter les résultats sous forme de carte de différences de classes telle que celle de la Fig. 4 pour les différences entre les campagnes S1 et S2, où les zones blanches correspondent aux zones dans lesquelles l'affectation des événements à une classe n'a pas changé, contrairement aux zones teintées. Les changements sont principalement distribués dans la partie sud du réservoir.

REVENDEICATIONS

1) Méthode pour détecter les changements physiques subis au cours du temps par une zone du sous-sol, par analyse des changements observables dans des événements sismiques caractérisés chacun par des attributs sismiques, relevés à l'intérieur d'au moins une fenêtre temporelle, sur les traces sismiques de plusieurs jeux de traces sismiques obtenues respectivement au cours de campagnes sismiques successives, comportant l'utilisation pour classer les événements sismiques d'une technique de reconnaissance des formes avec formation d'une base d'apprentissage multi-classes et construction d'une fonction de classement applicable aux événements sismiques, caractérisée en ce qu'elle comporte:

- la formation d'un ensemble d'analyse regroupant tous les événements sismiques relevés sur les traces des différents jeux de traces sismiques obtenues à l'issue des différentes campagnes sismiques, avec identification de chacun d'eux par sa position spatiale dans ladite zone et par le numéro du jeu de traces auquel il appartient;
- la formation d'une base d'apprentissage comprenant plusieurs classes d'apprentissage regroupant chacune un certain nombre d'événements sismiques disponibles sur l'ensemble de campagnes sismiques successives que l'on peut associer à des propriétés physiques communes;
- la construction d'une fonction de classement calibrée sur lesdites classes d'apprentissage définies; et
- l'application à l'ensemble des événements sismiques disponibles sur l'ensemble de campagnes sismiques successives, de la fonction de classement calibrée, de façon à attribuer au moins une partie des événements sismiques dudit ensemble aux différentes classes d'apprentissage.

2) Méthode selon la revendication 1, caractérisée en ce que la construction d'une fonction de classement calibrée, est effectuée par une technique d'analyse discriminante.

3) Méthode selon la revendication 1, caractérisée en ce que la construction d'une fonction de classement calibrée est effectuée par une technique de construction de réseaux neuronaux.

4) Méthode selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans laquelle on forme la base d'apprentissage à partir d'événements sismiques mesurés au voisinage de puits forés au travers de la formation étudiée, en définissant à partir d'eux des classes d'apprentissage correspondant à différentes natures de roche, ou à différents contenus fluides.

5) Méthode selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisée en ce que les classes d'apprentissage sont formées à partir d'événements sismiques relevés sur des traces sismiques au voisinage de puits au travers de la formation.

6) Méthode selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisée en ce que les classes d'apprentissage sont formées par une classification non supervisée.

7) Méthode selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisée en ce que les classes d'apprentissage sont formées en utilisant un modèle physique des états attendus au niveau de ladite zone souterraine.

Application number / numéro de demande: 2382307

Figures: 2 - 3(A-B-C) - 4

Unscannable items
received with this application
(Request original documents in File Prep. Section on the 10th floor)

Documents reçu avec cette demande ne pouvant être balayés
(Commander les documents originaux dans la section de préparation des dossiers au
10ème étage)

FIG.1B

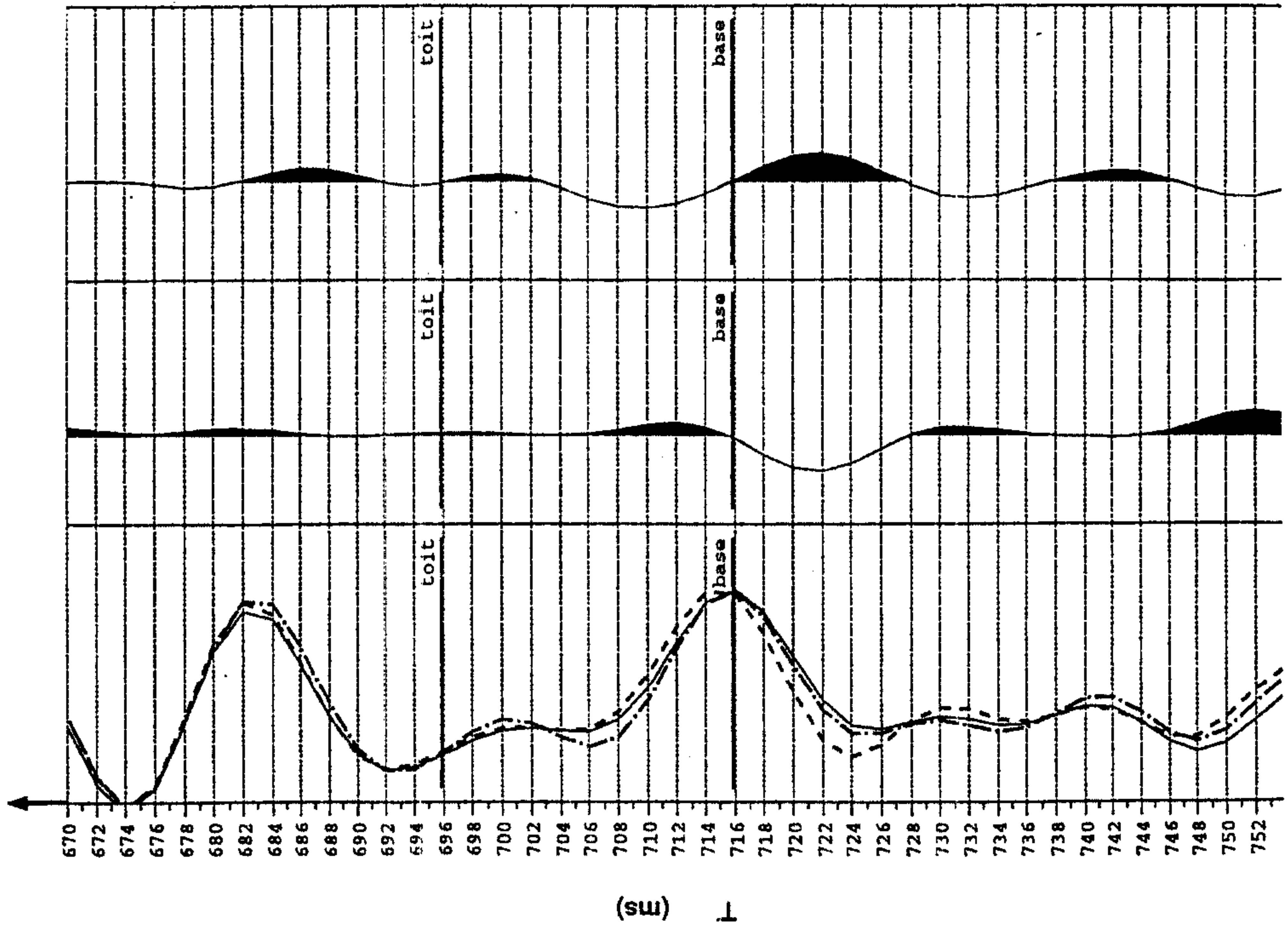
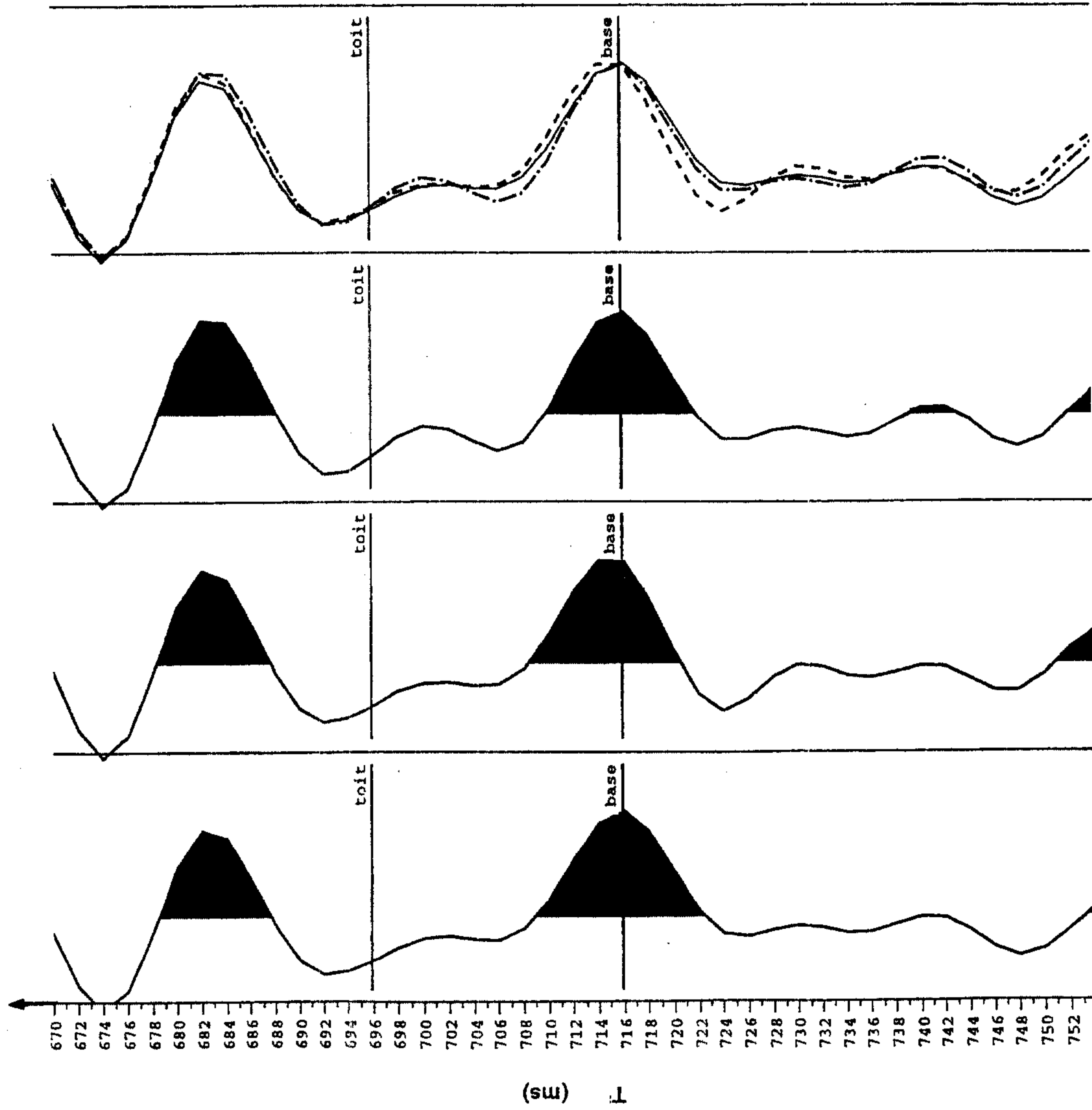


FIG.1A



T (ms)

