

caractérisation des gisements d'hydrocarbures fracturés en utilisant l'outil de diagrapie acoustique EVA (R) *

characterization of fractured hydrocarbon reservoirs
using the EVA (R) acoustic logging tool

P.C. ARDITTY, F. MATHIEU, Ph. STARON

Société Nationale Elf-Aquitaine **

Rev. Franç. Géotech. n° 45, p.p. 21-35 (octobre 1988)

Résumé

Une large expérience acquise en diagrapies acoustiques, associée aux résultats d'une recherche théorique, ont permis de développer une nouvelle méthode de caractérisation de gisements fissurés. La méthode est fondée sur l'utilisation de l'atténuation de l'onde de cisaillement (S) et de l'onde de Stoneley, deux paramètres obtenus à partir du traitement du train complet des ondes acoustiques.

La combinaison des deux paramètres permet de localiser les fractures individuelles et les zones fracturées. La propagation des ondes S et des ondes de Stoneley est fondée sur deux mécanismes physiques différents. Grâce à cela, l'utilisation combinée des deux paramètres peut aider à distinguer entre les fractures individuelles de grande ouverture et les zones fracturées conductrices (atténuation de l'onde de Stoneley) d'une part, et d'autre part les fractures individuelles d'ouverture moins importante, ou colmatées (atténuation de l'onde S). De plus nous pouvons utiliser EVA aussi bien en trou tubé qu'en trou ouvert en particulier pour l'étude de la fracturation. La méthode a été essayée avec succès sur le champ de gaz de Gaviota. L'acquisition et le traitement EVA (R) sur trois puits, ouverts ou tubés, ont aidé à localiser, ou se sont avérés la seule façon, de localiser les zones fracturées, qui, après perforation et traitements à l'acide, ont donné lieu à une production de gaz très satisfaisante.

Abstract

A new method for fractured reservoirs characterization has been developed, from a wide experience in acoustic logging and results of theoretical research. The method is based on the use of Shear (S) wave and Stoneley wave attenuation, two parameters obtained from the processing of full waveform acoustic data.

The combination of both parameters allows to locate individual fractures and fractured zones. The propagation of S-waves and Stoneley waves is based on two different physical mechanisms. Due to this, the combined use of both parameters can help discriminate between individual fractures of large aperture and conductive fractured zones (Stoneley wave attenuation), on the one hand, and individual fractures of lesser aperture, or mostly sealed (S-wave attenuation), on the other hand. Thanks to our ability to process full waveform data acquired through casing with the EVA tool, and to the fact that S-waves are the same with or without casing, fracture localization is possible in cased holes. The method was successfully tested on the Gaviota gas field, offshore Spain. Full waveform data acquisition and processing with EVA (R) for three wells, open or cased, helped locate or was the only way to locate fractured zones, which, after perforation and acid jobs, yielded a very satisfactory gas production.

* EVA (R) Évaluation des vitesses et des atténuations. Marque déposée par Elf-Aquitaine.

** Tour Elf, Cedex 45, 92078 Paris-La-Défense.

1. INTRODUCTION

Il est bien connu que de nombreux gisements d'hydrocarbures sont fracturés. La plupart des gisements fracturés sont dans des couches carbonatées, d'autres sont des gisements gréseux. Dans tous les cas, il est extrêmement important d'identifier les fractures pour optimiser la production d'huile et de gaz. Les réservoirs fracturés ont souvent une matrice de très faibles porosité et perméabilité. Dans ces cas-là, ce sont les fractures qui contribuent essentiellement à la production d'hydrocarbures, car la perméabilité des fractures est très élevée par rapport à la perméabilité de la matrice.

C'est pourquoi, si l'on veut pouvoir produire ces gisements, il est essentiel d'avoir la meilleure connaissance possible de la localisation des fractures et de leur caractérisation. En particulier, la contribution des fractures à la production est directement liée à leur ouverture, au fait qu'elles sont ouvertes ou bien colmatées.

Un effort important a été fait et ceci dans de nombreux puits, avec notre outil EVA, pour trouver une solution à ces questions en utilisant la technique des diagraphies acoustiques à train d'ondes complet. Il se trouve que les résultats sont très encourageants.

Dans le présent article, nous décrivons l'outil EVA, les techniques de détection et d'analyse des fractures que nous avons mises au point à partir d'environ 20 exemples différents, et nous présenterons l'étude d'un cas où le succès obtenu a été particulièrement intéressant.

2. DESCRIPTION DE L'OUTIL ACOUSTIQUE EVA, ACQUISITION DES DONNÉES ET TRAITEMENT

EVA est un outil de diagraphie acoustique à train d'ondes complet multi-émetteurs et multi-récepteurs (fig. 1) (ARDITTY et al., 1984). La diversité des espacements (distances entre émetteur et récepteur) permet à la fois l'analyse de la cimentation (faibles espacements) et la pénétration dans la zone vierge de la formation (espacements importants), ainsi qu'une bonne séparation des ondes. Sur la figure 2, on peut facilement voir les ondes P, S et de Stoneley. Certaines de ses caractéristiques principales sont une numérisation en surface, à virgule flottante instantanée de 12 bits, une large bande de fréquences (1-25 kHz) et une structure flexible, ce qui permet d'enregistrer des diagraphies dans des puits très déviés et tubés. Un gamma-ray combiné permet aussi d'effectuer des corrélations avec d'autres diagraphies (fig. 3).

L'acquisition des données se fait à un rythme élevé (près de vingt traces de 2 500 échantillons chaque, par seconde). Les couples émetteur-récepteur (E-R) sont sollicités en séquentiel si bien qu'un seul signal est enregistré à la fois.

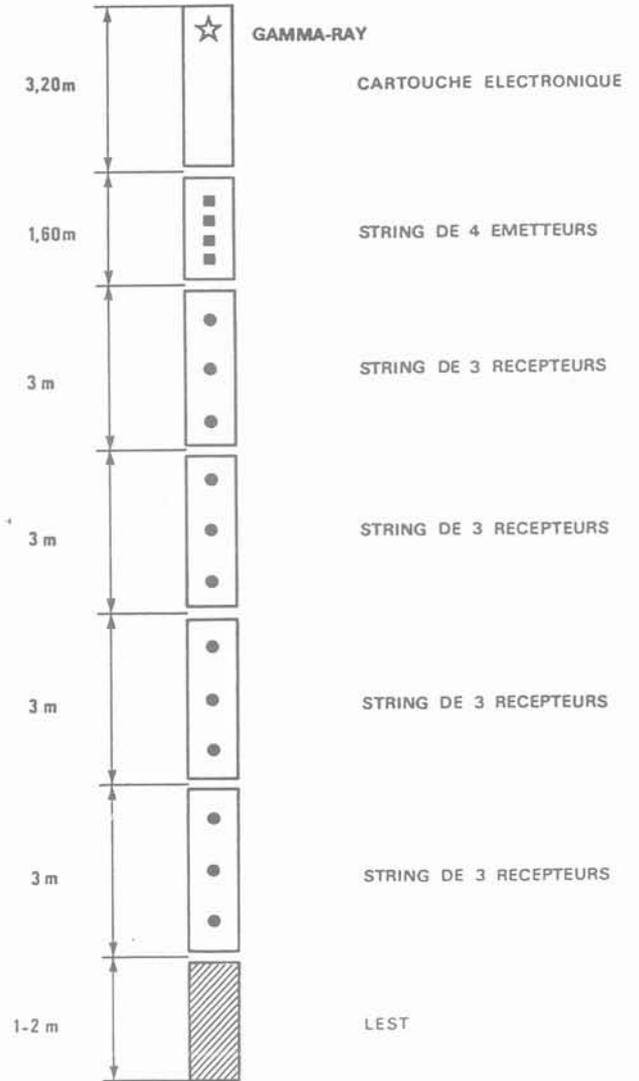


Fig. 1. — Diagramme schématique de l'outil.
Fig. 1. — Tool schematic Diagram.

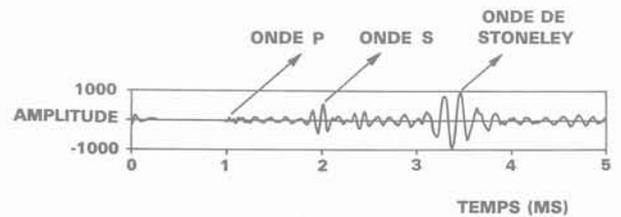


Fig. 2. — Exemple d'un trajet enregistré. Les trois types d'ondes (P, S, Stoneley) sont visibles.
Fig. 2. — Example of a recorded trace. The 3 types of waves (P, S, Stoneley) are visible.

La séquence type de déclenchement est obtenue avec 48 couples ER ayant un espacement qui augmente régulièrement (4 émetteurs × 12 récepteurs). La procédure d'acquisition répète une séquence donnée tandis que l'outil progresse vers le haut. La figure 4 montre l'alignement des ondes sur trois séquences standard

| | |
|------------------------------------|---------------------------|
| NOMBRE D'EMETTEURS | 4 (MAGNETOSTRICTIFS) |
| NOMBRE DE RECEPTEURS | 12 (RECEPTEURS CERAMIQUE) |
| OFFSET MINIMUM | 1 m |
| OFFSET MAXIMUM | 12,75 m. |
| PAS D'ECHANTILLONNAGE | 5 µ sec. |
| VITESSE D'ENREGISTREMENT | |
| MIN. | 2 m/minute |
| MAX. | 20 m/minute |
| BANDE DE FREQUENCE | 1 kHz - 25 kHz |
| AUTRE LOG ENREGISTRE SIMULTANEMENT | GAMMA-RAY |
| LONGUEUR TOTALE | 18 m |
| POIDS TOTAL | 300 kg |
| DIAMETRE DE L'OUTIL | 0. 1m (4") |
| LIMITE DE TEMPERATURE (Provisoire) | 125°C |

Fig. 3. — Caractéristiques d'EVA.
Fig. 3. — EVA characteristics.

successives dans une même lithologie (vitesse de l'onde = espacement/temps). Une section iso-espacement ou iso-offset est obtenue en prenant le même couple ER, et donc le même espacement, dans chaque séquence, pendant que l'outil progresse vers le haut. La succession des traces obtenues de cette façon constitue une illustration des changements de lithologie le long du puits (fig. 5). Le traitement informatique bénéficie de la multiplicité des offsets pour éliminer des artefacts de diagraphies soniques classiques comme les sauts de cycle, et il donne des images des couches à différentes profondeurs d'investigation (casing et cimentation, zones envahies, formation vierge ou limites des couches dans des puits fortement déviés).

Les paramètres classiques traités sont les lenteurs, amplitudes et périodes de 3 types d'ondes (P, S, Stoneley) : fig. 6.

La combinaison d'un schéma d'acquisition spécialement mis au point et d'un traitement adapté permet de compenser les irrégularités des parois du puits : une valeur de lenteur donnée, pour une profondeur donnée, est la moyenne des échantillons de lenteur obtenue à partir de deux émetteurs et un récepteur commun et de deux récepteurs et un émetteur commun.

Les courbes d'amplitude et de période sont plus lisses que les courbes de lenteur car elles prennent en compte la partie de la formation située entre l'émetteur et le récepteur, qui varie de 1 à 12,75 mètres. Ces dernières, par contre, ont une résolution bien meilleure car un point traité ne représente qu'une épaisseur de formation de 25 cm.

Cependant, la résolution de la diagraphie d'amplitude peut être ramenée au standard de la lenteur (25 cm) en calculant un log e d'atténuation. Dans un tel log, on obtient un point de mesure en effectuant le rapport des amplitudes à un récepteur proche, et un récepteur plus éloigné, distants de 25 cm.

Le calcul de l'atténuation est fondé sur la relation suivante :

$$A = \frac{C e^{-(az + b)}}{z^n}$$

où A est l'amplitude de l'onde à un récepteur donné, C un coefficient constant, z la distance entre le récepteur et la référence.

L'atténuation est définie par a, b et n : « a » est l'atténuation intrinsèque, celle que nous voulons finalement obtenir, « b » est un coefficient de couplage dépendant de l'atténuation juste devant l'émetteur ou le récepteur ; « n » représente la dispersion géométrique, et on l'estime à partir d'une combinaison de considérations théoriques et de l'expérience. En s'appuyant sur les hypothèses que les couplages à l'émetteur et au récepteur sont sensiblement égaux, un schéma de compensation permet d'éliminer le couplage et de calculer l'atténuation intrinsèque (a).

3. DÉTECTION DES FRACTURES DANS LES FORMATIONS CRISTALLINES. MÉTHODOLOGIE

A ce jour, de nombreux articles ont été publiés pour montrer que les diagraphies acoustiques à train d'ondes complet sont sensibles aux zones fracturées dans les formations cristallines (PAILLET, 1980 ; DAVISON et al., 1982 ; ARDITTY et al., 1985 ; CORNET et al., 1987). Dans ce type de situation, la lithologie et les rayons du puits sont relativement constants. PAILLET (1980), DAVISON et al. (1980), ARDITTY et al. (1985), ont mis en lumière la corrélation entre la décroissance de l'amplitude de l'onde de Stoneley et la présence de zones fracturées, comme cela était prouvé par des carottes et d'autres diagraphies.

Un mécanisme plus simple (MATHIEU et TOKSOZ, 1984, 1987) relie l'ouverture de la fracture à l'atténuation des ondes de Stoneley. Si l'on dispose des données d'atténuation, il devient alors possible d'estimer quantitativement les ouvertures des fractures (ARDITTY et al., 1985). Dans un cas isolé, où l'on disposait à la fois des données d'atténuation et des données de perméabilité de la fracture calculées à partir des résultats d'un essai de production sous packer, (DAVISON et al., 1982), on a constaté une bonne concordance entre les ouvertures de fractures obtenues des deux façons (MATHIEU et TOKSOZ, 1984, 1987).

Ceci établit donc le fait que l'atténuation des ondes de Stoneley peut être considérée comme une bonne indication de présence de fractures ouvertes.

L'outil EVA a été descendu dans deux puits profonds de 800 mètres dans des formations cristallines du centre de la France, et les données ont été traitées comme expliqué précédemment. La comparaison d'une section iso-offset et des diagraphies de résistivité dans le puits A (fig. 7) montre clairement que les trois ondes sans distinction (P, S et Stoneley) subissent une très importante atténuation dans les zones conductrices associées aux fractures dans ce type de formation. Une analyse plus précise peut être effectuée sur les résultats d'atténuation après traitement, en les comparant aux indicateurs de fractures. Les pics d'atténuation ne ressortent pas clairement de l'allure générale de la courbe et celle-ci



Fig. 4. — Séquence standard à 48 traces.
Fig. 4. — Standard 48-trace sequence.

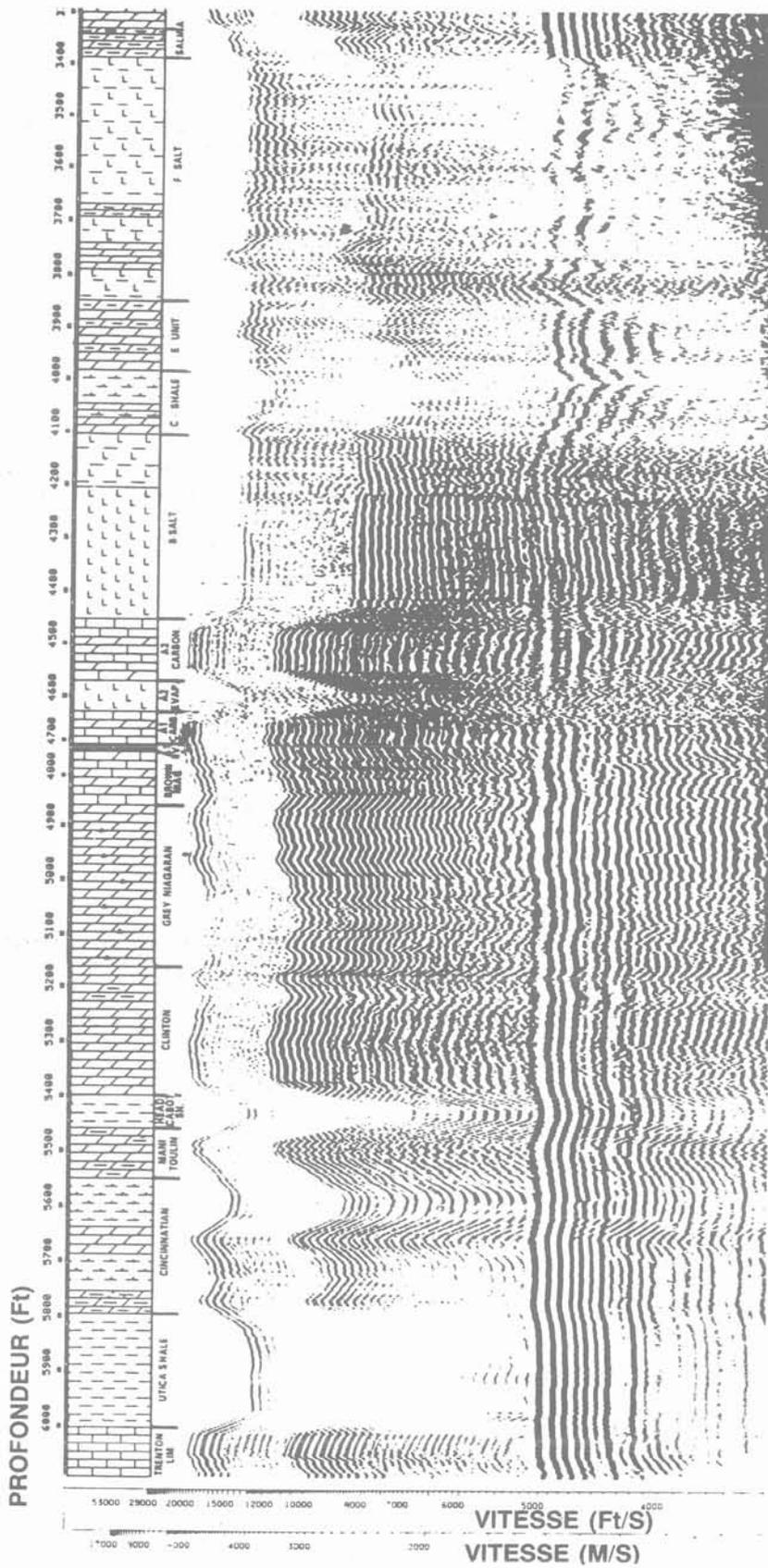


Fig. 5. — Comparaison entre lithologie et enregistrements EVA (offset 12.75 m).
 Fig. 5. — Comparison between lithology and EVA recordings (offset 12.75 m).

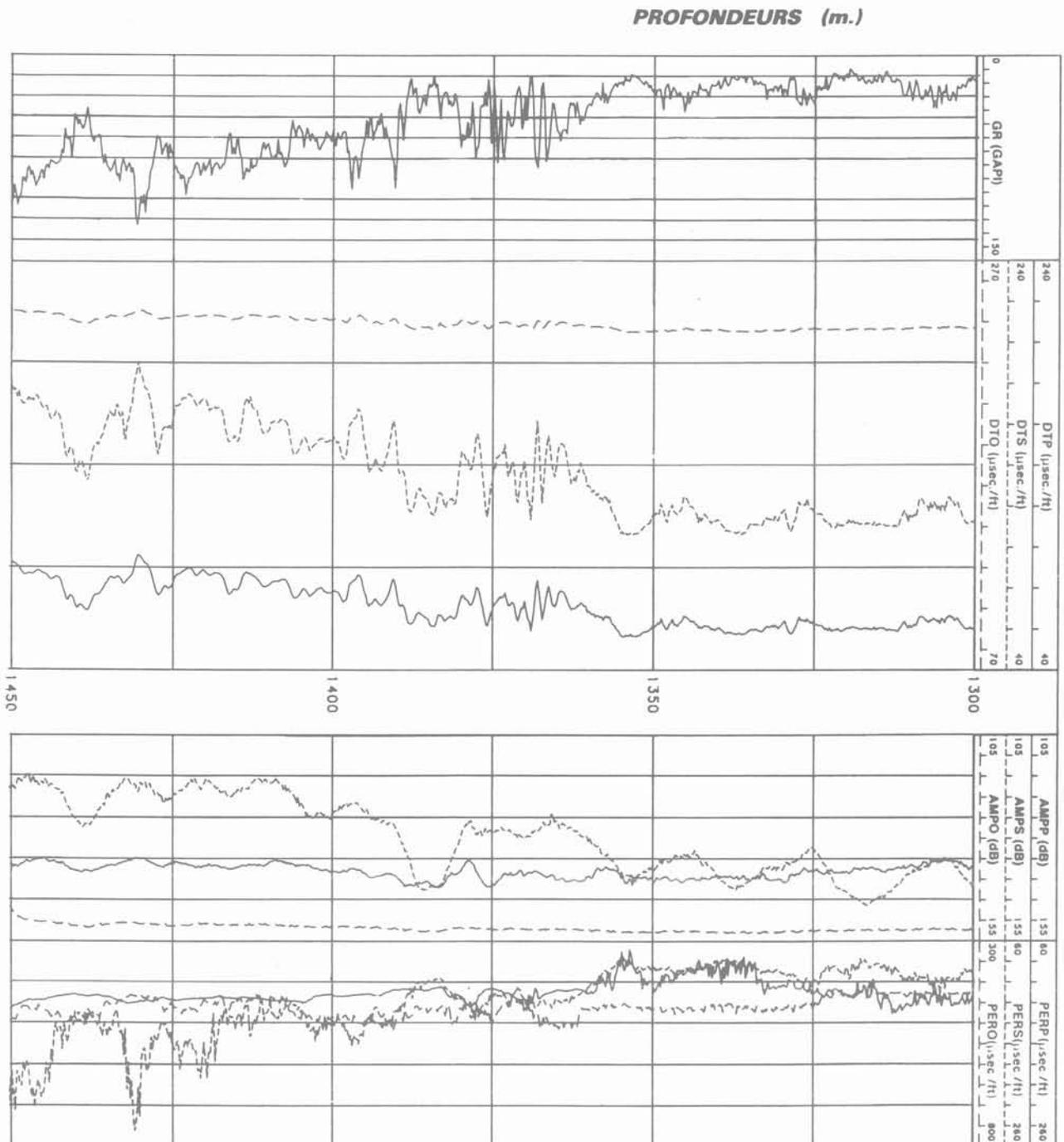


Fig. 6. — Résultats d'EVA après traitement.
Fig. 6. — EVA processing results.

est trop erratique pour être facilement exploitée. Cette observation combinée à notre expérience relative à des lithologies plus complexes où l'atténuation de l'onde P dépend beaucoup des variations de la lithologie, nous conduit à ne pas retenir ce facteur comme un indicateur de fractures.

A l'inverse, l'atténuation des ondes S et de Stoneley sont toujours corrélables avec des indicateurs de fractures (fig. 8). L'atténuation des ondes de Stoneley, aux

profondeurs de 478 m, 649 m, 782 m, 804-807 m, et 819 m se produit seulement quand la preuve de la conductivité est apportée par des mesures au débitmètre, ou une invasion d'eau en cours de forage — la variation notée à 220 m se trouvait au-dessus du plan d'eau.

D'après les cas ci-dessus, ces variations indiquent des fractures ouvertes ou des zones fracturées perméables. A noter que les ondes S aussi sont atténuées au niveau

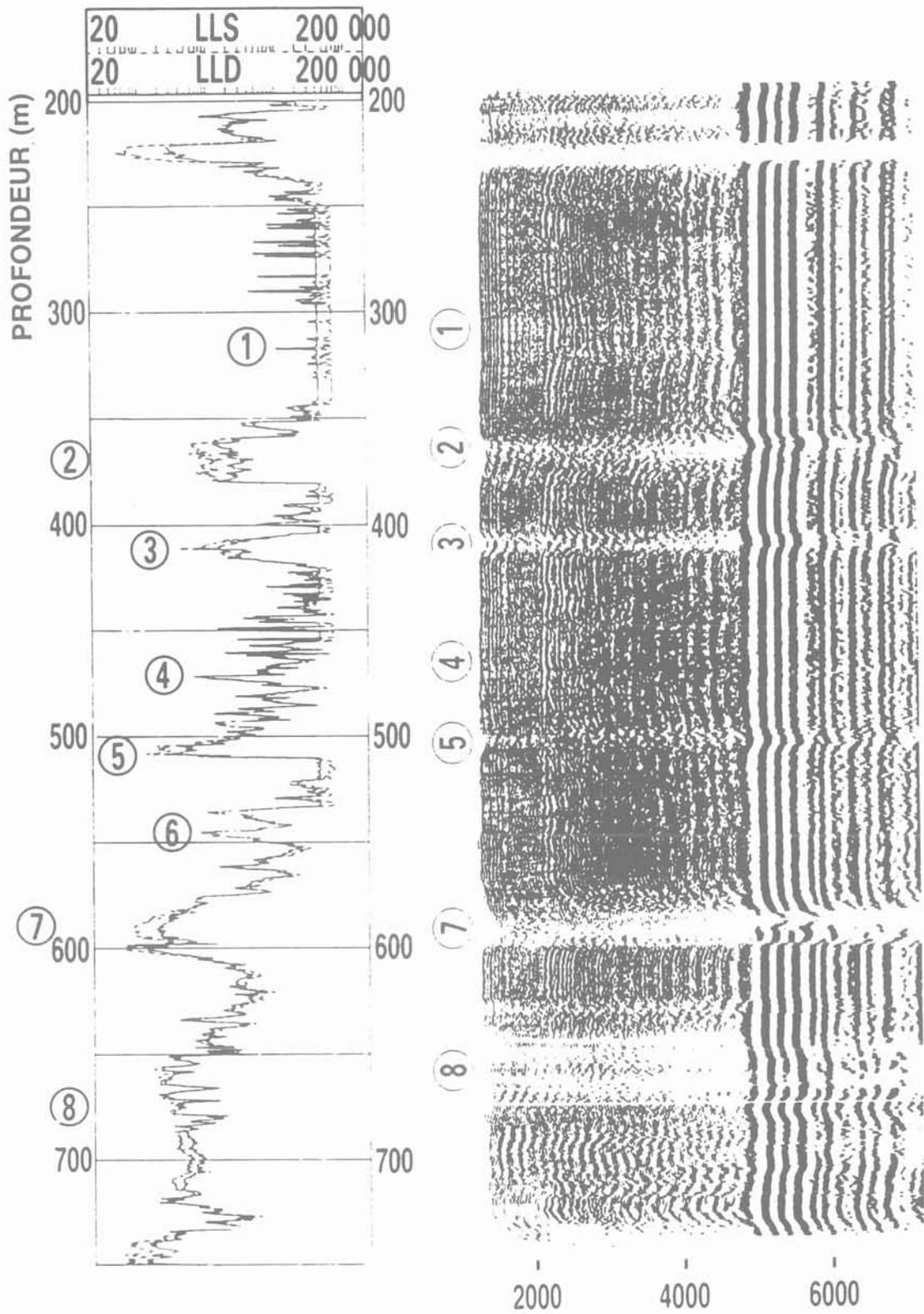


Fig. 7. — Section iso-offset comparée à des diagraphies de résistivité dans le granit (puits A).
 Fig. 7. — Iso-offset section versus resistivity logs in granite (well A).

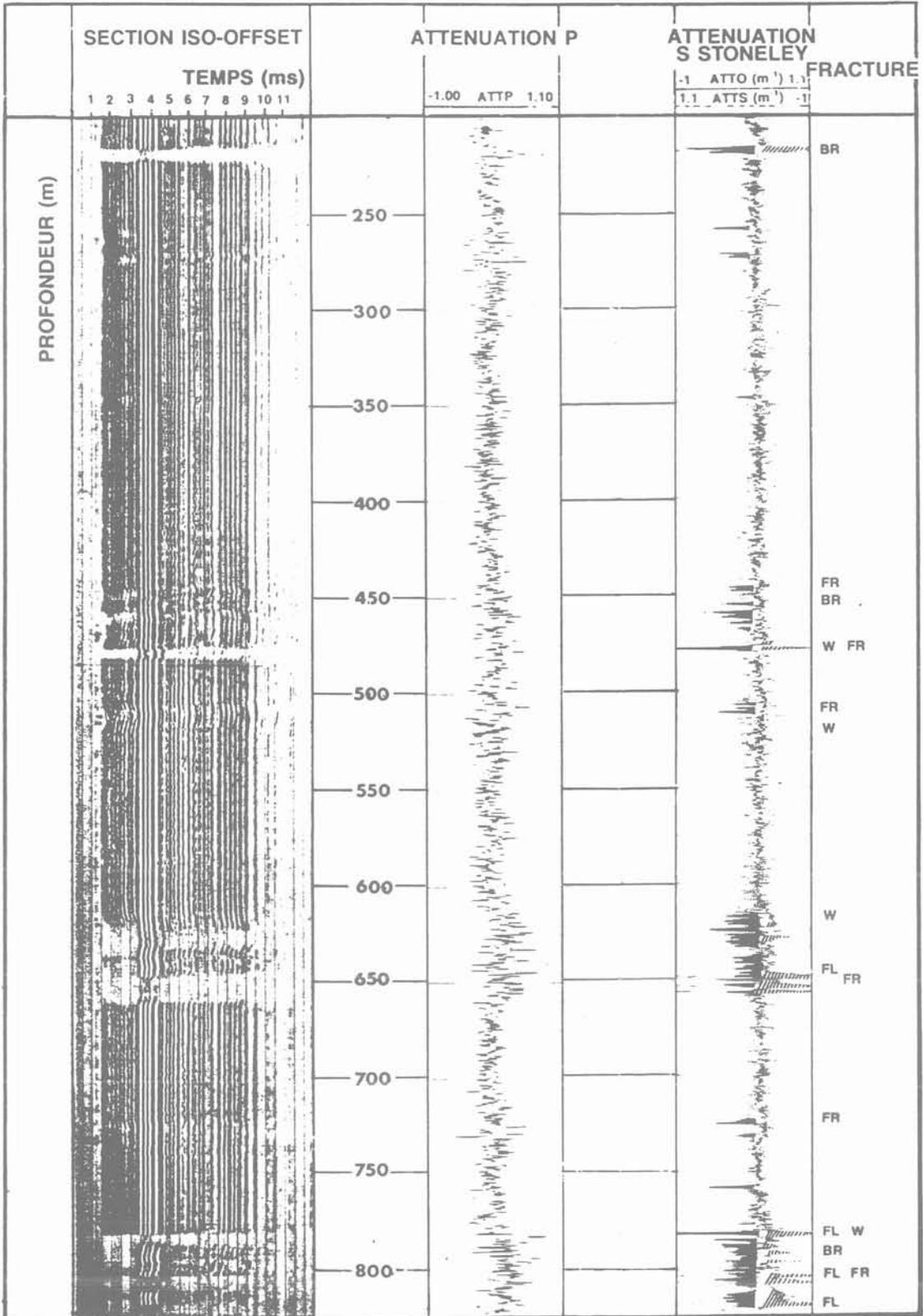


Fig. 8. — Détection de fractures avec EVA dans du granit (puits B).

Fig. 8. — Fracture detection with EVA in granite (well B).

de ces zones. De plus elles sont aussi atténuées en face de zones où les ondes de Stoneley ne le sont pas. En fait, les ondes S devraient physiquement disparaître

en se propageant à travers un modèle simplifié d'une couche fluide fine située entre les deux couches d'une formation élastique (fig. 9).

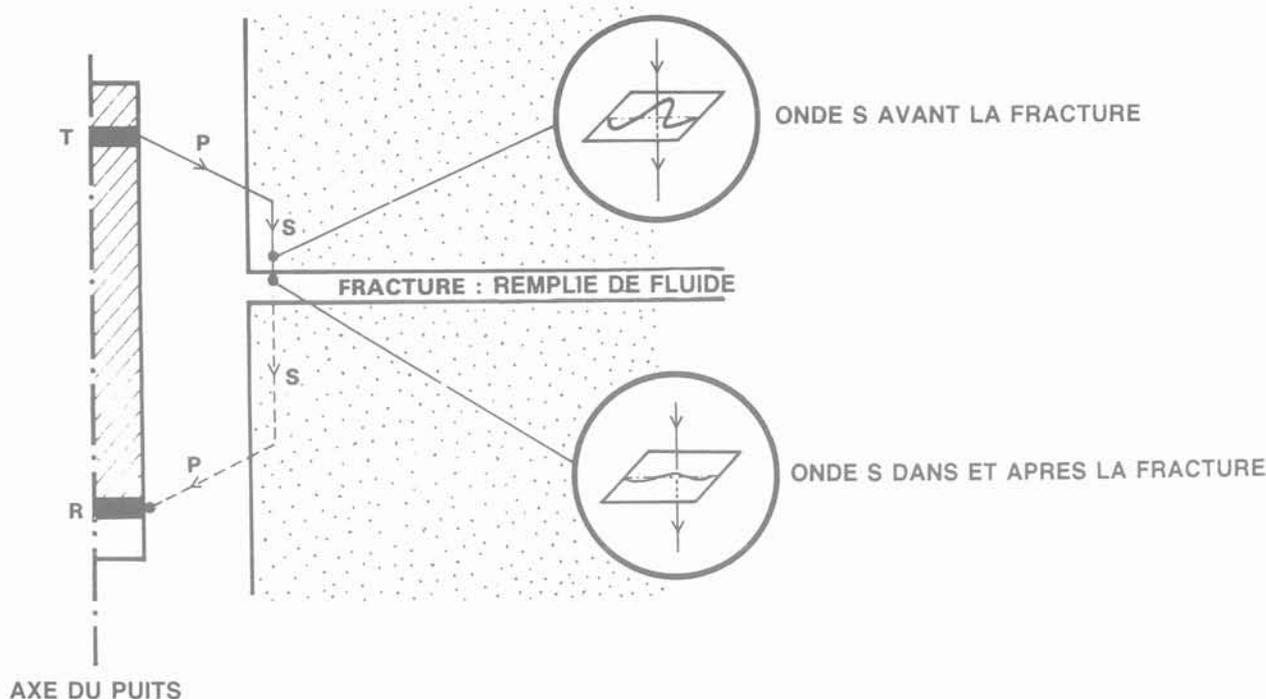


Fig. 9. — Modèle physique simple pour la propagation d'une onde S à travers une fracture.

Fig. 9. — Simple physical model for the propagation of an S wave through a fracture.

C'est pourquoi nous pensons que les ondes S qui se propagent à travers des fractures très faiblement ouvertes, par exemple des fractures pratiquement remplies de calcite, peuvent être très fortement atténuées, tandis que les ondes de Stoneley ne subissent pas d'atténuation. Les ondes S sont ainsi un bon indicateur de fractures, ouvertes ou presque fermées, de zones fracturées dont la conductivité pourrait être activée par des moyens appropriés, comme la fracturation hydraulique (CORNÉT et al., 1987).

Cette analyse des ondes acoustiques obtenues avec EVA dans des formations cristallines nous amène à conclure que le meilleur indicateur d'une fracturation est la combinaison des ondes S et des ondes de Stoneley.

4. DÉTECTION DES FRACTURES DANS UN GISEMENT CARBONATÉ A GAZ : UN CAS PRATIQUE

4.1. Description du champ de gaz

Le champ de gaz de Gaviota est situé dans l'Océan Atlantique au large de l'Espagne. Le gisement est dans le crétacé supérieur, essentiellement dans une formation carbonatée. La zone a une structure tectonique complexe et les données sismiques de surface sont de mauvaise qualité.

4.2. Détection des fractures dans les puits Gaviota 5, 6 et 7

Dans le cas de Gaviota 5, le problème de la détection des fractures était devenu très important car la porosité de la matrice était très faible. La meilleure façon de produire le gaz trouvé était de le faire à travers les fractures.

Il était donc essentiel de les localiser avec précision pour effectuer les perforations et acidifier. Dans ce premier puits, on a enregistré certaines diagraphies classiques (fig. 10), qui ont montré une zone supérieure fortement fracturée, la zone A. Cependant rien ne fut détecté dans la partie inférieure du puits où les ingénieurs de production souhaitaient perforer.

Un passage d'EVA fut effectué après ces diagraphies et la section iso-offset montra la fracturation de la zone supérieure (la zone A), plus quelques zones atténuées, moins importantes, plus bas dans le puits, que nous avons interprétées comme étant fracturées (fig. 11).

Après traitement complet des données, nous avons obtenu des atténuations des ondes S et de Stoneley qui sont caractéristiques de fracturation, comme cela a été expliqué dans les paragraphes précédents.

Cependant, avant d'interpréter ces données, nous avons d'abord examiné la lithologie, car la fracturation pouvait avoir un effet sur l'atténuation des ondes S et de Stoneley, analogue à celui d'un changement de lithologie (passage d'un calcaire à un calcaire argileux, par exemple).

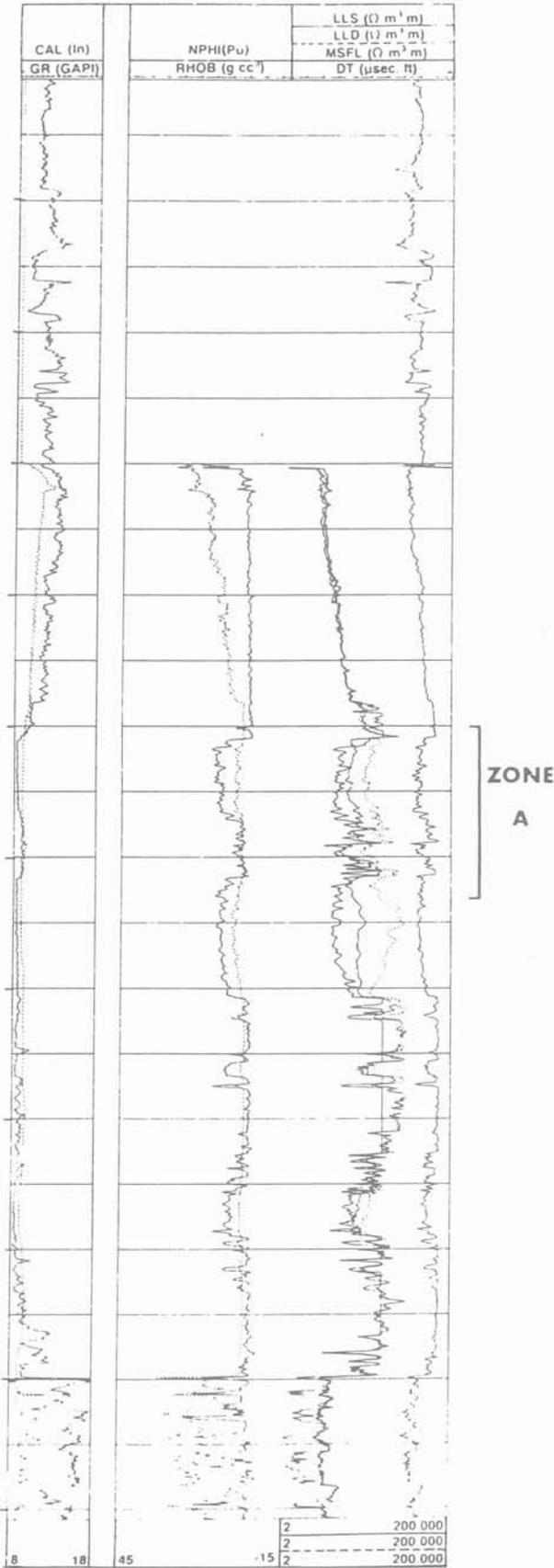


Fig. 10. — Diagraphies conventionnelles pour Gaviota 5.
Fig. 10. — Conventional logs for Gaviota 5.

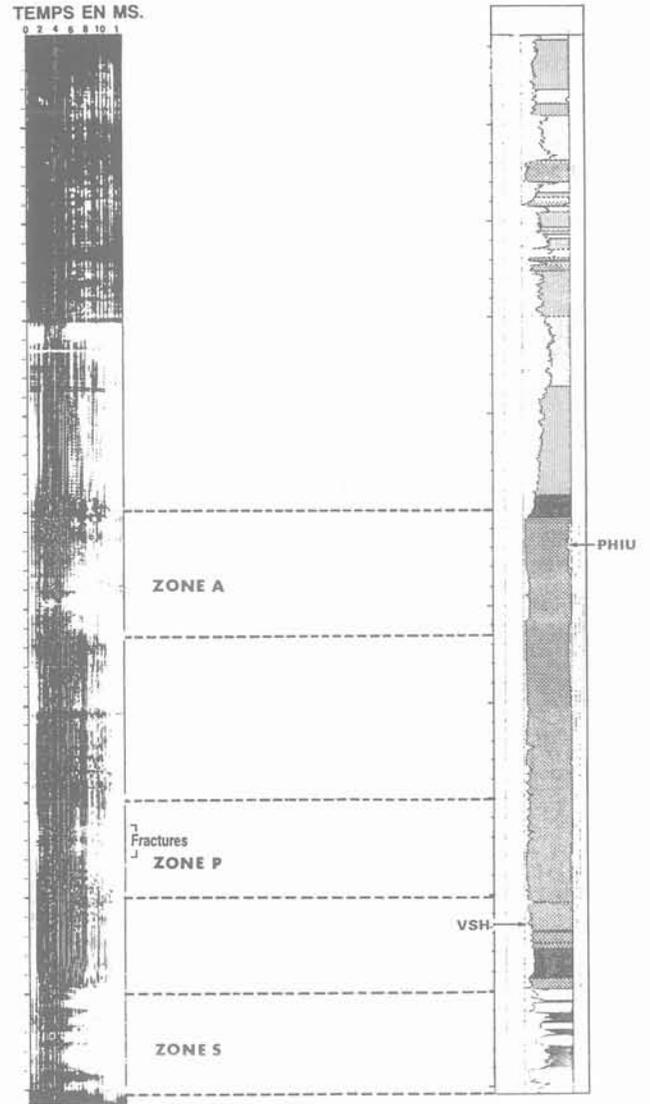


Fig. 11. — Section iso-offset et colonne lithologique tirée d'EVA pour Gaviota 5.

Fig. 11. — Iso-offset section and lithologic column from EVA for Gaviota 5.

En utilisant essentiellement l'amplitude, la période et la vitesse des ondes P, S et de Stoneley, nous avons obtenu une colonne lithologique pour ce puits, qui nous a permis de faire la différence entre variations lithologiques et fractures (fig. 11). La colonne lithologique est limitée par la courbe Vsh d'un côté, et la courbe PHIU (porosité vraie) de l'autre. La comparaison de la colonne lithologique (fig. 11) avec la diagraphie ATTO-ATTS (fig. 12) a montré les effets que nous venons de mentionner (les échelles de profondeur sont les mêmes), dans la zone S où les courbes ATTS et ATTO comportent des pics qui correspondent à des zones argileuses et non pas à des fractures.

Une fois ceci fait, les courbes ATTO/ATTS ont pu être interprétées en toute sécurité et les fractures ont été identifiées par les pics d'atténuation des ondes de cisaillement (fig. 12).

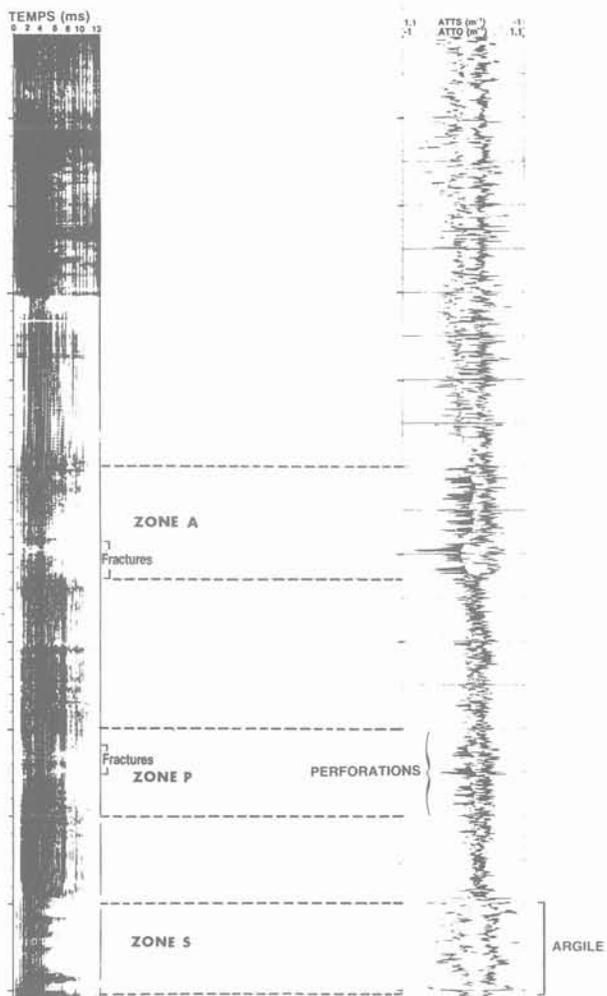


Fig. 12. — Section iso-offset et diagraphe de fracturation pour Gaviota 5, avec indication des zones perforées.
 Fig. 12. — Iso-offset section and fracturation log for Gaviota 5 with indication of perforated zone.

Les courbes ATTS et ATTO comportaient un pic dans la zone A. Ceci signifiait que nous étions en présence d'une fracture (hydrauliquement conductive).

Seules les courbes ATTS comportaient des pics correspondant à des fractures dans la zone P. Ceci signifiait que les fractures étaient probablement colmatées. Cependant nous verrons qu'après acidification, elles produiront du gaz.

Les ingénieurs de production ayant décidé de faire produire la partie inférieure du gisement, des perforations ont été effectuées dans la zone P (fig. 12). Après acidification, l'AOFP (potentiel absolu d'écoulement trou ouvert) à la pression initiale était de $5,2 \times 10^6$ Nm³/jour, (192×10^6 SCFD). Ceci était bien la preuve que ce puits était effectivement fracturé là où les perforations avaient été effectuées.

Un deuxième puits : Gaviota 6, fut foré deux mois plus tard et on s'attendait à ce qu'il soit « facile à forer ». Mais en fait, à cause de son importante déviation et de problèmes inattendus en cours de forage, il fut tubé avant toute opération de diagraphe en trou ouvert.

L'opérateur décida alors de descendre un outil EVA, et tous les espoirs reposaient sur cet enregistrement. La diagraphe à rayons gamma (GR) fut effectuée derrière le tubage et se corrêla en fait avec la diagraphe EVA/GR, si bien que les profondeurs purent être vérifiées.

Après l'acquisition des données dans ce trou dévié et tubé, un traitement complet fut effectué. Les données étaient de très bonne qualité.

On appliqua à Gaviota 6 la même procédure qu'à Gaviota 5. On trouvera sur la figure 13, la section iso-offset et la colonne lithologique présentées de la même façon que pour Gaviota 5.

Sur la section, on peut faire quelques observations directes :

— il y a une zone atténuée importante (zone E), ainsi que d'autres zones avec une certaine atténuation (zones B, C).

A partir des résultats quantitatifs, nous avons clairement identifié la fracturation. A l'inverse de Gaviota 5, les ingénieurs de gisement ne voulaient pas produire la zone C, zone la plus fracturée du puits, parce que trop basse et trop proche du contact gaz/eau. Dans Gaviota 6, ils souhaitaient produire la partie haute du gisement.

Des perforations ont été décidées et effectuées sélectivement à 4 profondeurs différentes autour de la zone B : P1, P2, P3, P4 (fig. 14), chaque zone étant centrée sur le pic ATTS et couvrant quelques mètres. Une fois encore, une acidification fut effectuée et l'AOFP à la pression initiale fut de 6×10^6 Nm³/jour (soit : 213×10^6 SCFD).

Après ces deux résultats, on enregistra aussi sur le troisième puits, Gaviota 7, une diagraphe EVA (d'autres diagraphe furent effectuées en trou ouvert, mais pour gagner du temps EVA fut enregistré derrière tubage). Les résultats finaux sont donnés figure 15.

Une fois de plus, la section iso-offset nous a permis de déceler certaines zones fracturées (H, I, J), mais il fallut attendre les résultats complets du traitement pour identifier clairement les différentes fractures. Alors que les zones poreuses étaient détectées à la fois par les diagraphe classiques et par EVA, seul EVA pouvait voir les fractures. Sur ce troisième puits, les perforations P1, P2 et P3 ont été effectuées en face des zones poreuses et des fractures. La zone poreuse se voit sur la section iso-offset (zone G) grâce à la faible diminution de la vitesse P, qui n'apparaît pas dans le cas des fractures.

Ces puits ont un AOFP, à pression initiale de 80×10^6 Nm³/jour soit 2857.10^6 SCFD.

Ces trois puits ont été complétés avec un liner de complétion de 5" 1/2 et avec ce type de complétion, il a été possible d'atteindre un débit de 2×10^6 Nm³/jour avec un seul puits.

La conclusion concernant ce cas pratique fut la suivante : les plans initiaux prévoyaient de développer le champ de Gaviota avec 6 puits producteurs. En fin de compte, grâce à l'excellent débit de Gaviota 5, 6 et 7, il n'est plus envisagé de forer de nouveaux puits dans le proche avenir.

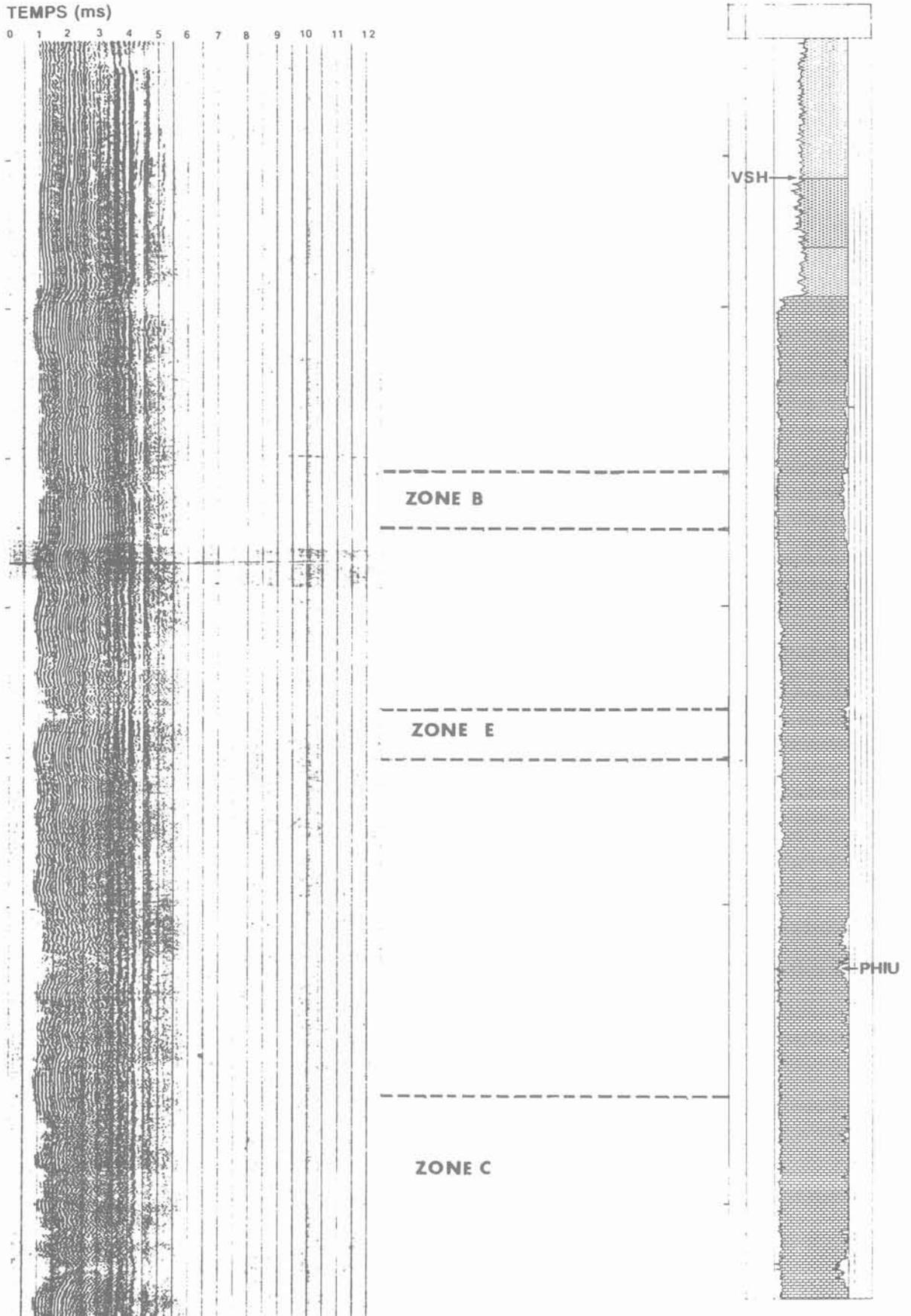


Fig. 13. — Section iso-offset et lithologie tirée d'EVA pour Gaviota 6.

Fig. 13. — Iso-offset section and lithology from EVA for Gaviota 6.

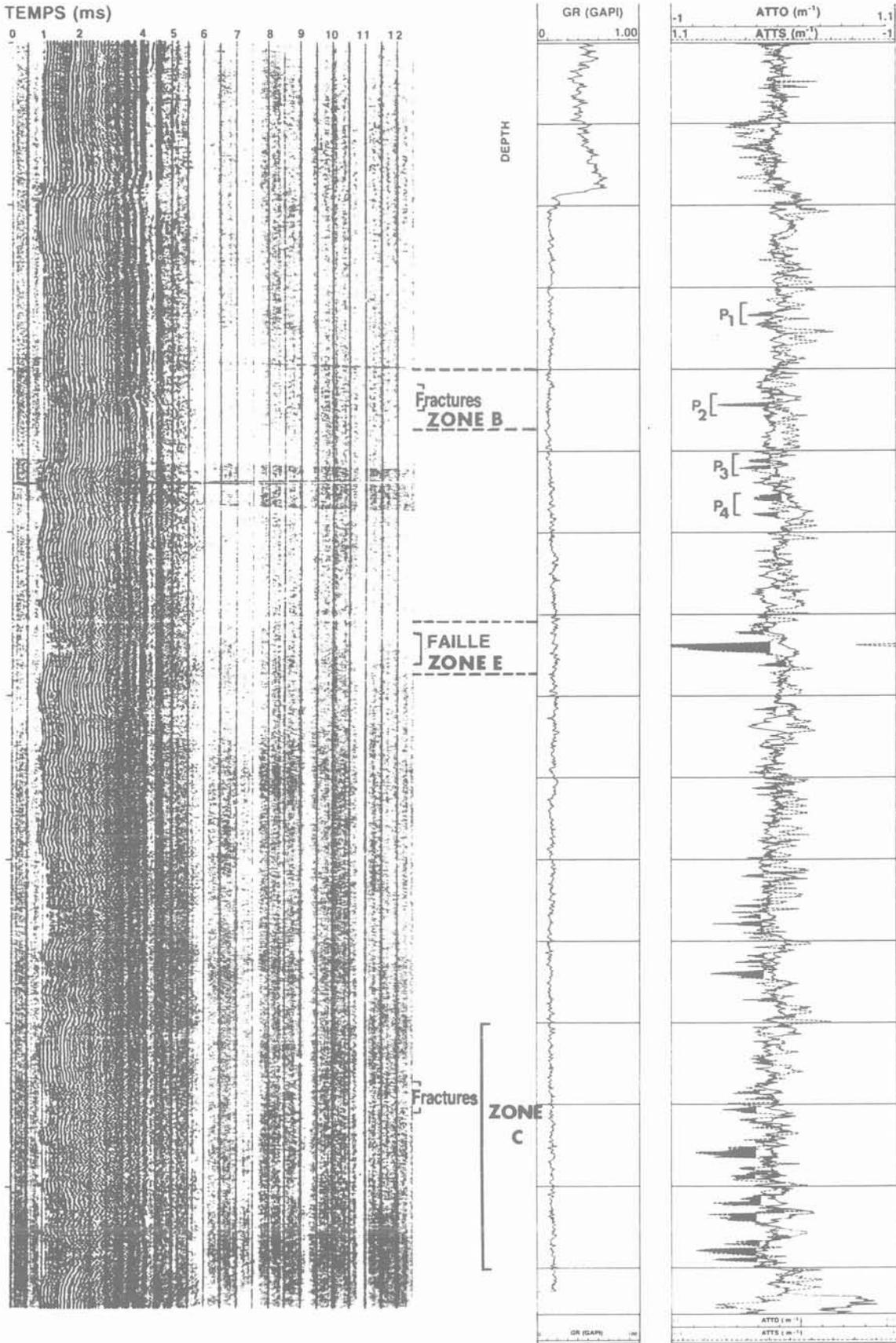


Fig. 14. — Diagraphie de fracturation et section-offset pour Gaviota 6, avec indication des zones perforées.

Fig. 14. — Fracturation log and iso-offset section for Gaviota 6 with indications of perforated zones.

RESULTATS COMPLETS DE GAVIOTA 7

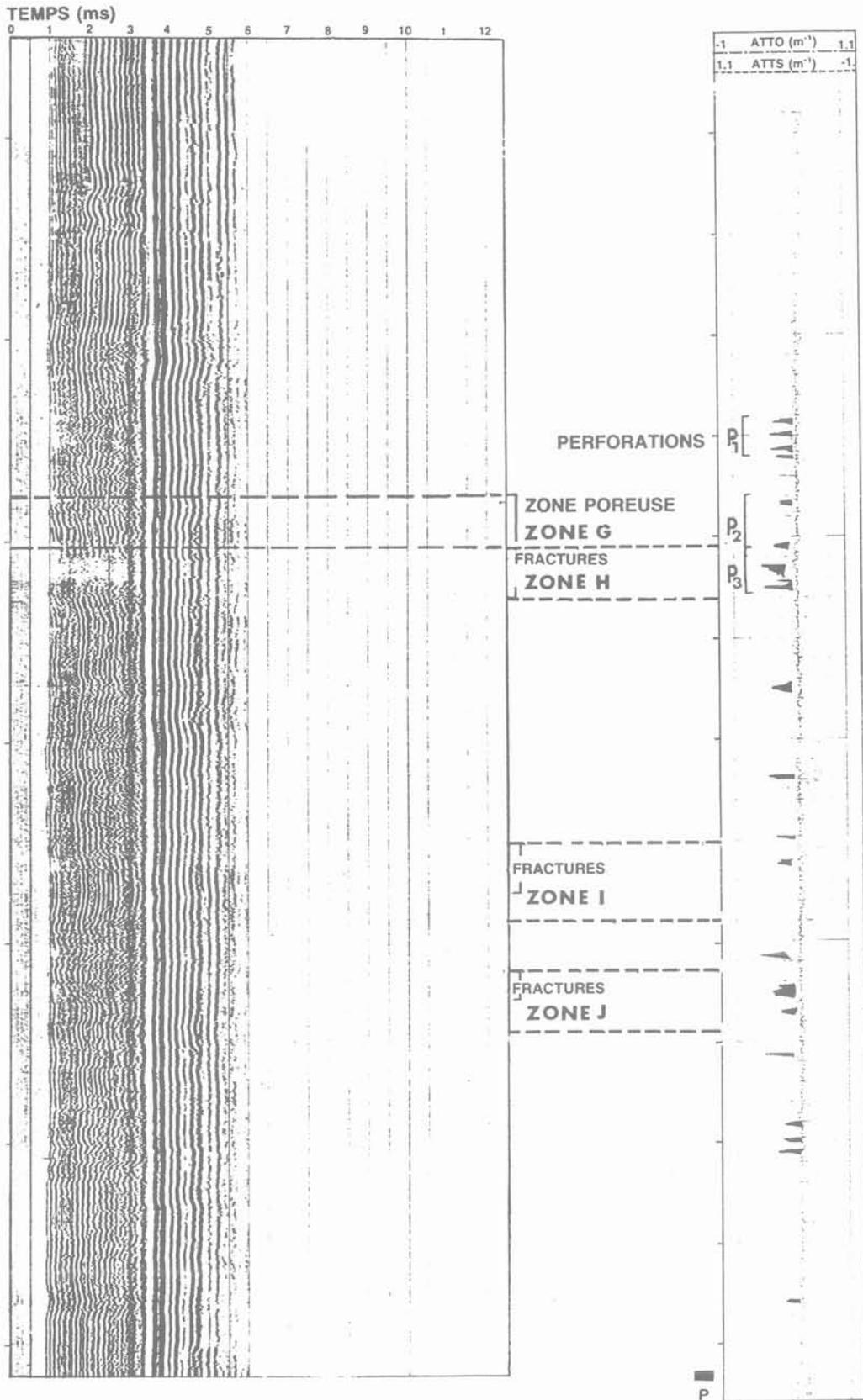


Fig. 15. — Résultats complets pour Gaviota 7.
 Fig. 15. — Complete results for Gaviota 7.

Ainsi, notre expérience acquise à partir de trois puits, sur ce champ espagnol, montre que la combinaison des ondes de cisaillement et de Stoneley est une méthode efficace pour détecter les fractures et, en trou ouvert, pour « quantifier » ces fractures. Par quantifier, nous entendons faire la différence entre fractures ouvertes et fractures plus ou moins colmatées.

- L'augmentation de l'atténuation de l'onde de cisaillement est un indicateur de fractures, ouvertes ou colmatées.
- L'augmentation de l'atténuation de l'onde de Stoneley est une indication de la présence de fractures ouvertes (après que l'on ait clairement identifié la lithologie).

5. CONCLUSION

Les résultats d'une expérience importante sur les diagraphies acoustiques, combinés à une recherche théorique, nous ont amenés à développer une nouvelle méthode pour caractériser les gisements fracturés, tant en trous ouverts que tubés.

Grâce à un ensemble adapté de traitement, dérivé de la sismique, les données de bonne qualité enregistrées avec l'outil EVA peuvent être transformées en 12 log acoustiques correspondants au 12 paramètres acoustiques. Parmi eux, les courbes de l'atténuation de l'onde S et de l'onde de Stoneley sont le fondement de notre méthode de détection de fractures.

L'atténuation de l'onde S indique la présence de fractures individuelles, ouvertes ou fortement bouchées. L'atténuation de l'onde de Stoneley se produit quand la zone correspondante est perméable, ce qui, dans le cas d'un gisement fracturé, peut indiquer la présence de fractures individuelles d'une ouverture significative, ou celle de zones fracturées conductrices comportant plusieurs fractures ouvertes, mais de moindre ouverture.

La combinaison des deux paramètres peut en conséquence être utilisée pour localiser des fractures individuelles ou des zones fracturées et pour évaluer leur contribution potentielle à la production d'hydrocarbures, en utilisant l'onde de Stoneley. Il faut souligner l'importance de l'atténuation de l'onde S, car des fractures colmatées peuvent être activées après une stimulation appropriée du gisement si elles sont interconnectées avec le réseau de fractures. Ce dernier paramètre permet de détecter les fractures même en trou tubé.

Cependant, les ondes S et les ondes de Stoneley sont sensibles aussi aux variations de lithologie et à celles du diamètre du trou. Dans les gisements complexes, il est, en conséquence, nécessaire d'effectuer une analyse détaillée de la lithologie qui permettra de faire la distinction entre les différents effets. En trous tubés, quand il n'est pas possible d'enregistrer d'autres diagraphies, EVA peut permettre d'effectuer une telle analyse lithologique, en utilisant tous les paramètres acoustiques.

Les opérations effectuées avec EVA dans trois puits du champ de Gaviota, au large de l'Espagne, ont fourni l'occasion d'essayer la méthode avec succès, la détection des fractures avec EVA, que ce soit en trou ouvert ou derrière le tubage, ayant conduit à une production très satisfaisante du champ.

Dans l'avenir, les progrès de la recherche et encore plus d'expérience pratique, pourraient nous permettre d'évaluer la conductivité aux fluides dans des gisements complexes.

REMERCIEMENTS

Les auteurs sont reconnaissants à REPSOL EXPLORACION S.A. (HISPANOIL) opérateurs du champ de gaz de Gaviota et à EAIPSA (ELF-AQUITAINE DE INVESTIGACIONES PETROLIFERAS S.A.), OCEAN-SPAIN OIL COMPANY et MURPHY-SPAIN OIL COMPANY, ses partenaires pour l'autorisation qu'ils ont donnée de publier les données EVA acquises dans les puits Gaviota 5, Gaviota 6 et Gaviota 7.

Les auteurs remercient ELF-AQUITAINE pour leur permission de publier le présent travail.

RÉFÉRENCES

- ARDITTY P.C., ARENS G. et STARON Ph. (1984), *Amélioration de l'évaluation des propriétés des formations, grâce au traitement et à l'interprétation des enregistrements de l'outil EVA*. Présenté au 54^e congrès annuel de la S.E.G., Atlanta.
- ARDITTY P.C., ARENS G. et MATHIEU F. (1985), *Étude des fractures et de la perméabilité à partir du signal complet des données acoustiques dans les formations cristallines*. Présenté au 55^e congrès annuel de la S.E.G., Washington D.C.
- CORNET F.H., JOLIVET J., MOSNIER J. (1987), *Identification et caractérisation hydraulique des fractures recoupées par un forage*, Annales du 6^e congrès sur la mécanique des roches, Montréal, Thème 1, pp. 61-66, Balkema, Rotterdam.
- DAVISON C.C., KEYS W.S., PAILLET F.L. (1982), *Utilisation des diagraphies géophysiques de puits et des tests hydrologiques pour caractériser les roches cristallines en vue du stockage de déchets nucléaires*. Établissement de recherches nucléaires de Whiteshell, Manitoba et Laboratoire nucléaire de Chalk River, Ontario, Canada. Rapport technique ONW1-418.
- MATHIEU F. et TOKSÖZ M.N. (1984), *Application des diagraphies acoustiques à signal complet à l'estimation de la perméabilité des gisements*. Présenté au 54^e congrès annuel de la S.E.G., Atlanta.
- MATHIEU F. et TOKSÖZ M.N. (1984), *Détermination de la perméabilité des fractures au moyen des diagraphies acoustiques*. Proposé au Log Analyst.
- PAILLET F.L. (1980), *Propagation acoustique au voisinage de fractures qui recoupent un puits rempli de fluides*, S.P.W.L.A., 21 Symp. DD.