

Les applications de l'imagerie de puits à l'évaluation des réservoirs pétroliers

A. ZEDDOURI⁽¹⁾, S. HADJ-SAID⁽²⁾

⁽¹⁾ Laboratoire de biogéochimie des milieux désertiques, université Kasdi Merbah Ouargla

⁽²⁾ Laboratoire de géologie du Sahara, université Kasdi Merbah Ouargla

Zedouri.az@univ-ouargla.dz

Résumé- Au milieu des années 80, la société pétrolière Schlumberger a introduit à l'industrie pétrolière la technique d'imagerie des parois des puits en effectuant des mesures très serrées de résistivité électrique. En profitant de l'avancée technologique, cette technique est rapidement évoluée pour devenir un outil indispensable à la caractérisation des réservoirs pétroliers.

Les outils d'imagerie, tout comme ceux des diagraphies classiques, se basent sur les mêmes principes fondamentaux de la physique à savoir les mesures de la micro résistivité des couches à l'aide d'un signal électrique et la propagation des ondes acoustique dans un milieu et enregistrement des valeurs de temps et d'amplitude de l'onde réfléchi.

L'objectif de ce travail est de présenter les différents procédés de l'imagerie des puits et donner les outils les plus utilisés actuellement ainsi que les applications fournies par chaque technique.

Mots-clés : imagerie électrique, imagerie sonique, pétrophysique, fracturation, réservoirs.

I. INTRODUCTION

L'imagerie acoustique et électrique a fait un pas considérable dans le domaine de la reconnaissance des formations en subsurface tout en apportant des réponses aux questions qui bien souvent ont fait l'objet des polémiques dans l'interprétation des milieux de dépôts. Cet apport se résume en une meilleure connaissance de la tectonique du gisement, des couches (pendage et azimut) ainsi qu'une meilleure approche dans le domaine de la fracturation. La maîtrise de l'imagerie de fond est une garantie pour une fiabilité des interprétations des phénomènes géologiques tout au long de leur formation en corrélation avec les données des carottes (imagerie de surface).

Comparées aux diagraphies classiques, l'imagerie se base sur la multiplication des mesures dans le même endroit et en un temps réduit ; ce qui lui permet d'offrir une information détaillée de toute la paroi (couverte par fois jusqu'à 100%). Son avantage principal est la possibilité d'orienter l'image obtenue par rapport au Nord magnétique dans un puits vertical, et au Top du trou dans un puits horizontal.

L'imagerie est indispensable pour :

- La représentation complète du trou par image 360°.
- La détermination de pendage.
- La détection des fractures et les failles, ainsi que leurs types et leur orientation.

- La détermination de la limite grés/argile, des intervalles de stratification minces.
- Fournit des données du diamètre du trou avec une haute résolution acoustique.
- Donne une image sur la géométrie de la paroi du trou.
- Fournit une image détaillée du trou, avec une boue salée et une boue à base d'huile.
- Fournit l'orientation et la corrélation des carottes.

II. DEVELOPPEMENT DE L'IMAGE

Au fond d'un trou, l'outil enregistre des événements géologiques (plan de stratification, faille, fracture, ...etc) représentés géométriquement par des plans dans les trois dimensions de l'espace ; ces mêmes événements seront représentés par une ligne dans une image à deux dimensions. Ce développement se fait selon le schéma ci-dessous.

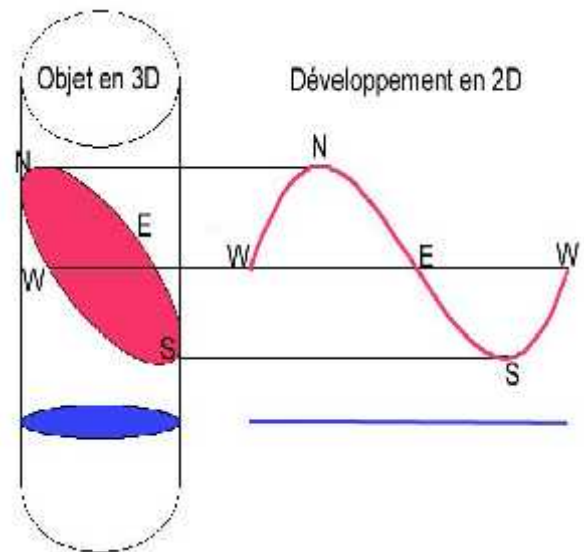


Figure 1: Un plan incliné est représenté par une ligne sinusoïdale, par contre un plan horizontal est représenté par une ligne droite.

III. OUTILS UTILISES ET PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Les outils d'imagerie, tout comme ceux des diagraphies classiques, se basent sur les mêmes principes fondamentaux de la physique :

- Mesure de la micro résistivité des couches à l'aide d'un signal électrique.
- Propagation des ondes acoustique dans un milieux et enregistrement des valeurs de temps et d'amplitude de l'onde réfléchie.

IV. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE L'OUTIL ELECTRIQUE :

Le corps inférieur de l'outil émet un courant appelé EMEX (pour Emettre-Exciter), dans la formation. Une très faible partie de ce courant passe par les électrodes et donne les courbes enregistrées, représentant les contrastes de micro-résistivité aux limites des couches ou aux fractures traversant le sondage.

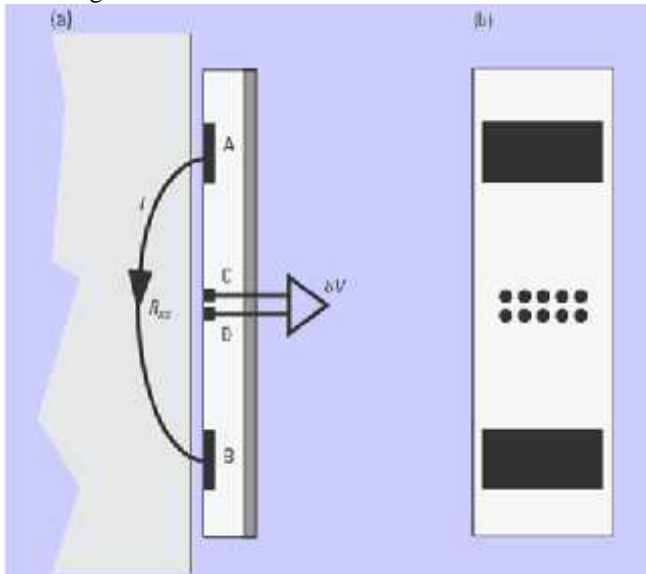


Figure 2: Principe de fonctionnement de l'outil électrique

V. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE L'OUTIL ULTRASONIQUE :

L'orsque l'impulsion acoustique frappe la paroi du trou une partie de l'énergie est réfléchie et le reste passe par la formation, l'énergie réfléchie dépend du contraste de l'impédance acoustique Z1 et Z2.

$$Z = \rho \cdot V$$

Avec :

Z= impédance acoustique

ρ =densité

V=vitesse

L'amplitude et la vitesse de l'onde sonore sont fonction de la lithologie, de la forme et de la taille de l'empreinte géologique rencontrée.

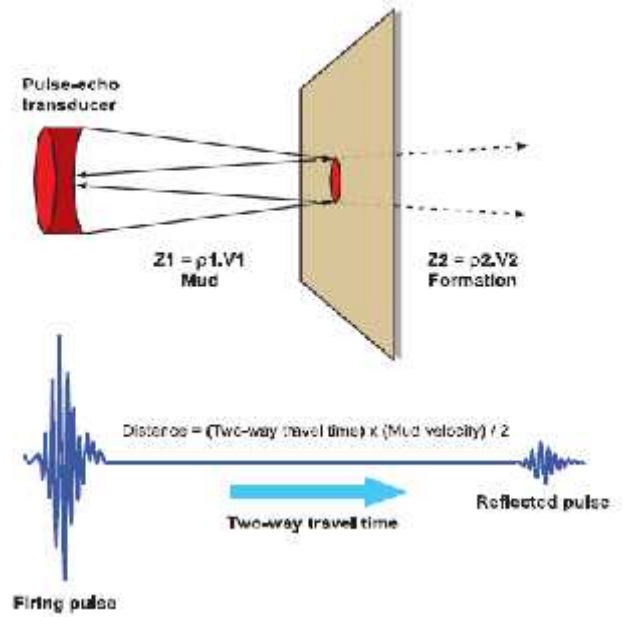


Figure3: Principe de fonctionnement de l'outil acoustique

VI. EXEMPLE DES OUTILS UTILISES EN IMAGERIE ELECTRIQUE

VI.1. EARTH IMAGER

L'Earth imager est un outil d'imagerie électrique de la compagnie internationale Baker Atlas conçu spécialement pour les enregistrements dans la boue non conductrice (boue à huile).

Cet outil est constitué de six bras où chacun portant un patin qui transmet un courant dans la formation à travers 10 boutons d'électrodes.



Figure 4 : Outils Earth imager

VI.2. OBMI (OIL-BASE MICRO IMAGER) :

OBMI est la nouvelle génération des outils d'imagerie électrique de la compagnie internationale Schlumberger, fournit des images de micro résistivité de la formation au voisinage immédiat de la paroi du puits pour une boue non conductrice.

Cet outil donne des images de micro résistivité assurent une sensibilité aux changements sédimentaires et une résolution verticale de 0.2 pouces pour des analyses très fines, ainsi que d'assurer une large couverture de la paroi du puits à plus de 80% dans un trou de diamètre de 8 ½ pouces, il est constitué de quatre bras ou chacun portant un patin qui transmet un courant dans la formation à travers des boutons électrodes.



Figure 5 : Outils OBMI

VII. EXEMPLE DES OUTILS UTILISES EN IMAGERIE ULTRASONIQUE

VII.1. OUTIL CBIL :

Le CBIL de la compagnie Baker Atlas présente les mêmes caractéristiques que celles de l'UBI, avec une forme différente ; il se base sur le même principe physique (émission et réception des ondes acoustiques) pour produire une image en continu des parois d'un puits tubé ou non tubé. L'outil comprend un transducteur acoustique monté sur une section rotative il envoie puis détecte l'impulsion acoustique réfléchiée par la paroi du trou.

L'amplitude réfléchiée est en fonction du contraste acoustique de la formation et la boue dans le trou de forage.

Le temps de déplacement dans les deux sens est en fonction de la vitesse de la boue et la distance de la formation.



Figure 6 : Outil CBIL

VII.2. OUTIL UBI : ULTRASONIC BOREHOLE IMAGER

L'UBI est caractérisé par un transducteur à grande résolution qui pourvoit des images acoustiques en trou ouvert (openhole) même en boue à huile où les mesures de micro-résistivités ne peuvent pas être enregistrées.

Les informations sur la stabilité et la fracturation du puits peuvent être dérivées des enregistrements faits par l'outil.

L'outil est muni d'un transducteur rotatif qui fait à la fois fonction de transmetteur et de récepteur. Le transducteur existe en plusieurs dimensions, celles-ci sont sélectionnées en fonction du diamètre du trou pour minimiser le trajet de la pulse ultrasonique dans le fluide de forage, réduisant ainsi l'atténuation de l'amplitude de l'onde dans les fluides lourds et maintenant un bon rapport signal-bruit.

Le transducteur rotatif envoie 156 pulses par rotation et fait 7 rps (rotations par seconde) assurant ainsi une couverture de 100% de la paroi du trou.



Figure 7 : Outils UBI

VIII. RESULTATS ET INTERPRETATION

L'observation attentive d'une image de puits permet d'identifier et de classer les éléments géologiques, ce qui était très difficile, voire impossible, à partir des seules courbes de pendagemétrie. Dans bien des puits, un géologue expérimenté détectera les détails caractéristiques d'un environnement de dépôt, d'un style tectonique, d'un type particulier de réseau de fracturation, etc.

Autrement dit, il appliquera aux imageries de puits les méthodes basiques de l'observation d'affleurements réels. Le géologue compense l'étrécissement de cet affleurement virtuel en tirant avantage des outils de manipulation d'images de la station de travail (GeoFrame par exemple), tels que la compression d'échelle ou la manipulation des tables de couleurs. L'intégration de ces observations individuelles conduit, comme sur un affleurement, à l'établissement de Modèles sédimentaires et structuraux ou à la compréhension de la fracturation au voisinage du puits. Ce type de raisonnement, purement géologique, est illustré par différents exemples.

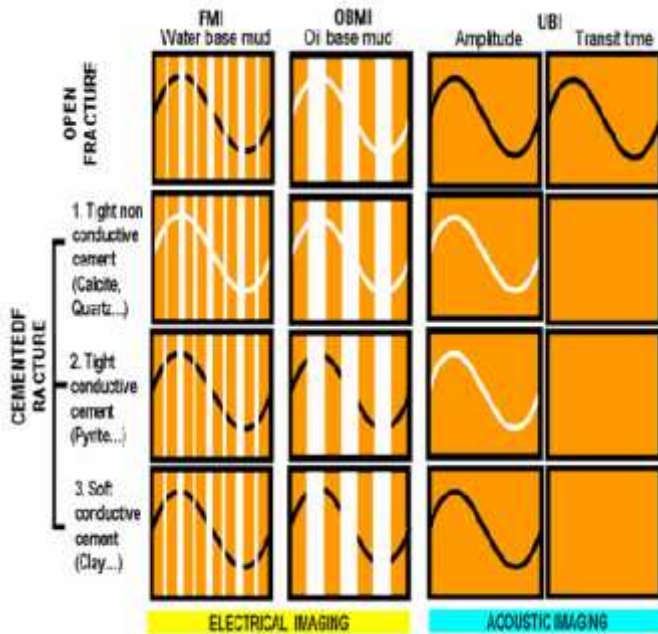


Figure 8 : identification des fractures d'après les images

L'interprétation sédimentologique s'appuie largement sur la description de faciès sédimentaires, qui associe des critères lithologiques et paléontologiques à la géométrie des structures sédimentaires. Ces critères participent à l'interprétation de l'origine du sédiment, de l'âge, du milieu et du mécanisme de son dépôt. Les associations de faciès et leurs successions verticales et latérales permettent l'interprétation en termes d'environnements de dépôt.

Cette interprétation est déterminante car l'environnement de dépôt est une des clefs de la géométrie interne et externe du réservoir et des circulations de fluides qui s'y produisent.

IX. EXEMPLE DE L'IMAGERIE DU Puits HGA-25 :

Le puits HGA-25 est situé dans la région de Hassi Guettar. Ce dernier correspond à une structure satellite située au Sud-Ouest du champ de Hassi Messaoud, dans le bloc n°427, entre les longitudes 5°30' et 6°30' Ouest et les latitudes 30°50' et 31°40' Nord.

L'imagerie OBMI a été acquise lors de la remontée, en combinaison avec l'imagerie UBI. Les données ont été traitées afin d'obtenir des images de micro-résistivité (OBMI) ainsi que d'amplitude acoustique et de rayon centré (UBI) sur l'intervalle 3440-3606 m.

La haute résolution des mesures des outils OBMI et UBI a permis d'identifier des pendages structuraux, structures sédimentaires ainsi que des fractures naturelles. De ce fait, la qualité de l'imagerie OBMI-UBI a été jugée de catégorie B (Bonne).

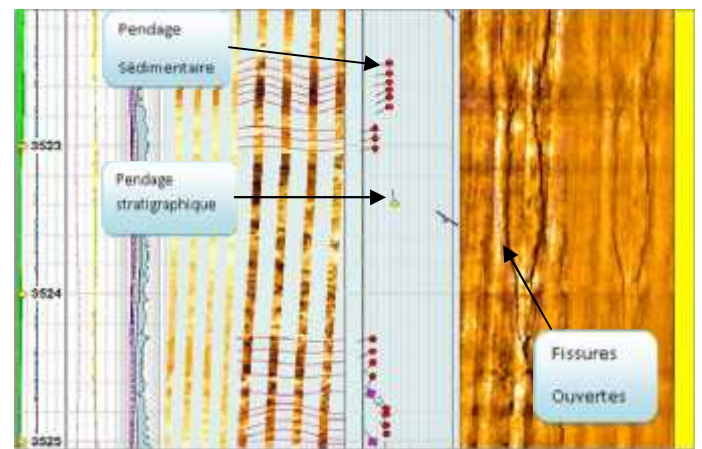


Figure 9 : exemple d'image du puits HGA 25

X. CONCLUSION :

Les outils d'imagerie de forage peuvent fournir une image des parois du puits basée sur le contraste des propriétés physiques. Les images enregistrées permettent la détection des fractures et les différentes structures géologiques confirmant ainsi les résultats obtenus à partir de l'analyse des carottes.

Il y a actuellement une grande variété d'outils d'imagerie disponibles, pouvant être classés en deux catégories: outils d'imagerie de résistivité et outils d'imagerie acoustique. La combinaison des outils UBI et OBMI a montré de très bons résultats dans les puits de Hassi Guettar concernant l'identification des fractures, la stabilité du trou, aussi bien que l'analyse sédimentaire et structurale. L'intégration de l'imagerie avec d'autres services comme le Sonic Scanner qui donne plus d'information sur les caractéristiques mécaniques de la formation, donnera beaucoup plus de valeur à leur interprétation.



The INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRONICS & OIL: FROM THEORY TO APPLICATIONS

March 05-06, 2013, Ouargla, Algeria



Néanmoins, Certains domaines sont encore inaccessibles par les outils d'imagerie (couleur, fossiles, granulométrie des grains). Le recalage en profondeur est parfois difficile à réaliser correctement en l'absence de la mesure précise de la vitesse d'enregistrement à l'aide d'un accéléromètre ajouté à chaque train de sondes

REFERENCES

- [1] Bourbiaux B., 2010. Fractured Reservoir Simulation: A challenging and rewarding issue simulation des réservoirs fracturés : un défi et un enjeu. *Oil & Gas Science and Technology*, Revue d'Institut Français du Pétrole IFP, 65 (2), 227-238.
- [2] Bourke, L.T., Prosser D.J., 2010. An independent comparison of borehole imaging tools and their geological interpretability. *Transactions of the Society of Petrophysicists and Well Log Analysts (SPWLA)*, 51st Annual Logging Symposium, Paper GGG.
- [3] Faraguna, J.K., Chace, D.M., and Schmidt, M.G. 1989. An improved borehole televiewer system - image acquisition, analysis and integration. *Transactions of the Society of Petrophysicists and Well Log Analysts (SPWLA)*, 30th Annual logging Symposium, Paper U.U. 11 p.
- [4] Plumb, R.A., Hickman, S.H., 1985. Stress-induced borehole elongation: a comparison between the four-arm dipmeter and the borehole televiewer in the Auburn geothermal well. *Journal of Geophysical Research*, 90, 5513-5521.
- [5] Goodall, I, Lofts, J, Mulcahy, M, Ashton, M and Johnson, S. (1999) A sedimentological application of ultrasonic borehole images in complex lithologies: the Lower Kimmeridge Clay Formation, Magnus Field, UKCS. In Lovell, M. A, Williamson, G and Harvey, P. K (eds) *Borehole Imaging: applications and case histories*. Geological Society Special Publication No. 159: p203-225