

Diagraphies électriques pour l'optimisation de l'hydrofracturation en zone de socle. Premiers résultats au Burkina Faso.

M. Beck¹, D. Girardet¹, D. Chapellier¹, M. Descloitres²

¹Institut de Géophysique de l'Université de Lausanne (IG), C.P., CH-1015-Lausanne, Switzerland

²Institut de Recherche pour le Développement (IRD), Centre de Ouagadougou, 01 B.P. 182, Ouagadougou 01, Burkina Faso

Abstract: Prospecting for groundwater is one of the major problem for sahelian countries. In Burkina Faso the basement rock is crystalline. In such a geological context, the majority of the water available is caught inside the fractures hidden by an alterite zone (clayey zone). The geophysical methods are commonly used from the surface in order to help the hydrogeologist to implement the bore hole. Even with this survey strategy, some drill hole remains wet or the yields are too low. In this case, the hydrofracturing technique is sometimes used in order to improve the yields when they remain between 300 and 600 l/h. This paper presents the results of some geophysical logging techniques, (basically electrical methods), in order to i) image the rock around the bore hole during the hydrofracturing sequence, and ii) determine which logging is able to help the hydrogeologist when positioning the packer and the casing. To achieve those objectives, we intent to use the following techniques:

- Common electrical logging including normal and lateral, Spontaneous Polarisation, fluid temperature and resistivity.
- 2 D electrical imaging.

Mots-clés : diagraphies, pseudos-sections 2D, mesures électriques, hydrofracturation, productivité des forages.

Introduction

L'exploitation des ressources en eau est un des problèmes majeurs dans les pays Sahéliens. Au Burkina Faso, en zone de socle, l'eau disponible se trouve concentrée dans les zones fracturées, sous une couverture d'altérites. La géophysique de surface permet de repérer les zones de fractures. Malheureusement de nombreux forages implantés par géophysique se révèlent peu ou pas productifs. En effet pour qu'un forage soit déclaré positif il faut qu'il puisse produire un débit de 700 à 800 l/h. Dans certains cas pour améliorer le débit des forages, lorsqu'ils ne fournissent que 300 à 600 l/h, on procède à de l'hydrofracturation.

Cette technique, à l'origine utilisée en recherche pétrolière, est aussi très utile en prospection hydrologique. Elle consiste à positionner un ou deux « packer » (bouchon, obturateur) dans le forage et à injecter de l'eau sous haute pression, pour ouvrir et nettoyer les fractures existant dans la roche, augmentant ainsi le débit.

Objectif de la recherche

En Afrique, dans les projets d'hydraulique villageoise, l'hydrofracturation est une technique employée très récemment qui est mise en œuvre de façon empirique. On positionne un packer mettant toute la partie du forage située sous le packer sous pression. Puis on descend le packer à un nouveau palier et la procédure est répétée.

Actuellement, le positionnement du packer est réalisé après consultation des notes de terrain prises par le foreur. La précision dans ce cas est peut-être assez faible.

L'utilisation de mesures électriques en forage devrait permettre de contribuer de façon optimum au positionnement des packers et de savoir quelle fracture a été affectée par l'hydrofracturation.

Dans ce but nous avons utilisé :

- des diagraphies expéditives,
- des pseudos sections en forage.

Les diagraphies expéditives sont des outils construits à moindre coût et permettent des mesures point par point. Le pas d'échantillonnage dépend de l'opérateur et de la précision désirée. D'autre part, les équipes chargées de l'implantation des forages disposent souvent de résistivimètres qui peuvent être connectés à ces outils.

A cette fin nous avons construit les sondes suivantes :

- Une sonde avec la polarisation spontanée (PS), le single point ou monoélectrode, les normales 16'', 32'', 64''.
- Une autre avec une cellule de mesure de la résistivité et de la température du fluide.
- Enfin, une flûte comportant 16 électrodes alignées espacées de 80 cm.

Mesures

Sept forages ont été étudiés. Ils sont situés dans la province du Ganzourgou et du Koulpélogo à l'Est de Ouagadougou, et sont tous considérés comme improductifs (300 à 600 l/h).

Dans ces forages nous avons enregistré, avec un pas d'échantillonnage de 25 cm :

- Les trois normales 16, 32, 64,
- La mono électrode, la PS
- La résistivité du fluide et la température,
- Des pseudos sections (pôle pôle et « wenner-schlumberger ») avec un recouvrement de 8 électrodes.

Dans trois forages nous avons pu effectuer les mesures avant et après hydrofracturation. Un de ces forages a vu son débit augmenter après hydrofracturation à 3000l/h. Nous n'avons pas pu faire de mesures dans les 10 derniers mètres des forages au delà de 95 mètres.

Avant et après hydrofracturation nous avons enregistré :

- La normale 16, la mono électrode, la résistivité du fluide et la température tous les 25 cm.
- Des pseudos sections avec des acquisitions pôle-pôle (fig. 2), et wenner-schlumberger.
- De ces pseudos sections nous avons isolé les mesures correspondant à une normale 32, 64, et une latérale 2 m. Les mesures ont été faites tous les 40 cm.

Pour deux de ces forages, les pseudos sections ont pu être réalisées après chaque palier.

Résultats

1 - Diagraphies expéditives classiques

La figure 1 présente les résultats obtenus avant hydrofracturation sur les forages de Wayalgi Sambin et de Wayalgi Sig-Noghin. Ces résultats permettent de dégager les premières conclusions suivantes.

La fréquence spatiale des mesures (25 cm) est adaptée pour la description des variations observées. Les logs électriques mettent en évidence les passages de faible résistivité au sein du socle. Lorsqu'on compare les résultats des diagraphies avec les notes du foreur on constate dans un cas (Wayalgi Sambin) que les chutes de résistivité identifient bien la zone de fractures repérée par le foreur à 42 m, ainsi que deux autres zones à 49 m et 55,5 m. Par contre dans l'autre cas (Wayalgi Sig-Noghin) deux faibles anomalies se marquent à 41 et 44 m. et les autres fractures notées par le foreur ne produisent aucunes réponses. Il s'agit dans ce dernier cas d'une erreur probable du foreur (baisse de régime du compresseur ?). Lors de l'hydrofracturation, il sera probablement inutile de positionner le packer à ces niveaux identifiés par le foreur. Cette constatation suffit à elle seule à justifier l'utilisation de diagraphies électriques simples pour la confirmation des zones identifiées lors du forage, et pour tenter d'évaluer plus précisément l'extension verticale des zones de moindre résistivité. Il convient de remarquer que les anomalies sur la latérale sont déplacées en profondeur du fait de l'asymétrie de la sonde.

2 - Pseudo sections

L'analyse des pseudo sections pôle pôle avant, pendant et après l'hydrofracturation sur le forage de Lamiougou est présentée en figure 2.

Cette analyse est qualitative, puisqu'il s'agit de comparer des résistivités apparentes. L'eau ayant servi à hydrofracturer étant plus résistante que celle existante dans le forage avant, il n'est pas étonnant que les mesures pôle-pôle montrent des résistivités apparentes ayant augmenté au droit ou en dessous du packer pour les petites longueurs de ligne. Pour chaque palier, une hauteur de paroi d'environ 30 mètres est affectée par ces augmentations de résistivité. Il est par conséquent possible qu'on mette ici seulement en évidence l'augmentation de la résistivité du fluide dans le trou de forage. En revanche, les chutes de résistivités apparentes pour les plus grandes longueurs de ligne pourraient être associées à une chute de la résistivité réelle : en effet, le fluide initialement plus conducteur est poussé à l'intérieur du terrain par la pression. Il est par conséquent possible qu'on puisse détecter qualitativement les zones où il s'est préférentiellement infiltré (et donc positionner les crépines de façon optimum au droit des anomalies de chute de résistivité). Ces diminutions se produisent dans des zones proches du packer.

En l'absence d'une interprétation quantitative des pseudo sections, on peut néanmoins dresser les premières conclusions suivantes concernant ce forage.

Les pseudo-sections en forage réalisées avant, pendant et après l'hydrofracturation renseignent qualitativement sur la position des zones d'infiltration préférentielle.

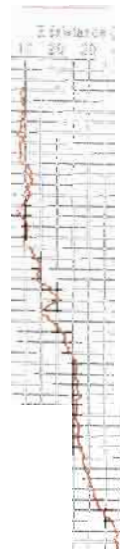
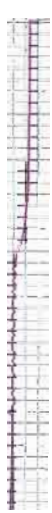
Il est logique de penser que les différences entre les résistivités du fluide dans le forage et celle ayant été utilisée pour hydrofracturer sont très importantes à connaître pour l'interprétation qualitative des pseudo-sections en forage.

Les mesures effectuées après chaque palier d'hydrofracturation montrent des différences qui semblent plutôt provenir du nettoyage des fractures que de la différence de fluide remplissant le forage.

Après chaque palier on voit bien quelles sont les fractures qui n'ont pas été touchées et qui nécessiteraient d'être isolées individuellement entre deux packers pour éventuellement devenir productives.

Cette imagerie en forage illustre bien ce fait et montre que ce ne sont pas forcément les zones attendues qui se fracturent.

Cet isolement par deux packers demande une plus grande précision de l'emplacement des zones saines et des zones fracturées, ce à quoi la géophysique peut répondre.



Pseudo section en forage lors de l'hydrofracturation

dispositif pôle-pôle (écartement minimum 80 cm, pas de mesures 40 cm)
 la variation des résistivités apparentes (en %) est calculée selon la formule suivante

$$\frac{(\text{Rapp. palier} - \text{Rapp. avant hydro.})}{((\text{Rapp. palier} + \text{Rapp. avant hydro.}) / 2)}$$

◀ position du packer

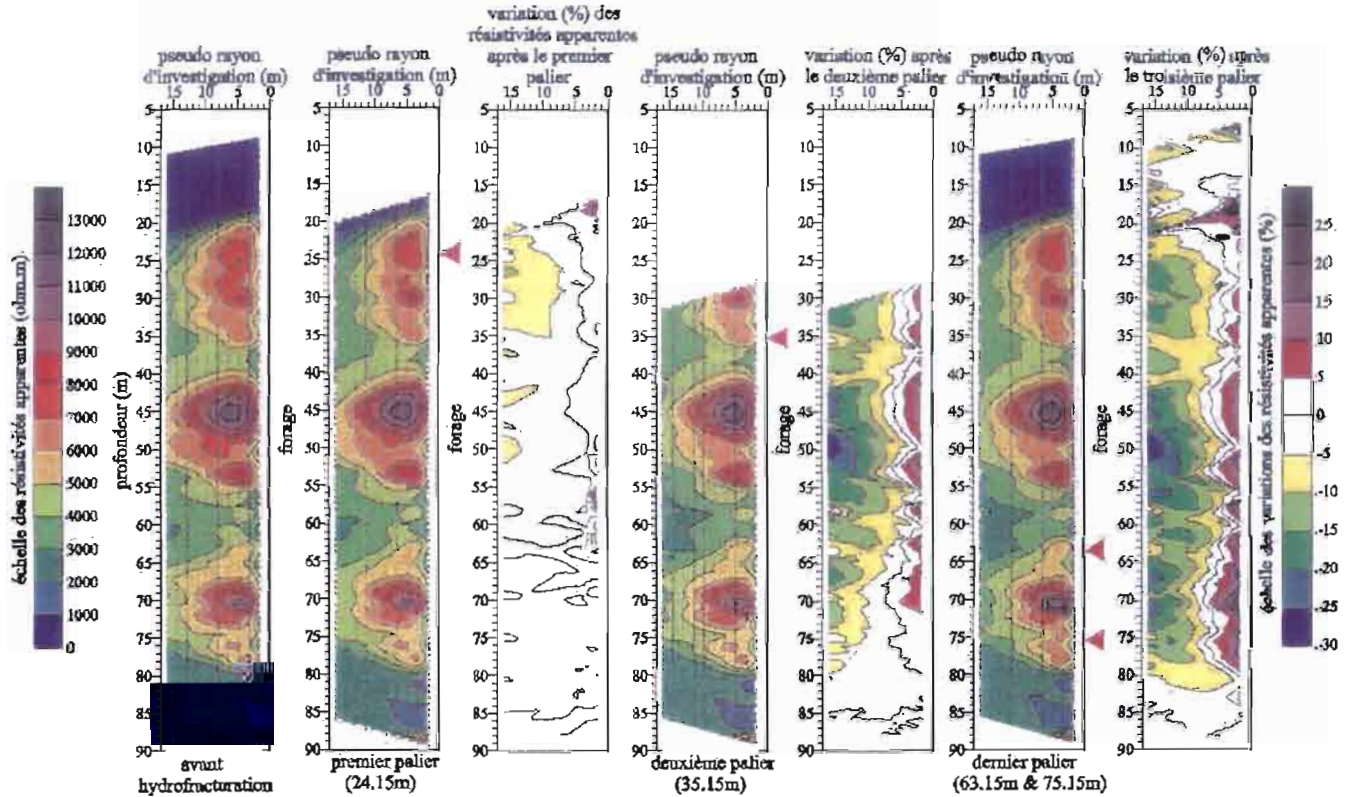


Figure 2 : pseudo section en forage en zone de socle.

Conclusion

Les premières conclusions ci-dessus concernent 3 forages seulement. Il est par conséquent prématuré de les considérer comme universelles.

Il est cependant possible d'affirmer que la réalisation préalable de diagrapies électriques en zone de socle permettrait de positionner les packers de façon optimum tout en confirmant les informations fournies par le foreur.

Dans l'avenir, l'interprétation 3D quantitative des pseudosections sera d'un grand intérêt pour les étude de détail de la fracturation des massifs rocheux en profondeur.

Il s'agit maintenant de choisir la meilleure méthode et le meilleur outil à utiliser dans le cadre de cette application en routine, de plus il serait souhaitable dans une seconde campagne de terrain de tester la dilution technique pour calculer les débits horizontaux.