

Géothermie non Classique - Nouvelles Perspectives de Récupération de l'Énergie -

M.N. Bouazziz, S. Hanini, Y. Bal et K.E. Bal

Laboratoire de Thermique et de Mécanique des Fluides, Département de Génie des Procédés, Centre Universitaire de Médéa

Résumé - La géothermie classique est confinée dans l'exploitation d'une source de chaleur par l'intermédiaire de l'eau in-situ. Les recherches actuelles tendent vers la création d'un échangeur artificiel, obtenu par fracturation hydraulique – technique maîtrisée mais à succès variable dans le secteur de la production pétrolière – dans les roches sèches disponibles dans tous les sous-sols. Une approche nouvelle est proposée dans cette communication par la combinaison de techniques récentes : puits horizontaux, développement de matériel de mesure et d'équipements fiables en milieu environnant hostile et contrôle de la position des forages. Les éléments de cette proposition sont décrits dans le présent article, après analyse du problème énergétique.

Abstract - The traditional geothermic is confined in the exploitation of a heat source via water in-situ. The current research tends towards the creation of an artificial exchanger, obtained by hydraulic fracturing - technique controlled but with variable success in the sector of the oil production - in the dry rocks available in all the basements. A new approach is proposed in this communication by the combination of recent techniques: horizontal wells, development of material of measurement and reliable equipment in hostile medium surrounding and control position of drillings. The elements of this proposal are described in this article, after analysis of the energy problem.

Mots clés: Géothermie - Puits horizontaux – Diagraphies – Trajectométries – Roches sèches

1. INTRODUCTION

Il est bien connu d'une part que les applications les plus pratiquées de la géothermie sont la production de l'électricité et le chauffage urbain [1]. Cette énergie renouvelable, est jusqu'à présent confinée dans les domaines dits de basse et de haute enthalpies et les techniques associées sont plus ou moins maîtrisées. Dans le premier cas, l'exploitation est assurée par doublet dans les boucles géothermale et géothermique avec l'aquifère comme zone de jonction. Ceci permet de s'affranchir en cas d'eau polluée compatible ou non aux eaux de surface environnantes. Dans le second cas, l'eau sous forme vapeur est produite pour l'électricité mais les champs de cette espèce ou hyperthermies sont à proximité des zones d'activité magmatique très récente ou volcanique, de ce fait les ressources sont restreintes géographiquement [2]. D'autre part, dans les perspectives énergétiques mondiales, le potentiel de la géothermie est considéré quasi-inépuisable par rapport à la demande prévisible de l'humanité que ce soit pour le chauffage urbain (50-80°C) ou la production d'électricité (150-300°C), cependant le siècle prochain est énergiquement préoccupant dans la mesure où toutes les énergies primaires s'épuiseront en réserves prouvées, à l'exception du charbon (Tableau 1) [3], et la conversion solaire pose de nombreux problèmes. La part de l'énergie géothermique est actuellement insignifiante et d'appoint. Ce problème est controversé par les besoins énergétiques en très forte croissance (Fig. 1) et de plus en plus déconcentrés, et par les solutions alternatives aux hydrocarbures que représentent le charbon et le nucléaire concentrés ou à sécurité discutable. De cette problématique, les énergies dites nouvelles sont à valoriser et doivent répondre à la quantité demandée en devant ces alternatives.

Les recherches se dirigent vers la création par fracturation hydraulique d'échangeur dans les roches chaudes sèches, disponibles partout puisqu'elles utilisent le flux thermique naturel. Cette nouvelle géothermie est encore non maîtrisée techniquement, en raison de la forme et de la caractérisation ultérieure du point de vue thermique et hydraulique de cet échangeur souterrain et où beaucoup d'incertitudes sont présentes. Dans le secteur pétrolier, les succès de la fracturation sont aléatoires et le risque de fracturer les épontes de la couche ciblée est toujours présent. Les analyses et modèles numériques tentent d'apporter des certitudes quant aux limites des paramètres d'intervention [4].

Cette communication se propose de présenter une nouvelle approche de l'utilisation de la géothermie en relation aux progrès techniques réalisés dans l'industrie pétrolière. Il s'agit du développement des forages horizontaux et leurs performances [5], du matériel de mesure (diagraphies dans les milieux dits hostiles) où la tenue des élastomères et composants électroniques à la température supérieure à 180 °C est satisfaisante sans protection, avec des progrès déjà perçus. Enfin la fiabilité d'outils de contrôle de position des forages: trajectométries d'incertitudes axiale et verticale faibles est aujourd'hui prouvée. La combinaison de plusieurs techniques mène à une conception non classique pour la récupération de l'énergie thermique terrestre d'autant plus justifiée que l'interaction forages-roche n'est plus le maillon faible des circuits cités.

Tableau 1: Epuisement des ressources primaires [3]

Energie primaire	Année d'épuisement	
	Réserves prouvées	Réserves potentielles
Pétrole conventionnel	2010	2060
Nouveaux pétroles		2120-2240
Gaz naturel	2030	2150
Charbon	2200	2600-3400
Uranium	2030	

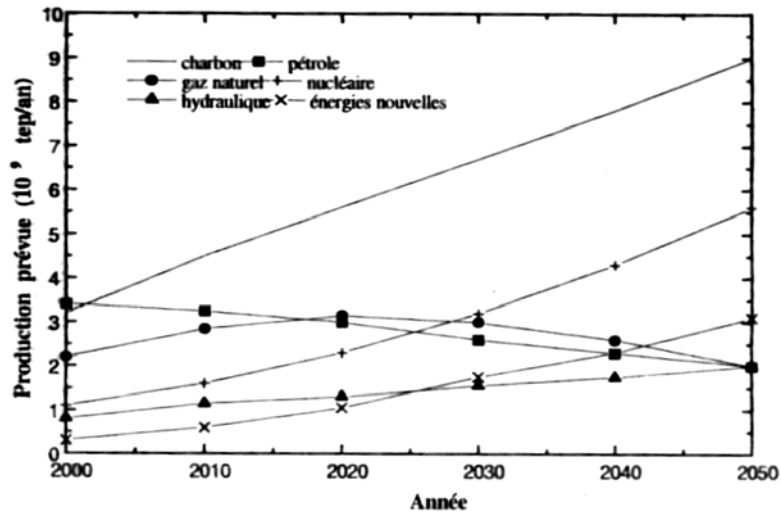


Fig. 1: Futur probable des énergies primaires, hypothèse haute [3]

2. RECHERCHES EN ROCHES CHAUDES SECHES

On schématise à la figure 2, le principe de création de l'échangeur artificiel. C'est une solution recherchée pour son application quasi-universelle, du point de vue géographique. Plusieurs projets ont été conduits et les performances actuellement enregistrées se consolident. L'objectif est d'atteindre les granits profonds et chauds, source de chaleur considérable et omniprésente, pour y créer de grandes fractures et de mettre ensuite un fluide en circulation par les puits afin de récupérer les calories cédées par le granit. La simplicité du but s'accompagne de difficultés liées à la fracturation représentée par l'existence de fissures naturelles à directions privilégiées. Si l'usage de turboforeuses dans les granits s'est traduit par une vitesse d'avancement acceptable (7 m/h), des progrès doivent encore être faits en complément du suivi de la propagation de la fracturation grâce à l'écoute de géophones.

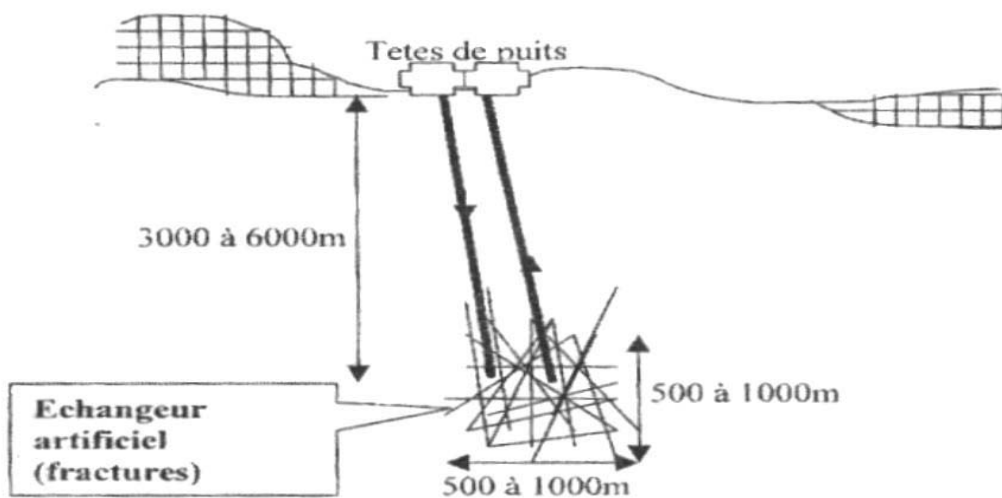


Fig. 2: Schéma de l'échangeur artificiel en roche sèche

3. DEVELOPPEMENTS TECHNIQUES RECENTS

3.1 Forages horizontaux

Les puits fortement déviés ou horizontaux ont été développés dans la décennie précédente. Les succès enregistrés sont illustrés par l'exemple de la figure 3, avec la profondeur verticale atteinte de 2900 m. La distance forée dans le réservoir est de 330 m à l'horizontale. Un nombre important de problèmes, issus de la forte inclinaison et du phénomène de gravité ont été résolus après identification :

- * Usage de stabilisateurs spéciaux, ronds, à surface curviligne, et non tournants pour contrecarrer la chute d'inclinaison due à la gravité et à l'effet du flambage. Les masses-tiges sont placées plus haut qu'en forage peu inclinés.

- * Acidification par étages pour rétablir la perméabilité altérée par les déblais colmatants du fond en cours de forage.

- * Cimentation sélective des parois tendant à l'effondrement à cause de l'action directe du poids des couches sus-jacentes.

- * Sonde de diagraphie descendue seule, une fois sur place le câble est connecté ultérieurement au moyen des tiges et par raccord à fenêtre latérale.

- * Centralisation correcte pour les cimentations et pour la descente des cuvelages.

- * Perforation sélective par charges creuses pour exploiter les zones traversées, assez hétérogènes sur un drain horizontal long.

Les indices de productivité atteignent 20 fois celui des puits verticaux voisins [5] pour des réservoirs fissurés. Dans le cas ordinaire, c'est un rapport de 5 qui est rencontré. Depuis, des champs d'hydrocarbures ont été développés, et on considère que la technique est parfaitement mise au point.

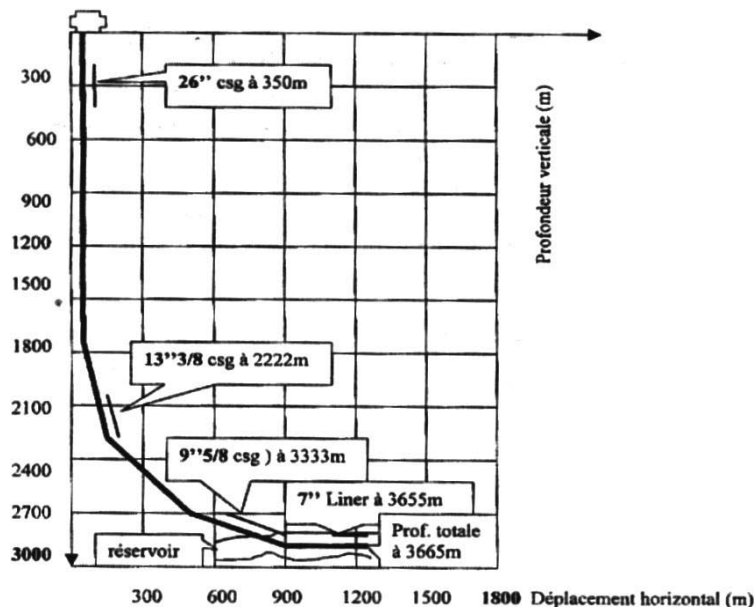


Fig. 3: Performance du puits horizontal CLU 110 [5]

3.2 Diagraphies

Le gradient géothermique est variable d'une région à une autre. Il varie de 3 à 30 degrés par cent mètres. Des expériences menées à Los Alamos (E.U) de 1972 à 1995 ont permis d'atteindre 200 °C à une profondeur de 3000 m. Par ailleurs, en Alsace (France) 146 °C est une température à 2000 m seulement. Les outils classiques nécessaires aux mesures fonctionnent correctement jusqu'à une température des roches de 180 °C, et peuvent répondre temporairement à la limite de 260 °C s'ils sont munis de gaines protectrices. Ce sont les élastomères (pour étanchéité et isolation électrique) et les composants électroniques qui ne résistent pas à des températures élevées.

Aussi, les sociétés spécialisées ont développé dans la décennie présente des sondes capables d'enregistrer les mesures au-delà de ces limites. Les solutions adoptées consistent en une protection thermique dans des récipients de type Dewar ou en un refroidissement par circulation du fluide de forage lors de l'enregistrement.

L'amélioration continue de la tenue en température des matériaux polyimide (on prévoit des polymères organiques à 450 °C en service continu selon enquête Delphi au Japon), et l'usage progressif des céramiques comme isolants conduisent à des perspectives prometteuses pour la mesure en roche très chaude.

3.3 Outils de contrôle de position

La position exacte d'un puits par rapport à un autre dévié est une donnée fondamentale en industrie pétrolière particulièrement lors de l'intervention de contrôle d'une éruption accidentelle.

Le recours aux mesures d'inclinométries et d'azimut est quasi-permanent dans les puits déviés. Ensuite, la méthode la plus utilisée (parmi de nombreuses [6]), est la détermination de l'ellipse de confiance. Pour les puits horizontaux, dont l'objectif est un cylindre de diamètre bien inférieur à celui d'un forage incliné, suivant une distance horizontale relativement très grande, les améliorations ont porté sur :

- * la mise en place d'un système de pompage des instruments de mesure dans la partie hautement déviée,
- * le remplacement des inclinomètres à pendule par des accéléromètres,
- * le remplacement des compas d'azimut par des magnétomètres,
- * usage d'un raccord coudé variable permettant de réorienter la trajectoire sans remontée des tiges,
- * pour des inclinaisons supérieures à 70-80 degrés, le développement d'instrument à fil propulsé hydrauliquement pour le contrôle de la trajectoire.

Lors du forage du doublet géothermique et dans un but de jonction, il y a nécessité de faire coïncider les deux ellipses. Les résultats actuels se situent vers une dizaine de mètres entre les deux puits. Les corrections sont possibles et ramènent l'approche d'un sondage par un autre avec une incertitude axiale et radiale de l'ordre du mètre.

4. PERSPECTIVES

Les progrès récents réorientent la recherche d'un échangeur artificiel à caractéristiques incertaines et à réalisation coûteuse vers la combinaison des techniques décrites, pour aboutir à la conception suivante (Fig. 4) :

* maintenir le système de doublet géothermique, mais les forages seront de type différent, l'un vertical tandis que l'autre est purement horizontal dans le granit chaud.

* après forage du puits horizontal, le puits vertical est entamé suivant l'ellipse de confiance du premier.

* en fin de forage du puits vertical, la création d'une cavité élargie par alésage en gros diamètre est possible techniquement pour ce type de puits. Des améliorations dans le matériel 'hole openers' disponibles jusqu'à 36'' actuellement, sont attendues pour le forage des formations très dures tel le granit. L'utilisation du carbure de tungstène est une solution à développer.

La mise en circulation ultérieure de l'eau, à travers les tubages est plus contrôlable et la cavité réduite en dimensions constitue une simple jonction. La partie horizontale sert effectivement comme échangeur classique de type industriel.

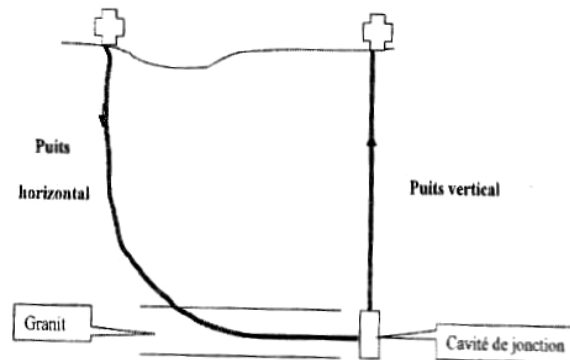


Fig. 4: Schéma illustrant la combinaison de puits horizontal et vertical pour une conception de géothermie nouvelle

5. CONCLUSION

L'exploration des techniques récentes en forage horizontal et mesures systématiques et fiables en milieu hostile nous ont amené à proposer une conception moins incertaine pour le doublet géothermique en roche sèche. L'échangeur artificiel poursuivi jusque là par les recherches est judicieusement remplacé par une cavité réduite, obtenue par des opérations classiques en forage des puits pétroliers.

REFERENCES

- [1] B. Lindal, 'Review of Industrial Applications of Geothermal Energy and Future Considerations', Geothermics, N°21, 1992.
- [2] J.M Coudert et R. Ferrandes, 'Energie Géothermique', Techniques de l'Ingénieur, B1340, 8, 1987.
- [3] Document, 'Ressources Energétiques Mondiales 1985-2020', Ed. Technip
- [4] M.J Boutéca, 'Modélisation Tridimensionnelle des Fracturations Hydrauliques', Séminaire Techn. Puits, Hassi Messaoud, Mars 1989.
- [5] J.Bosio, 'Les Puits Horizontaux, Après les Premiers Succès, Que Reste-t-il à Faire ?', Journées d'Etu. Algéro-Franç., Alger, Mai 1984.
- [6] Document, 'Top-Services', Journées Françaises Techniques, Alger, 28-30 Mai 1984.