Exploitation de la chaleur des roches chaudes peu perméables

Exploitation of the Heat Contained in Hot Rocks with Low Permeability.

F. Cornet

Institut de physique du globe de Paris
Laboratoire de sismologie

E. Ledoux

Ecole des Mines de Paris
Centre d'informatique géologique

La grande quantité de chaleur contenue dans les roches profondes, indépendamment de leur localisation, suscite l'extension de la géothermie classique au domaine des roches chaudes peu ou pas perméables constituant généralement le socle. Les utilisations envisagées sont d'une part la production d'eau chaude (120-140 °C), et d'autre part la fabrication d'électricité (environ 200 °C).

Ce concept nécessite la réalisation d'un échangeur thermique efficace par fracturation en profondeur et le contrôle du maintien de son efficacité en cours d'exploitation. Il a fait l'objet de recherches en vraie grandeur aux USA (Los Alamos), en RFA (Urach) et en Grande-Bretagne (Cornwall), et d'études de principe à faible profondeur pour ce qui concerne plus particulièrement le développement des fractures et les échanges de chaleur en milieu fissuré.

The large amount of heat contained in deep rocks, independently of their location, spurred the extension of conventional geothermal prospecting to the area of hot rocks with little or no permeability generally forming the base. The uses considered are production of hot water (120-140 °C) and generation of electric power (approximately 200 °C).

This concept requires development of an efficient heat exchanger by fracturing in depth and monitoring its continued efficiency during exploitation. It was the subject of full-size research in the U.S.A. (Los Alamos), West Germany (Urach) and Great Britain (Cornwall) and of theoretical studies at shallow depth in particular as concerns the development of fractures and heat exchanges in a fissured medium.

Depuis plusieurs années, un certain nombre de programmes de recherche ont été entrepris dans divers pays pour étudier la possibilité d'exploiter l'énergie thermique des roches profondes peu perméables. Ces programmes sont construits sur l'idée de développer localement une perméabilité suffisante pour permettre une circulation d'eau importante. L'eau injectée à basse température dans un

premier forage est ramenée à la surface grâce à un second forage de production après qu'elle se soit échauffée au contact de la roche.

L'objet de cet article est d'une part de présenter brièvement les différents concepts entrant dans la réalisation de tels projets et, d'autre part, de faire le point sur les différentes voies de recherche mises en œuvre à ce jour.

Concept de flux de chaleur

On sait que la température du sous-sol augmente régulièrement avec la profondeur; le gradient de température, ou gradient géothermique, est en moyenne de 1 °C pour 30 mètres. Toutefois, dans certaines zones, il peut être notablement plus élevé et atteindre des valeurs de l'ordre de 3 °C pour 30 m.

La température profonde est imposée par une énergie d'origine interne qui provient essentiellement de deux sources :

- la désintégration des isotopes radioactifs,
- la chaleur provenant de la formation de la terre et des modifications de sa structure.

Cette énergie thermique se dégage vers l'extérieur sous forme de flux géothermique de deux manières :

- par conduction, des régions chaudes vers les régions froides;
- par convection, en accompagnant toute matière en déplacement (eau ou magma), ce qui peut conduire à de fortes accumulations locales de chaleur.

Les zones superficielles à gradient géothermique anormal peuvent donc être associées soit à des domaines où la radioactivité locale est intense, soit à des zones affectées par des effets de convection.

A titre d'exemple, le refroidissement très lent du fait de la faible conductivité thermique des roches d'une intrusion magmatique lenticulaire de 1 km d'épaisseur et de 20 km de diamètre, mise en place à 1200 °C, dégage environ 10^{20} calories, soit l'équivalent de la consommation totale en énergie de la France pendant 100 ans.

Depuis quelques années, la connaissance du flux de chaleur en France a été complétée par de nombreuses données nouvelles obtenues essentiellement par le BRGM et par plusieurs équipes universitaires rattachées à l'INAG (Vasseur, 1982). A partir de mesures réalisées dans 168 forages ayant donné lieu à une analyse critique poussée et à des corrections de l'effet du relief et des variations paléoclimatiques, il a été proposé une carte de variation régionale du flux de chaleur sur l'ensemble du territoire (fig. 1).

On note, de manière significative, sur cette carte, l'existence d'une anomalie positive de flux atteignant plus de 110 mW/m² sur le Massif Central, qui doit pouvoir être reliée d'une part à la présence de granites hercyniens riches en éléments radioactifs et, d'autre part, aux phénomènes géodynamiques récents qui ont affecté la région : distension oligocène, volcanisme.

Figure 1. — Cartographie du flux de chaleur en France (d'après réf. 1).

On retiendra donc des résultats précédents qu'en règle générale, il faudra forer à 4 000 m de profondeur pour atteindre des températures de 120-140 °C, et à 6 000 m pour environ 200 °C. Dans le premier cas, la chaleur ainsi produite pourrait être utilisée à des fins de chauffage domestique ou industriel, dans le second pour la production d'électricité.

Sauf exception, vraisemblablement rare, on se situera à ces profondeurs dans le socle constitué de roches peu perméables (Roches Chaudes et Sèches, Hot Dry Rocks en anglais), et l'on devra s'attendre à devoir stimuler la perméabilité du réseau de fractures naturelles ou même créer cette perméabilité. Un des principaux intérêts du concept « Roches Chaudes et Sèches » réside dans l'extension quasi-universelle du gisement sur l'emprise des continents, si l'on admet toutefois la possibilité d'une exploitation sous couverture sédimentaire. Il convient cependant de noter qu'en certains points du globe, des anomalies relevant de phénomènes de convection pourront engendrer des gisements peu profonds à haute température, mais présentant l'inconvénient de pouvoir être situés en dehors des zones d'intérêt, tout au moins en ce qui concerne l'utilisation chauffage.

Concept d'échangeur profond

S'il est vrai que la notion de « roches chaudes et sèches » permet de se libérer d'une partie du problème thermique en levant l'essentiel des restrictions sur le choix du site, le problème hydraulique se trouve par contre renforcé. La faisabilité technique de l'exploitation de la chaleur passe par la possibilité de réaliser un échangeur thermique profond présentant une durée de vie suffisante pour justifier l'amortissement du capital investi.

La géologie du socle où serait implanté l'échangeur est assez mal connue. Cependant, les roches qui le composent (roches plutoniques ou métamorphiques) présentent presque toujours une matrice très peu perméable. La perméabilité éventuelle serait alors uniquement due à une fracturation préexistante dont il est admis qu'elle doit diminuer en profondeur et de toute manière se fermer sous l'effet des contraintes. Une donnée certaine est que la division du milieu géologique profond (densité de fracturation, présence de zones broyées) sera faible et que l'accès à la source de chaleur se fera par l'intermédiaire d'un petit nombre de discontinuités dont l'interconnexion assurera la liaison hydraulique entre les forages producteurs et les forages injecteurs. Du fait de la mauvaise conductibilité thermique des roches, qui est d'ailleurs responsable de l'accumulation de la chaleur que l'on cherche à récupérer, le volume des roches affectées par l'exploitation dépendra directement de la surface d'échange thermique entre le fluide caloporteur et le massif, la distance atteinte par la perturbation thermique restant relativement modeste. On calcule en effet que cette distance est de l'ordre de 100 mètres pour une durée d'exploitation de 30 ans. Il est donc vraisemblable que le taux de récupération de l'énergie sera faible, du moins si l'on veut éviter d'énormes difficultés technologiques de réalisation de l'échangeur. Le

gisement risque donc d'être très incomplètement exploité, ce qui ne devrait pas être dommageable étant donné son importance.

1. Réalisation de l'échangeur

Les techniques de réalisation de l'échangeur visent à stimuler ou à provoquer la fracturation du massif par application d'une pression hydraulique sur la roche par l'intermédiaire d'un premier forage (fracturation hydraulique). Après rupture de la matrice ou ouverture de discontinuités préexistantes, les fractures hydrauliques sont propagées par injection d'eau à fort débit jusqu'à obtenir une liaison hydraulique avec un ou plusieurs autres forages. Différents modes de mise en œuvre de cette technique de fracturation ont été proposés et seront décrits plus loin avec la présentation des projets expérimentaux.

2. Caractérisation de l'échangeur

La liaison hydraulique une fois établie doit être caractérisée sur le plan thermique et sur le plan hydraulique.

Sur le plan thermique, le paramètre essentiel est l'aire efficace de la surface d'échange entre le fluide caloporteur et la roche. De cette aire va dépendre la durée de vie de l'échangeur, matérialisée par l'évolution au cours du temps de la température de production. A titre indicatif, une surface d'échange thermique de l'ordre de 200 000 m² serait nécessaire pour maintenir une production d'une vingtaine de mégawatts thermiques pendant 10 ans. Plusieurs méthodes peuvent être envisagées pour maximiser la surface de l'échangeur : réaliser un grand nombre de fractures hydrauliques parallèles (projet de LANL), ouvrir par pressurisation du milieu le plus grand nombre possible de discontinuités naturelles (projet de la Camborne School of Mines), se brancher par des fractures hydrauliques dont on maîtrise l'orientation sur la fracturation existante (projets français). La mise au point de ces différentes techniques éventuellement adaptées aux particularités de chaque site constitue une voie essentielle de recherche.

Sur le plan hydraulique, deux notions interviennent pour caractériser l'échangeur. En premier lieu, l'impédance hydraulique définie comme le rapport entre les pertes de charge à travers l'échangeur et le débit de production est directement liée à la puissance de pompage qu'il faut dépenser pour faire circuler un débit donné. Il est donc très important de rechercher à l'abaisser et à contrôler son évolution. La perméabilité d'un massif fissuré est très sensible à l'ouverture des fractures. Deux moyens peuvent être envisagés pour augmenter cette ouverture : augmenter la pression interstitielle dans le massif en exerçant une contrepression sur les puits de production, ou encore injecter un agent de soutènement au moment de la propagation des fractures hydrauliques. Dans le premier cas, deux mécanismes peuvent intervenir, soit une ouverture directement proportionnelle à la contrainte effective normale exercée sur les fractures, soit une ouverture associée au glissement induit par l'augmentation de pression.

La qualité de la circulation hydraulique est en second lieu contrôlée par les pertes de fluide. Des pertes trop élevées sont consommatrices d'énergie de pompage et peuvent créer des problèmes d'alimentation en eau. De

plus, le risque de modifier à long terme les écoulements hydrogéologiques régionaux doit être considéré. Les essais réalisés à ce jour ont montré que l'importance des fuites pourrait être liée à l'extension de la surface de l'échangeur, mais également à son mode de création. Les systèmes à fractures hydrauliques individualisées (projet LANL) donnent des fuites moins importantes que les échangeurs pressurisés (projet de la Camborne School of Mines). Il existe cependant dans les deux cas une valeur critique de la pression à ne pas dépasser, liée à l'extension des fractures.

Il est essentiel de remarquer que les performances de l'échangeur sur le plan hydraulique et thermique sont liées. Si l'on cherche à diminuer l'impédance hydraulique par application d'une contrepression, on risque de provoquer l'extension du réservoir par ouverture des fractures, et du même coup, l'apparition de pertes de fluide supplémentaires. On a donc à faire à un problème d'équilibre que les recherches en cours ont pour but de maîtriser.

3. Evolution de l'échangeur en cours d'exploitation

Les caractéristiques hydrauliques et thermiques de l'échangeur sont susceptibles de se modifier au cours de l'exploitation. Plusieurs phénomènes peuvent être mis en cause.

L'accroissement au cours du temps de la surface d'échange thermique semble avoir été observé de manière systématique au cours des essais réalisés à ce jour. On a tenté de l'expliquer par la propagation de la fracturation sous l'effet de l'instabilité hydromécanique évoquée précédemment, ou encore par l'apparition d'une fracturation thermique.

Un autre phénomène perturbateur pourrait être la création de cheminements préférentiels de l'eau réduisant l'aire efficace sous l'effet de l'érosion mécanique dans le réseau de fractures ou encore de dissolutions et précipitations d'origine géochimique. Ce phénomène soupçonné n'a cependant pas été observé à ce jour.

La mise au point de méthodes permettant de suivre les caractéristiques de l'échangeur au cours du temps constitue un aspect important de la recherche en cours.

Les différents programmes de recherche

Les essais les plus concluants ont été réalisés aux Etats-Unis, à Los Alamos (New Mexico), sur des forages de 3 000 m présentant une température de fond de l'ordre de 200 °C.

Des essais en vraie grandeur ont également été menés au Royaume Uni (Cornouailles) par la Camborne School of Mines avec la participation de la Commission des Communautés Européennes, où deux forages de 2 000 m ont atteint la température de 75 °C.

Des expériences ont aussi été réalisées en RFA sur le forage d'Urach (3 330 m, 137 °C) et à faible profondeur (200 m) à Falkenberg près de la frontière tchèque. En France, des campagnes d'essais à 200 m de profondeur ont été coordonnées par l'INAG entre 1978 et 1982 sur le site du Mayet de Montagne, à 25 km au sud-est de Vichy.

Figure 2. — Évolution de l'impédance hydraulique au cours des essais de Los Alamos (d'après réf. 4).

Figure 3. — Modèles interprétatifs de la fracturation à Los Alamos (d'après réf. 4).

1. Les essais de Los Alamos 1973-1984.

Le principe de ces essais consistait à réaliser à partir d'un premier forage une fracture hydraulique par injection de fluide sous pression à une profondeur donnée, et à caractériser la géométrie obtenue par étude de l'activité sismo-acoustique. Un second forage devait alors permettre d'établir la liaison hydraulique par recouplement de la fracture.

La roche au fond était du granite recouvert par 720 m de terrains sédimentaires. Le flux de chaleur local s'élevait à 160 mW/m².

Au cours d'un premier essai de circulation de 75 jours (run segment 2), l'impédance hydraulique s'est abaissée de 1,7 à 0,35 GPa·m⁻³.s, décroissance attribuée à l'effet du refroidissement de la roche. Les pertes de fluide se sont stabilisées à moins de 1 % du débit injecté, la production de chaleur étant en moyenne de 3 MW thermique pour une température de réinjection de 25 °C. Toutefois, la rapide décroissance de la température de production de

175 à 85 °C suggère une aire efficace de l'échangeur de 8 000 m² évaluée sur l'hypothèse d'un transfert purement conductif dans la roche et convectif dans la fracture.

D'autres essais de fracturation ont été entrepris en 1979 pour obtenir une plus grande surface d'échange thermique. Un total de 1500 m³ a été injecté à une profondeur de 2930 m avec des débits de l'ordre de 40 l/s, et des pressions d'injection au fond de 20 MPa. Une fracture s'est propagée vers le haut jusqu'à 2 600 m conduisant à une distance entre point d'injection et point de pompage d'environ 300 m. Au cours d'un essai de circulation de 23 jours (run segment 4) sur cette nouvelle configuration, une injection sous 9,7 MPa a produit un débit de 6 l/s pour une contrepression de 1,1 MPa et une puissance thermique de 3 MW. L'impédance hydraulique, d'ailleurs concentrée sur la jonction avec le puits de production, s'est élevée à 1,6 GPa·m⁻³.s pour un taux de perte de 1,3 l/s à la fin des essais.

En 1980, un nouvel essai de 286 jours a été réalisé dans le but a) de terminer l'aire efficace de l'échangeur, b) de mesurer précisément l'impédance hydraulique, le taux de fuite, le mélange avec les eaux en place, c) de tester un générateur d'électricité à cycle binaire eau-fréon de 60 kW.

La température est passée progressivement de 158 °C à 149 °C pour des débits moyens d'injection et de production respectivement de 6,3 l/s et 5,8 l/s, soit un taux de perte d'environ 10 %. La géométrie de la portion efficace de l'échangeur a été établie à partir de traçages chimiques, de mesures de débit à l'intérieur des forages et de diagraphies thermiques. Deux modèles thermiques interprétatifs ont été élaborés (cf. fig. 3). Le premier fait intervenir une fissure unique raccordée au forage de production par plusieurs fissures naturelles. Le second suppose trois fractures parallèles. Ces deux modèles conduisent respectivement à une aire efficace de 45 000 et 50 000 m², ce qui est bien inférieur à ce que suggérait la cartographie de l'activité sismo-acoustique.

Les traçages chimiques ont mis en évidence une augmentation du volume du réservoir de 120 à 180 m³ en fin de circulation attribuée à l'effet des contraintes thermiques. Cette extension est corroborée par l'intense activité sismo-acoustique observée.

L'impédance hydraulique s'est stabilisée aux environs de 1,6 GPa·m⁻³.s après différents essais de circulation sous forte pression effectués au préalable.

Depuis 1981, le programme s'est orientée vers la réalisation d'un pilote industriel devant comporter une dizaines de fractures. Deux nouveaux forages ont atteint 325 °C à 4 400 m de profondeur. Cette température élevée pose des problèmes technologiques qui restent non résolus et qui n'ont pas permis de réaliser le projet à ce jour.

2. Les essais de Cornouailles.

Bien que partant de la même motivation que les expériences américaines, le principe de réalisation de l'échangeur est ici très différent. Il s'agissait de stimuler la fracturation naturelle d'un massif granitique. Dans ce but, des explosifs ont été utilisés pour assurer une faible impédance au niveau des forages. Par la suite, des essais d'injection sous diverses contrepressions ont permis de stimuler le réservoir. L'avantage escompté de cette méthode était d'obtenir de grandes surfaces d'échanges thermiques sans nécessiter

l'utilisation d'obturateurs de fond pour isoler des zones d'injection, point sur lequel bute actuellement le programme de Los Alamos, étant donné la température élevée. En effet, en Cornouailles, les forages sont tubés et cimentés jusqu'au réservoir, et les essais sont réalisés en mettant la totalité du forage sous pression.

La géométrie du réservoir a été évaluée à partir d'enregistrements sismo-acoustiques, de traçages chimiques, de diagraphies thermiques et de tests d'écoulement.

Plusieurs essais de circulation ont été tentés (cf. *tableau ci-dessous*), la plus longue durée en conditions stationnaires étant d'une trentaine de jours. Il s'est avéré que si les explosifs ont effectivement amélioré localement l'impédance hydraulique du puits de production, leur emploi a été inutile et même préjudiciable pour le puits d'injection suite à l'obstruction partielle du forage qui a interdit toute descente d'outils après le traitement.

Le problème principal rencontré en Cornouailles vient du fait que pour les forts débits d'injection, le taux de perte devient prohibitif (jusqu'à 75 % du volume injecté). Ces pertes semblent devoir être attribuées à une extension du réservoir vers le bas et non vers le haut comme le laissait penser la théorie de la fracturation hydraulique. Cette extension vers le bas, mise en évidence par les émissions sismo-acoustiques, serait liée à un phénomène de dilatance des fractures lors de leur rejeu en cisaillement induit par la pression d'eau. Il convient cependant de remarquer que l'activité sismo-acoustique n'est que l'effet d'une augmentation locale de pression d'eau et non le témoin d'un fort débit. La compréhension de la géométrie du réservoir efficace doit donc encore être précisée. Toutefois, les essais de traçages chimiques et thermiques suggèrent des aires efficaces de quelques millions de m².

3. Les autres campagnes d'essais

Un forage déjà existant de 3 330 m de profondeur atteignant une température de l'ordre de 140 °C, implanté à Urach en RFA, a été mis à profit pour tester la possibilité d'exploiter la fissuration naturelle d'un massif profond pour réaliser un échangeur. Il s'agissait d'injecter de l'eau dans une première fissure recoupant une deuxième frac-

Figure 4. — Principe de l'échangeur thermique réalisé à Drach (d'après réf. 7).

ture de pendage différent, qui soit également connectée au forage à un niveau plus élevé que le point d'injection (cf. *fig. 4*) :

S'il a bien été possible d'obtenir une liaison hydraulique, l'efficacité thermique de la méthode s'est révélée décevante essentiellement à cause de la très faible superficie de l'échangeur produit.

Des essais menés tant dans le granite de Falkenberg en RFA (BGR) que dans celui du Mayet de Montagne (INAG, CCE, ENERGEROC), ont permis de connecter des forages d'environ 200 m de profondeur par des fractures stimulées hydrauliquement. Dans le cas de Falkenberg, la distance était de 15 m et l'aire efficace développée de quelques centaines de m².

Caractéristiques des essais de circulation en Cornouailles (d'après réf. 3)

Test no	Period	Duration (hrs)	Injection conditions		Production conditions		System impedance (MPa/l/s)	Net loss (l/s)
			Pressure (MPa)	Flow rate (l/s)	Pressure (MPa)	Flow rate (l/s)		
RT 2051	19 Nov 82-20 Nov 82	26	9.7	13.7	4.0	4.4	1.3	9.3
RT 2051	23 Nov 82-24 Nov 82	28	10.1	17.1	2.0	6.0	1.4	11.1
RT 2051	24 Nov 82-25 Nov 82	22	9.9	14.1	1.7	6.0	1.4	8.1
RT 2051	25 Nov 82-26 Nov 82	32	9.6	13.3	1.3	6.0	1.4	7.3
RT 2051	27 Nov 82-29 Nov 82	48	7.5	5.9	0.2	4.7	1.6	1.2
RT 2052	02 Dec 82-15 Dec 82	308	12.1	32.0	0.2	8.3	1.4	23.7
RT 2052	16 Dec 82-24 Dec 82	188	11.6	25.0	0.2	7.5	1.5	17.5
RT 2052	28 Dec 82-10 Jan 83	312	10.9	20.0	0.2	6.3	1.7	13.7
RT 2052	14 Jan 83-26 Jan 83	286	10.5	17.5	0.2	5.8	1.8	11.7
RT 2053	24 Feb 83-01 Mar 83	132	10.7	17.3	3.4	3.8	1.9	13.5
RT 2059	01 Apr 83-28 Apr 83	663	5.0	5.1	0.2	3.0	1.6	2.1
RT 2064*	07 Jun 83-13 Jun 83	132	10.1	17.4	3.9	5.0	1.2	12.4
RT 2064*	18 Jun 83-24 Jun 83	130	10.0	17.4	1.2	8.1	1.1	9.3
RT 2064*	30 Jun 83-17 Jul 83	416	9.1	12.6	0.4	6.2	1.4	6.4

* Reverse circulation

Au Mayet de Montagne, cette distance atteignait 30 m. Deux essais de circulation de longue durée y ont été réalisés. Un test de 56 jours avec un débit de $3,5 \text{ m}^3/\text{h}$ pour un taux de récupération de 60 % et une impédance de $1 \text{ MPa m}^{-3} \cdot \text{h}$ a conduit à une surface efficace de l'ordre de 5000 m^2 . Un second essai de 45 jours au débit de $5 \text{ m}^3/\text{h}$ a fourni un taux de récupération de 97 % pour une impédance hydraulique de $0,7 \text{ MPa m}^{-3} \cdot \text{h}$.

La recherche actuelle

Des différentes expériences réalisées à ce jour semblent se dégager les remarques suivantes : les échangeurs à fractures individualisées conduisent à une impédance hydraulique et un taux de perte de fluide acceptables. La surface d'échange thermique reste cependant limitée. Les systèmes basés sur la pressurisation globale du massif rocheux offrent, quant à eux, des aires efficaces excellentes, mais les pertes sont très importantes et l'impédance hydraulique est peu affectée par l'effet d'une contrepression.

Partant de l'expérience acquise, les lignes de recherche en vue de maîtriser la réalisation des échangeurs profonds peuvent comporter plusieurs voies :

- tenter de multiplier les fractures indépendantes (projet actuel du LANL);
- chercher à améliorer les conditions de drainage d'un massif fissuré pressurisé (un troisième forage doit être réalisé sur le site de la Camborne School of Mines);
- utiliser la fracturation naturelle du massif, mais améliorer le drainage par stimulation hydraulique de quelques plans de discontinuité préexistants choisis parmi ceux qui présentent une orientation judicieuse.

Cette dernière voie de recherche fait actuellement l'objet d'un projet soutenu par le programme « Géothermie Profonde Généralisée » (GPG) de l'AFME.

Bibliographie

- [1] VASSEUR G., 1982 — Synthèse des résultats du flux géothermique en France. *Annales de Géophysiques*, vol. 38, 1982.
- [2] Los Alamos National Laboratory, 1981 — *Hot Dry Rock Geothermal Energy Development Program, annual report, fiscal year 1980*.
- [3] Camborne School of Mines, Geothermal Energy Project 1984 — *Geothermal Exploitation Research Information Circular. Hot Dry Rock well stimulation at a depth of 2 000 m in granite. Summary of activities, february 1983-april 1984*.
- [4] *First Japan-United States joint seminar on Hydraulic Fracturing and Geothermal Energy*, Tokyo, novembre 1982.
- [5] DESPOIS J., 1984 — *Rapport sur l'éventualité d'une exploitation de l'énergie géothermique profonde en France*. CEA, AFME.
- [6] CORNET et al., 1984 — *Expérimentation à faible profondeur sur une méthode d'exploitation de la chaleur des roches profondes peu perméables*. Rapport final contrat CCE, n° EGD-1-002-F.
- [7] Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung — *Tätigkeitsbericht 1979/80*.

Discussion

Président : M. J. VARET

LE PRÉSIDENT clôt la séance en remerciant les participants, et en se félicitant de la richesse des débats, qui n'ont pas toujours été exclusivement techniques; le sujet méritait d'être abordé dans toutes ses dimensions, et les difficultés rencontrées aujourd'hui dans le développement de la géothermie en France ne pouvaient être passées sous silence.