

Diagraphies géophysiques dans le forage d'Échassières

A. Straub *

Mots-clés : Diagraphie électrique, Diagraphie gamma-ray, Diagraphie neutron, Diagraphie sonique, Diagraphie densité, Diagraphie magnétique, Susceptibilité magnétique, Porosité, Granite, Micaschiste, Diagraphie température, Allier (Échassières).

Résumé

Cette étude rend compte des diagraphies exécutées sur le forage d'Échassières GPF 1 (Allier), par le département Géophysique du BRGM, du traitement et de l'interprétation de ces diagraphies, en liaison avec les données géologiques provenant de l'examen des carottes.

Les données enregistrées sur la totalité du forage détué sont les suivantes : résistivité (résistivité 16" et 64", monoélectrode), polarisation spontanée, conductivité, susceptibilité, radioactivité naturelle, densité gamma, porosité neutron, résistivité du fluide, température et diamètre.

Certains de ces paramètres sont sensibles à la nature lithologique de la formation : c'est le cas de la densité gamma, de la susceptibilité et de la radioactivité gamma pro parte.

Certains autres paramètres sont au contraire surtout sensibles à l'état de la roche, à son degré d'altération et aux phénomènes associés : c'est le cas de la résistivité, de la porosité neutron, de la radioactivité.

L'ensemble des résultats est fourni à l'échelle de 1/1 000 dans le document d'annexes (Document BRGM n° 124).

Abstract

Geophysical logging in Echassières borehole

The Echassières GPF project involving a borehole of 900 meters gave the opportunity for a comprehensive logging study. The interpretation of the log data is presented here in relation with the geological observations of the cores.

The following parameters were measured on the whole uncased borehole : resistivity (resistivity 16", 64" and point resistance), spontaneous potential, conductivity, susceptibility, gamma-ray, gamma-gamma density, neutron porosity, mud resistivity, temperature and borehole diameter.

Some of these parameters are relevant to lithologic features : gamma-gamma density, susceptibility and radioactivity pro parte.

Several other parameters are mainly influenced by the alteration characteristics of the formation : resistivity, neutron porosity and radioactivity.

The whole set of these data is presented in the technical data report at a 1/1 000 scale (Document BRGM n° 124).

Introduction

Le programme Géologie Profonde de la France GPF 2 se fixait notamment pour but l'étude détaillée du site d'Échassières (thème 8). L'objectif de ce thème est de caractériser, à l'aide de sondages profonds, l'évolution pétrologique, métallogénique et structurale du massif granitique d'Échassières. Les spécifications techniques, visant à réaliser cet objectif, ont été définies en décembre 1984 dans « Rapport d'implantation du forage » (M. Cuney, 1984). Le département Géophysique du BRGM a été désigné à côté de deux autres intervenants (COGEMA et SEMM), pour l'exécution d'un programme de diagraphies. Ces dernières devaient intervenir à la fin de la

foration, réalisée par carottage jusqu'à la profondeur de 900 mètres.

Les diagraphies ont été réalisées à l'aide des équipements de surface Mount Sopris et Akidia montés sur véhicule tout-terrain en avril 1985.

Ces diagraphies ont été exécutées après retrait du train de tiges et des tubages HQ et HW et après mise en circulation. Grâce à la bonne qualité du trou, aucune obstruction n'est survenue et la totalité du forage a pu être à chaque fois diagraphiée. Les diagraphies brutes ont été ensuite traitées, afin de compenser les effets de diamètre de trou, de température, de résistivité de fluide et de déterminer ainsi des paramètres pétrophysiques caractéristiques de la seule formation.

* Département géophysique, BRGM, BP 6009, 45060 Orléans Cedex 2.

La grande profondeur du forage a été à l'origine de difficultés de calage en profondeur des diagraphies. Leur corrélation avec le log pétrographique révèle une déformation irrégulière de l'échelle des profondeurs. Cette déformation de l'échelle a été compensée de manière à ajuster au mieux les diagraphies aux repères géologiques identifiés et situés très précisément en profondeur grâce au carottage continu réalisé avec 100 % de récupération.

1. — Analyse des paramètres mesurés

a) Polarisation spontanée

Le comportement d'ensemble est dominé par une dérive qui s'accroît vers la surface. Cette dérive peut être due :

- à la polarisation progressive de l'électrode de surface,
- à un phénomène d'électrofiltration pour la dérive proche de la surface.

On peut classer les anomalies P.S. en trois catégories :

- anomalies d'origine électrochimique dans le granite de Beauvoir entre 100 et 450 m. Ces anomalies sont parfaitement corrélées avec la résistivité. Les anomalies positives, coïncidant avec les zones conductrices, correspondent aux diaclases argileuses et aux zones argilisées. Au-dessous de 450 m, l'amplitude des anomalies est nettement plus faible et leur corrélation avec la résistivité mauvaise ;
- anomalies d'origine électrocinétique vers 725 et 734 m au niveau de zones faillées et bréchifiées (venues d'eau ?) ;
- plusieurs anomalies très locales semblent liées aux contacts granite-micaschistes aux profondeurs suivantes : 98, 797, 817, 823, 844 et 849 m. Nous en ignorons l'origine.

b) Résistivité

La moyenne de la résistivité (appelée aussi résistivité transverse) a été calculée sur l'ensemble du forage : 5 300 ohm.m. La gamme de variation est très étendue : de 100 à 60 000 ohm.m. Une résistivité supérieure à 2 000 ohm.m indique en général une roche très saine. Les valeurs plus conductrices peuvent être attribuées à divers événements :

- zone de décompression superficielle : celle-ci s'étend jusqu'à 200 m environ. Bien qu'apparemment saine, la roche est plus conductrice du fait d'une microfissuration plus ou moins intense ;
- zone d'altération : la résistivité se révèle très sensible au phénomène d'altération d'où les larges anomalies conductrices situées :
 - entre 405 et 506 m,
 - entre 706 et 740 m,
 - de nombreuses anomalies plus limitées en épaisseur et en amplitude, notamment vers 560, 610, 640 et 780 m ;
- la fracturation est très rare et la réponse électrique qu'elle induit est très faible (quelques rares diaclases argileuses et zones à greisen). Cette constatation suggère que la perméabilité reste très faible, même dans les zones fracturées.

Il n'y a pas de relation directe, ni univoque entre les types pétrographiques de lithologie et les résistivités. En particulier, il est impossible de différencier le granite de Beauvoir des micaschistes. On peut toutefois faire les observations suivantes :

- le granite sain semble se dissocier en deux classes :
 - au-dessus de 450 m, un granite ne dépassant jamais 7 000 ohm.m,
 - au-dessous de 450 m, un granite pouvant atteindre 45 000 ohm.m
- une différenciation variable entre granite et micaschistes du fond :
 - entre 790 et 830 m : les micaschistes sont plus résistants que le granite,
 - entre 830 et 880 m : les micaschistes sont plus conducteurs que le granite.

Cette différenciation doit sans doute être attribuée beaucoup plus à l'état de la roche qu'à sa nature pétrographique.

La diagraphie monoélectrode est une mesure de la résistance de prise d'une électrode déplacée dans le forage. Son information, quant à la résistivité de la formation, est donc purement qualitative. Elle apporte, par rapport aux diagraphies normales de résistivité, une meilleure définition verticale des horizons traversés.

c) Conductivité

La conductivité est mesurée par induction électromagnétique avec la sonde Romulus. Dans le contexte présent, elle apporte moins d'information que la diagraphie de résistivité. En effet, son intérêt réside surtout dans la mesure de très faibles résistivités. Par contre, aux fortes résistivités, ici pour une résistivité supérieure à 1 000 ohm.m, la sensibilité de l'outil devient nulle. Les niveaux les plus conducteurs vers 440 m et 720 m (zones altérées) sont bien visibles.

d) Susceptibilité

La susceptibilité magnétique est mesurée par induction électromagnétique avec la sonde Romulus. Dans le contexte présent, ce paramètre est très précieux car il permet de discriminer parfaitement le granite des micaschistes. La susceptibilité Romulus du granite est trop faible pour engendrer un signal mesurable. En effet, les mesures faites à l'IRIGM de Grenoble indiquent une valeur maximale de l'ordre de 20.10^{-6} SI. La susceptibilité Romulus des micaschistes est en moyenne de $0,5.10^{-3}$ SI. Des mesures de susceptibilité ont été effectuées sur quelques échantillons de granite et de micaschistes, à l'aide d'un susceptibilitémètre au C.R.G. de Garchy. Ces mesures sont reportées sur le tableau I. L'accord avec les données de diagraphies est excellent. On trouvera une analyse détaillée des variations de ce paramètre dans les carottes du granite dans l'article de Bouchez et al. (ce volume).

En dehors des micaschistes de couverture et du fond, il existe des anomalies magnétiques dues à des hétérogénéités de géométrie non stratifiée, d'où l'existence de pics négatifs. Certaines hétérogénéités magnétiques, très proches de la paroi du forage, pourraient correspondre à des enclaves centimétriques de micaschistes à l'intérieur du granite, comme elles ont pu être observées tout au long des carottes. D'autres

hétérogénéités magnétiques existent en association avec l'altération (vers 430 et 460 m) et seraient liées à un enrichissement en oxydes de fer, en particulier en magnétite.

e) Radioactivité naturelle

La diagraphie gamma-ray mesure la radioactivité gamma de la formation, qui est liée directement à la présence des éléments potassium, uranium et thorium. Dans les roches cristallines, la teneur de ces éléments est commandée par divers facteurs :

- richesse en feldspaths potassiques et en micas (élément K),
- richesse en minéraux d'Uranium et de Thorium,
- phénomènes d'altération : excès ou déficit de K, U, Th.

La donnée du comptage global ne permet pas évidemment une interprétation fine de ces facteurs. On trouvera par ailleurs dans l'étude réalisée au CREGU par Cuney et Brouand (ce volume) sur la répartition de U et Th dans ce forage, une tentative d'interprétation de ce log.

Des essais de mesure à vitesse de remontée de la sonde plus lente et pas d'acquisition des mesures plus serré que pour la diagraphie standard, n'a pas amélioré la définition des anomalies observées.

1) Comportement d'ensemble

La différenciation entre granite et micaschistes de couverture est inobservable. Tout au plus peut-on constater une « activité de courbe » ou variabilité plus grande dans les micaschistes, où la radioactivité apparaît plus hétérogène que pour le granite sous-jacent. Dans le granite de Beauvoir, la radioactivité s'établit autour d'une moyenne relativement stable entre 100 et 500 m et une moyenne légèrement supérieure entre 500 et 700 m. Cette variation de la moyenne peut être attribuée à l'enrichissement en uranium, observé sur carottes. Au fond, la différenciation entre granite et micaschistes est assez nette, les micaschistes apparaissant moins radioactifs que le granite. Il semble possible d'attribuer cette différence préférentiellement à l'uranium, car bien que plus riches en thorium et potassium ils sont beaucoup plus pauvres en uranium.

2) Événements locaux

En dehors de quelques anomalies, invisibles au compteur gamma sur carottes, mais pouvant avoir leur source dans le volume rocheux autour du forage, on peut distinguer trois types d'événements locaux :

- existence de niveaux fins très radioactifs, qui relèvent de minéralisations d'uranium (Cuney et Brouand, ce volume) et qui apparaissent au voisinage de contacts granite-micaschistes et de veines : à 97,75 m, 819, 25 m, 834,8 m et 872,4 m ;

- existence de zones d'altération se manifestant par un déficit de radioactivité, principalement de 453 m à 481 m et de 710 m à 740 m. Ce déficit peut s'expliquer par la kaolinisation, des feldspaths (lessivage du Potassium et de l'Uranium) et par la silicification ;

- existence de passages de microgranite se distinguant par un accroissement de radioactivité vers 705 m et 860 m. L'analyse chimique y révèle un enrichissement sensible en potassium et thorium, mais surtout en uranium.

f) Densité

La diagraphie de densité gamma a un pouvoir discriminatoire qui ressemble beaucoup à celui de la susceptibilité. La distinction entre granite et micaschistes apparaît clairement, comme le confirme l'histogramme de la figure 1. Ce dernier a une allure bimodale :

- densité moyenne du granite : 2,65,
- densité moyenne des micaschistes : 2,79.

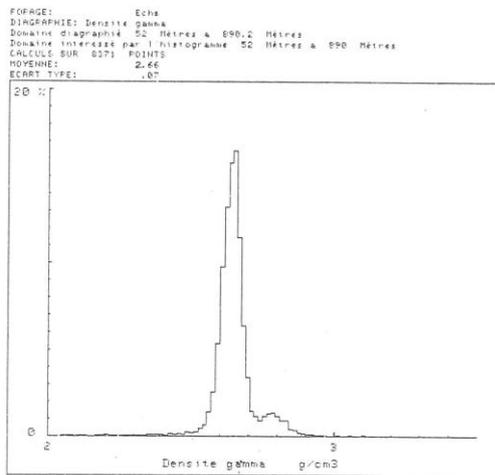


Fig. 1. — Histogramme de la densité gamma. Gamma-gamma density histogram.

Il peut être intéressant de comparer à certaines profondeurs la densité gamma et la densité mesurée sur les six échantillons retenus. La comparaison des deux densités est visible sur le tableau 1. L'accord est excellent. L'effet de décompression des échantillons est négligeable. En effet, le module de compressibilité (ou bulk modulus) du granite varie entre 10^5 et 10^6 bars. Ceci conduit à une variation relative de densité de 10^{-3} et 10^{-4} pour une variation de pression de 100 bars.

Tabl. 1 : Comparaison diagraphies-carottes

NATURE	PROFONDEUR	SUSCEPTIBILITE SI carottes	SUSCEPTIBILITE SI Romulus	DENSITE	DENSITE GAMMA-GAMMA
Micaschistes	79,5	$0,66 \cdot 10^{-3}$	$0,65 \cdot 10^{-3}$	2,80	2,80
Granite	545	$\sim 10^{-6}$	-	2,68	2,66
Granite	590	$\sim 10^{-6}$	-	2,66	2,65
Granite	650	$\sim 20 \cdot 10^{-6}$	-	2,67	2,65
Micaschistes	795,20	$0,56 \cdot 10^{-3}$	$0,52 \cdot 10^{-3}$	2,82	2,82
Micaschistes	810,50	$0,50 \cdot 10^{-3}$	$0,52 \cdot 10^{-3}$	2,83	2,82

Une autre caractéristique majeure de cette diagraphie est la présence d'anomalies légères liées à l'altération et à la fracturation du granite. Ces anomalies coïncident évidemment avec les zones les plus conductrices repérées en résistivité et en conductivité, du fait d'une porosité intergranulaire plus importante et de l'importance volumique des minéraux argileux.

Une analyse détaillée conduit à quelques observations plus fines :

a) Le sommet des micaschistes de couverture est affecté par la déconsolidation superficielle (décroissance de densité) tandis que leur contact avec le granite vers 100 m se traduit par une transition progressive de la densité. Les contacts granite-micaschistes du fond sont au contraire parfaitement localisés.

b) On peut observer une dérive de la densité du granite qui se subdivise de la manière suivante :

— entre 0 et 450 m la densité est croissante avec la profondeur,

— entre 450 et 900 m la densité est décroissante avec la profondeur.

Cette double dérive peut résulter de la combinaison de deux facteurs :

— une déconsolidation et une porosité plus importante en s'approchant de la surface,

— un appauvrissement en lépidolite (mica plus dense que le feldspath potassique) avec la profondeur et cela pour une teneur en potassium qui augmente très peu avec la profondeur.

Il faut cependant souligner que ces dérives sont très faibles en comparaison de la différence de densité observée entre granite et micaschistes.

c) On peut enfin reconnaître quelques anomalies lourdes liées à des minéralisations en wolframite (vers 820 et 879 m par exemple) et à un enduit de galène millimétrique à 150 m.

g) Porosité neutron

La porosité neutron est appelée ainsi car elle peut se distinguer considérablement de la porosité vraie (ou teneur volumique en eau) de la formation. Elle englobe en effet la contribution de la totalité de l'hydrogène (et accessoirement d'autres éléments légers) présent sous forme d'eau libre, mais aussi d'eau liée, d'eau de constitution, d'ions OH et éventuellement de composés organiques (hydrocarbures). Ainsi les micas et les minéraux argileux induisent par eux-mêmes une certaine porosité neutron. La figure 2 indique la porosité neutron et la densité des minéraux les plus courants. Ces éléments doivent être rappelés avant toute interprétation.

À Échassières, les valeurs minimales de porosité neutron sont atteintes dans le granite sain et se situent entre 1,5 et 4 %. Ces valeurs sont tout à fait en accord avec la porosité attendue et avec la « perte au feu » mesurée sur quelques échantillons. Le décrochement visible à 600 m provient d'une surcorrection au changement de diamètre du forage.

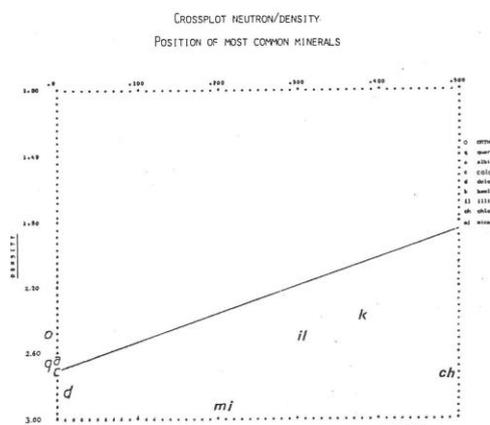


Fig. 2. — Densité et porosité neutron des minéraux les plus courants. Density and neutron porosity of usual minerals.

La porosité neutron peut devenir nettement plus importante, sous l'effet de divers facteurs qui se classent en trois catégories :

— zone de décompression et de microfissuration superficielle : celle-ci s'étend approximativement jusqu'à 200 m et affecte indistinctement les micaschistes et le granite. Le contact entre eux n'est pas visible ;

— zone d'altération : entre 405 et 506 m et entre 706 et 780 m. L'augmentation de la porosité neutron y est due autant à un accroissement de porosité qu'à la présence d'argiles et de micas d'altération ;

— panneaux de micaschistes du fond : la porosité neutron des micaschistes, sensiblement identique à celle des micaschistes de surface, est nettement supérieure à celle du granite. Cette différenciation semble devoir être attribuée à la porosité vraie des micaschistes. En effet, l'analyse chimique des échantillons montre que la « perte au feu » (représentant l'eau liée), est de l'ordre de 1 % dans le granite et de 2-3 % dans les micaschistes et ne peut expliquer à elle seule l'écart observé en porosité neutron.

h) Diagraphie sonique (SEMM*)

Une diagraphie sonique a été réalisée sur l'ensemble du forage, avec enregistrement des trains d'onde des deux récepteurs. Des exemples de trains d'onde sont présentés sur la figure 3. Les vitesses les plus élevées, correspondant aux horizons sains, augmentent avec la profondeur. Ainsi, nous indiquons dans le tableau suivant les vitesses P et S ainsi que les paramètres élastiques (module d'Young et coefficient de Poisson) à trois profondeurs, caractéristiques de larges formations saines.

Profondeur	Vitesse P	Vitesse S	Module d'Young	Coefficient de Poisson
210 m	5 300 m/s	3 250 m/s	68 GPa	0,2
320 m	5 500 m/s	3 400 m/s	75 GPa	0,2
550 m	5 800 m/s	3 600 m/s	83 GPa	0,19

Ces valeurs sont typiques de roches cristallines ou métamorphiques peu fissurées ou altérées. Il n'apparaît pas de différence entre le granite et les micaschistes. Par contre, on

* Sociétés d'études de mesures et de maintenance

Exemples de traces acoustiques après ajustement de gain (fenêtre de 4ms).

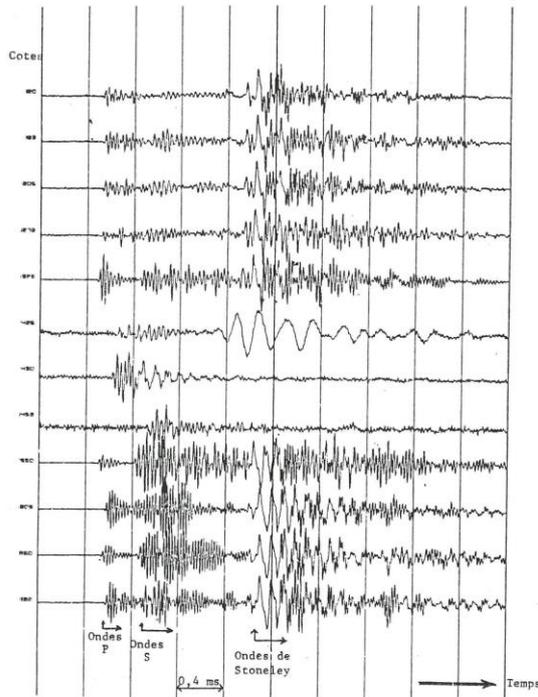


Fig. 3. — Exemples de trains d'onde acoustiques.
Sonic Waveform examples.

peut reconnaître un effet d'anisotropie dans les micaschistes, la vitesse P étant de 5 800 m/s lorsque la foliation est verticale et de 5 300 m/s lorsque la foliation est horizontale (panneau de micaschistes de 882 m jusqu'au fond).

Les zones altérées se manifestent entre 420 et 460 m et entre 705 et 740 m par une atténuation des diverses ondes, avec une disparition des ondes S et en certains endroits des ondes de Stoneley (vers 430 et 453 m). L'énergie transmise dans ces zones est très faible (voir fig. 4).

i) Résistivité du fluide

Pour des raisons dues à la conception de l'outil Terese, la réponse est légèrement perturbée par la présence de passages très conducteurs. Le signal interprétable s'identifie par conséquent à l'enveloppe supérieure du signal mesuré. Il est marqué par des variations de grande étendue et d'amplitude anormalement élevée, la résistivité passant de 40 à 120 ohm.m.

L'augmentation en surface, entre 0 et 160 m, pourrait s'expliquer par une circulation d'eau de surface grâce à une perméabilité superficielle suffisante. Dans une zone médiane, entre 200 et 700 m, existe une dépression de la résistivité, donc un enrichissement ionique de l'eau. L'argilisation étant fréquente dans cette zone, on peut suggérer l'hypothèse d'une mise en solution et d'une diffusion d'ions adsorbés par les minéraux argileux.

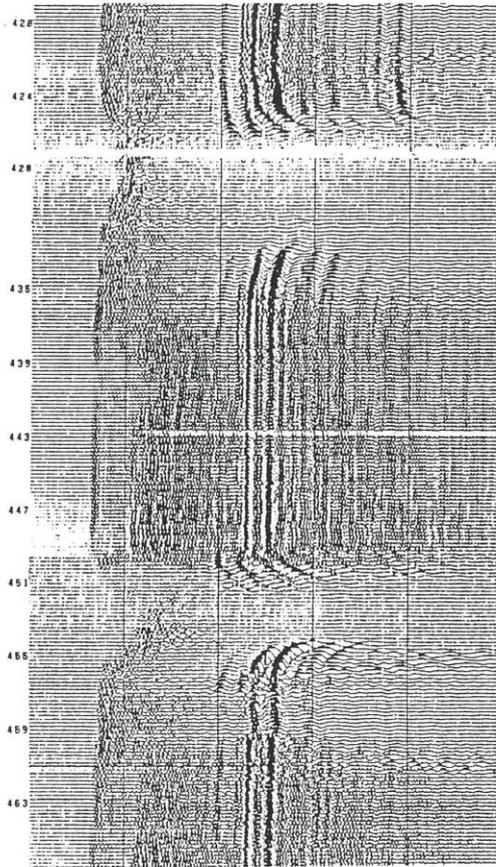


Fig. 4. — Log des trains d'onde dans une zone altérée.
Sonic waveform log in an altered zone.

j) Température absolue et différentielle

Le gradient thermique moyen est de 47 °C/km. La diagraphe indique nettement une montée régulière, linéaire du gradient thermique avec la profondeur. La valeur en surface est de 43 °C/km et atteint au fond 51 °C/km. Une deuxième diagraphe thermique a été réalisée par R. Gable de l'IMRG⁽¹⁾ après trois mois de repos du puits. Elle confirme l'augmentation du gradient en dessous de 500 m. La température maximale à 886 m atteint 56 °C. Royer et Danis (ce volume) proposent une interprétation de ces mesures.

Les anomalies locales les plus importantes en température différentielle sont des anomalies négatives, pouvant correspondre à des venues de fluide à 730 m. Par ailleurs, quelques anomalies positives seraient causées par une conductibilité localement plus faible, telle celle qui à 455 m est liée à la présence d'une zone kaolinisée.

(1) décrite et commentée dans Document BRGM n°100, p. 280-292 et dans Document BRGM n°124. IMRG = Institut mixte de recherches en géothermie (BRGM-AFME).

2. – Rappel synthétique

Une présentation synthétique des résultats est fournie par la figure 5.

— une différenciation à l'intérieur du granite lui-même peut être décelée. Celle-ci se manifeste en radioactivité et en résistivité : une augmentation progressive de la radioactivité avec la profondeur d'une part, une différence de résistivité entre granite inférieur (plus résistant) et granite supérieur (moins résistant) d'autre part.

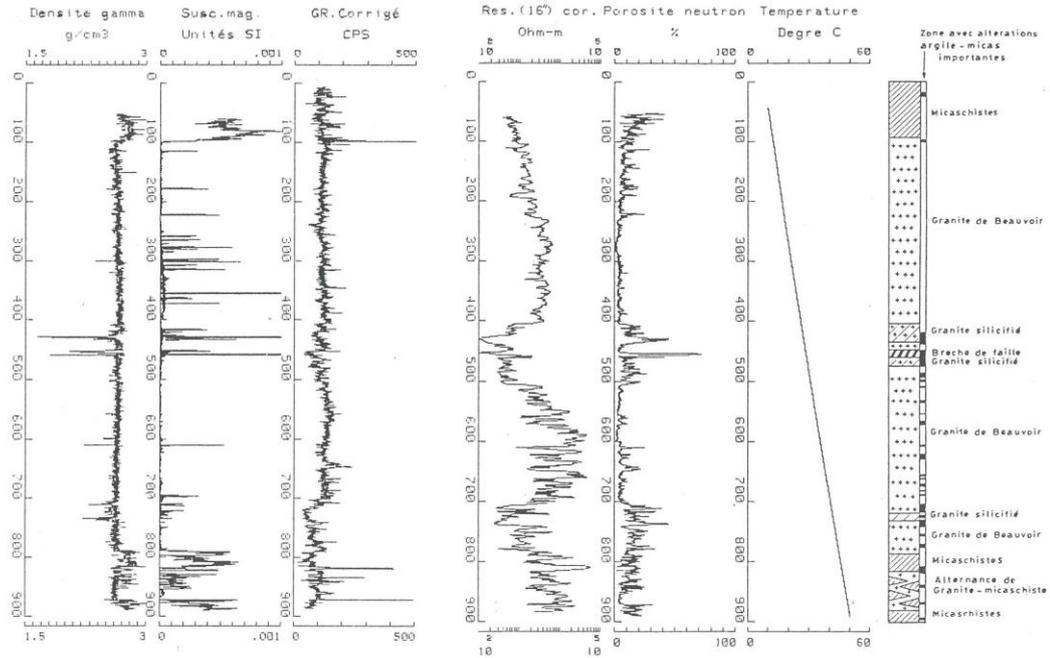


Fig. 5. – Présentation synthétique des diagraphies d'Échassières GPF 8. Composite log for Échassières GPF 8 well.

a) Grandes unités pétrologiques

Le tableau 2 récapitule les caractéristiques diagraphiques moyennes observées pour chacune des grandes formations traversées. On peut examiner trois types de différenciation :

— la différenciation majeure granite-micaschistes s'exprime clairement en densité et en susceptibilité magnétique. Ce sont les seuls paramètres physiques à présenter un contraste incontestable. Le contraste magnétique provient de la présence d'oxydes de fer dans les micaschistes ;

— enfin, une différenciation éventuelle entre micaschistes de couverture et micaschistes du fond peut être recherchée. Ces deux formations se révèlent identiques en densité, en susceptibilité et en porosité neutron. La seule différence sensible se manifeste en radioactivité : les micaschistes de couverture sont plus radioactifs que ceux du fond.

b) Événements locaux

Les phénomènes d'altération constituent l'événement local majeur dans le granite de Beauvoir. Ils se traduisent par :

Tabl. 2 : Caractéristiques diagraphiques moyennes

FORMATION	DENSITE	SUSCEPTIBILITE (Unités SI)	GAMMA-RAY (cps)	RESISTIVITE MAXIMALE (ohm.m)	POROSITE NEUTRON (%)
Micaschistes de couverture	2,79	$0,50 \cdot 10^{-3}$	100	900	10-15
Granite 100-450 m	2,65	~ 0	110	7 000	4
Granite 450-790 m	2,65	~ 0	130	45 000	4
Micaschistes du fond	2,79	$0,50 \cdot 10^{-3}$	80	55 000	10-20

– une perte de la cohésion mécanique et un développement de la porosité intergranulaire : d'où une augmentation de la porosité neutron, une baisse de la résistivité et de la densité, une baisse de la vitesse sonique et une forte atténuation de l'énergie transmise ;

– une transformation des minéraux et par conséquent le déplacement de certains éléments : lessivage du potassium (éventuellement de l'uranium) d'où baisse de radioactivité, fixation de magnétite ou d'hydroxydes de fer, d'où des anomalies magnétiques.

En dehors de l'altération, on peut citer la présence de minéralisations sulfurées (dans les micaschistes), de minéraux d'uranium, d'enclaves de micaschistes dans le granite, occurrences qui peuvent être décelées respectivement en P.S. et en densité, en radioactivité et en susceptibilité.

c) Diagrammes croisés (ou crossplots)

Les diagrammes croisés les plus significatifs et les plus discriminants sont représentés sur les figures 6 et 7. Le diagramme densité-susceptibilité permet de bien distinguer les domaines figurant le granite et les micaschistes. Le diagramme résistivité-porosité neutron a une structure moins différenciée.

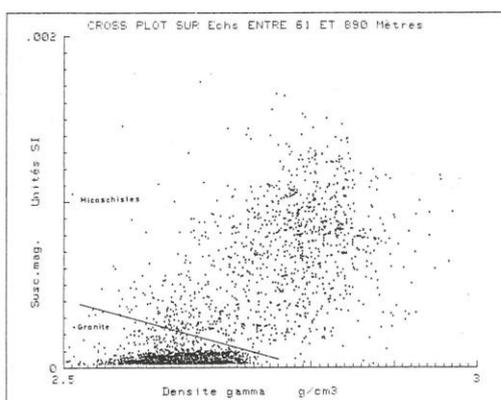


Fig. 6. — Diagramme densité-susceptibilité
Susceptibility-density crossplot.

Conclusion

La campagne de diagraphies réalisées à Échassières, dans le cadre du programme Géologie Profonde de la France, a donné lieu à des enregistrements de bonne qualité.

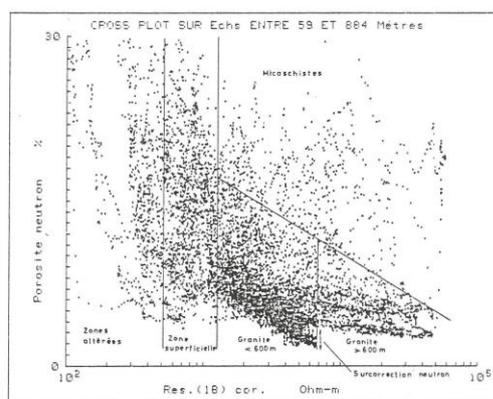


Fig. 7. — Diagramme porosité neutron-résistivité.
Neutron porosity-resistivity crossplot.

Les mesures effectuées ont permis d'établir :

- une bonne différenciation pétrophysique entre le granite de Beauvoir et les micaschistes grâce à la densité et à la susceptibilité ;
- une légère différenciation à l'intérieur du granite lui-même, en résistivité et en radioactivité ;
- une augmentation faible mais significative de la densité du granite entre 200 et 450 m à corrélérer très probablement aux fortes teneurs en lépidolite du granite de type G1 ;
- des critères pour juger d'une différenciation éventuelle entre micaschistes de couverture et micaschistes du fond ;
- l'influence de l'altération sur les paramètres enregistrés, cette altération se manifestant principalement en deux zones assez étendues ;
- la valeur élevée du gradient thermique et son augmentation avec la profondeur ;
- la bonne tenue mécanique du forage.

Référence bibliographique

AUTRAN A., BURNOL L. (1985). — Présentation synthétique des résultats du log lithologique du forage. Document BRGM n°100, p. 22-38.