

Résultats préliminaires des sondages géophysiques pluridirectionnels (Résistivité, polarisation induite, microsismique) dans la région de la Baume (Jura neuchâtelois, Suisse)

Autor(en): **Müller, Imre**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin de la Société Neuchâteloise des Sciences Naturelles**

Band (Jahr): **105 (1982)**

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-89190>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

RÉSULTATS PRÉLIMINAIRES DES SONDAGES
GÉOPHYSIQUES PLURIDIRECTIONNELS
(RÉSISTIVITÉ, POLARISATION INDUITE,
MICROSISMIQUE)
DANS LA RÉGION DE LA BAUME
(JURA NEUCHATELOIS, SUISSE)

par

IMRE MÜLLER

AVEC 7 FIGURES ET 2 TABLEAUX

1. INTRODUCTION

Les recherches hydrogéologiques en pays calcaire prennent de plus en plus d'importance pour faire face à la pénurie grandissante d'eau exploitable. Le Centre d'Hydrogéologie de l'Université de Neuchâtel travaille depuis de nombreuses années sur la détermination des caractéristiques hydrogéologiques des réservoirs calcaires, dans le but de localiser, quantifier et gérer les réserves d'eau et de les protéger contre la pollution.

Le présent travail s'inscrit dans ce cadre. En effet, les connaissances relatives à la structure des réservoirs et à la distribution des champs de perméabilité qui y déterminent les écoulements, sont les conditions indispensables à toute approche quantitative en hydrogéologie. Si la structure géologique est relativement bien établie par la cartographie, l'étude des paramètres de la perméabilité, liée à celle de la fracturation, est plus délicate. Les travaux de KIRALY (1969, 1978) ouvrent ici une nouvelle voie par l'analyse de la fissuration. Les paramètres de la fracturation (orientation, fréquence et ouverture) sont mesurés sur des stations de mesures isolées, puis ils sont estimés indirectement entre les stations à l'aide de fonctions d'interpolations. Les résultats obtenus sont remarquables. Néanmoins, la couverture meuble, souvent très étendue sur les roches calcaires du Jura, et la limitation des observations directes à la surface des affleurements nous ont incité à aborder également l'étude de la fracturation par la géophysique. Les buts visés par la prospection géophysique sont les suivants:

- la localisation précise des zones fracturées et karstifiées sur le terrain, même masquées par les dépôts quaternaires;
- la mise en évidence des drains à grande conductivité hydraulique;
- l'étude du colmatage des fractures en fonction de la profondeur;

— la détermination de l'épaisseur et de la nature lithologique de la couverture meuble, protectrice de l'aquifère calcaire.

L'étude des caractéristiques hydrogéologiques des aquifères karstiques à l'aide de la géophysique connaît un développement remarquable dans de nombreux pays.

Nous avons également abordé l'étude de la fracturation par les méthodes sismiques et électriques (MÜLLER 1979 et 1980) et plus récemment à l'aide de la polarisation induite (I.P.).

La présente note est un compte rendu des résultats des mesures de la résistivité, de la polarisation induite et de la microsismique dans la région de la Baume (coord. 532740/199100; alt. 1171 m, fig. 1). Le choix de

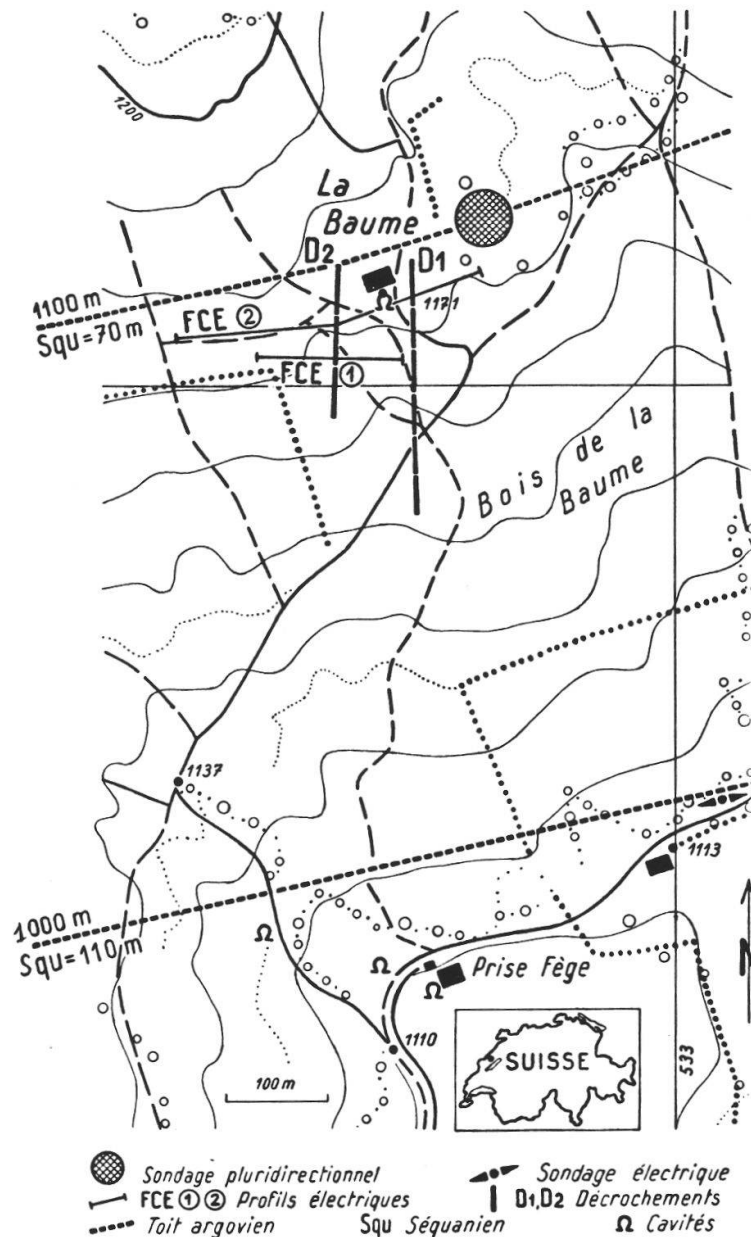


Fig. 1. Carte schématique, topographique et structurale du site expérimental de la Baume et du Prise Fège.

ce site a été déterminé d'une part par la présence d'une cavité karstique (fig. 2A), dans laquelle un miroir de faille indique l'existence d'un décrochement sénestre orienté N-N10°; et d'autre part, par la situation géologique et topographique favorable aux expériences pluridirectionnelles à proximité de cette grotte. Les calcaires compacts du Malm y forment des bancs épais, orientés N50°-N60°, avec un pendage de 10° à 15° vers le SE. D'après la carte hydrogéologique de KIRALY (1973), le toit de l'Argovien (Calcaires marneux et marnes) doit se situer à 1100 m d'altitude (fig. 1), c'est-à-dire à 70 m de profondeur. Comparable à la région de la grotte de «Chez le Brandt» (KIRALY et SIMEONI 1971), la karstification, bien visible dans les forêts où la couverture pédologique est négligeable, se développe sur les fractures de tension I (N130°-N140°) et de cisaillement sénestre (N10°). Ces deux directions sont également à l'origine de la spéléogénèse (fig. 3 et 2A). A l'emplacement du sondage pluridirectionnel, le karst est recouvert par 40 à 50 cm de sol.

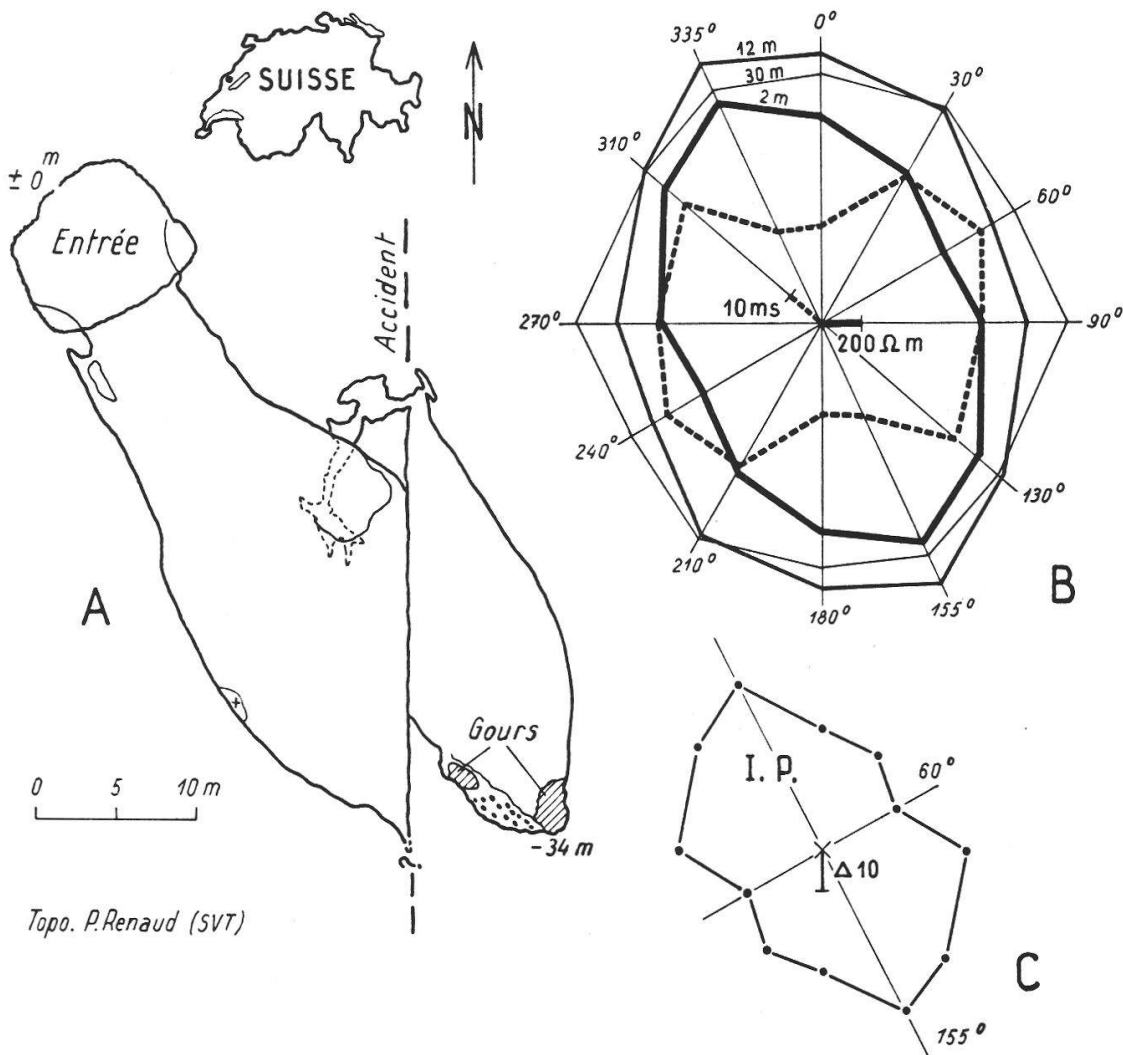


Fig. 2. (A): Plan de la Baume.
 (B): Les ellipses de résistivités apparentes et de la vitesse sismique des sondages pluridirectionnels.
 (C): L'effet de la polarisation induite (I.P.) obtenu par la somme des $\Delta\rho$ (cf. tabl. I).

2. LES APPAREILS UTILISÉS

2.1. Pour les mesures de la résistivité et de la polarisation induite, nous utilisons un appareillage géoélectrique, à courant alternatif de 0,5 et 5 Herz, construit par M. J. Duperrex (Château-d'Oex). Le générateur impose un courant d'une intensité fixe (4 intensités possibles) et électroniquement stabilisé. La fréquence est obtenue par une base de temps à quartz. Le récepteur dont la résolution à l'extrémité de l'échelle est de $0,25\mu\text{V}$, donne la résistance par affichage digital (cristaux liquides 2000 points), c'est-à-dire $\Delta V/i$. Le courant est puissamment filtré. Le système de mesure assure une précision de 0,2% de la résistance. Ce prototype de recherche est secondé sur le terrain par le microordinateur HP 41C, dont le thermoprinter permet la conservation de toutes les données géométriques et électriques ainsi que les résultats des calculs des résistivités apparentes. Des décisions concernant le déroulement de la prospection peuvent donc être prises immédiatement sur le terrain.

2.2. Pour la prospection sismique, nous utilisons le « Portable Facsimile Seismograph » FS-3 de Hunttec (70) Limited, Canada. L'appareil imprime tout le train de signal sismique, de telle manière que la dromochronique est directement déductible. Avec une masse de 5 kg pour source d'énergie, l'appareil a une puissance de pénétration de 30 à 40 m dans le karst en mode de réfraction, et 100 à 120 m en réflexion. La résolution du système est de 1 milli-seconde.

3. MÉTHODES DE PROSPECTION EMPLOYÉES

3.1. Les mesures de la *résistivité apparente* sont grandement facilitées par l'emploi du courant alternatif (AC). En effet, pour les profils géoélectriques, les électrodes d'injection du courant (A et B) peuvent être séparées à grande distance et restent fixes (FCE). Seules les électrodes de potentiel (M et N) sont déplacées et, comme l'indique la figure 3, un rectangle de résistivité peut être ainsi établi rapidement, même par une seule personne.

Parmi les dispositifs de sondages électriques, nous avons testé, sur des sites géologiques bien connus, la méthode cumulative de MOORE (1952) qui a été récemment mise en valeur par CARINGTON et WATSON (1981). Il nous apparaît que ce type de sondage, à ligne d'émission particulièrement courte, est assez bien adapté aux problèmes qui nous préoccupent dans le karst. En effet, ce dispositif n'a pas tendance à homogénéiser le karst et ne fait pas disparaître l'hétérogénéité spatiale due à la fracturation. La profondeur d'investigation étant pratiquement celle de son extension latérale, il permet de pénétrer profondément dans la roche avec une ligne d'émission très courte. De plus, comme l'illustre le schéma de la figure 4, l'exécution de ce type de sondage est très simple, puisqu'il suffit de déplacer les électrodes de potentiel par des incréments réguliers depuis le centre, les électrodes de courant restant fixes. L'évaluation des résultats est empirique, mais donne généralement satisfaction. Il va de soi par

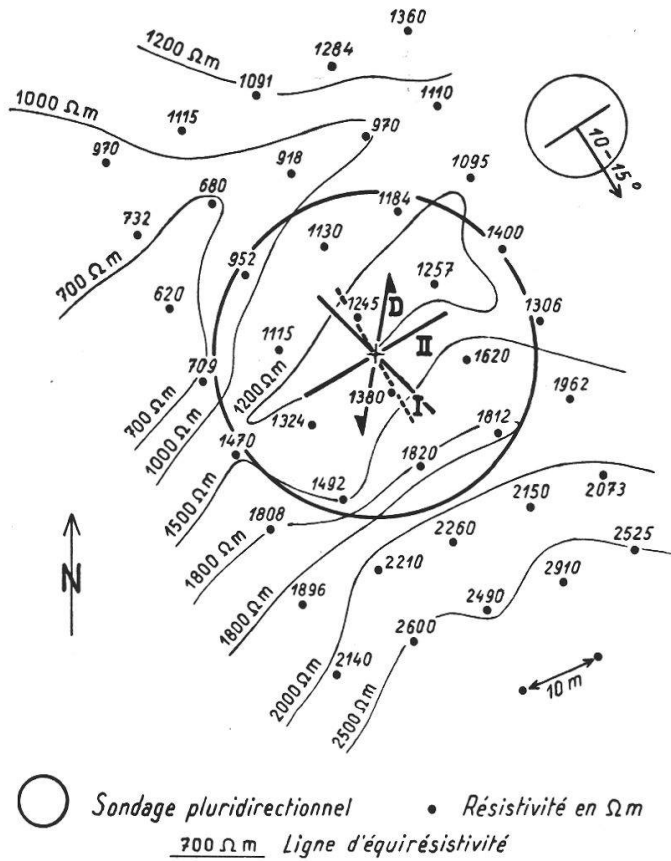


Fig. 3. Schéma de la fracturation dans la région de la Baume (I = tension; II = raccourcissement; D = décrochement) et les profils de la résistivité apparente sur le site expérimental (AB fixe = 160 m; MN = 10 m).
 Trait tiré = la direction de la spéléogénèse et de la karstification (N155°), mise en évidence par le sondage et le plan de la cavité (cf. fig. 2).

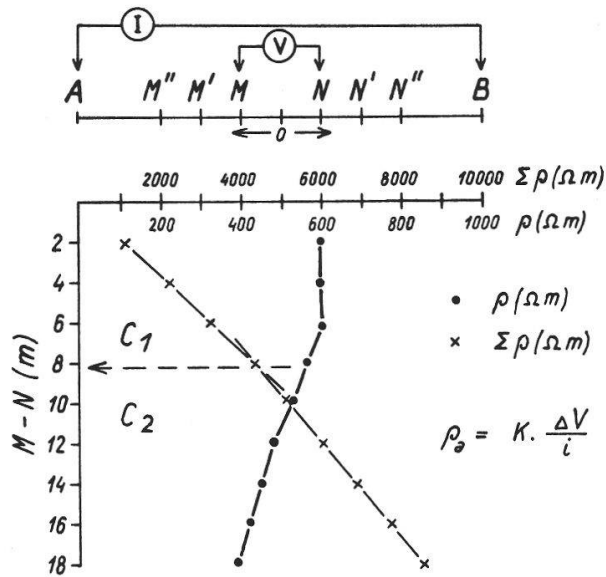


Fig. 4. Schéma du sondage cumulatif de MOORE (1952) et de son interprétation empirique.
 C₁ et C₂: première et deuxième couches; A et B: électrodes de courant; M et N: électrodes de potentiel; $\rho (\Omega m)$: la résistivité apparente; K: coefficient géométrique du dispositif.

contre que ce type de sondage est très vulnérable dans les cas de changement latéral de faciès et doit être utilisé avec précaution. Il est judicieux d'exécuter deux sondages sur chaque site en les décalant un peu ou en les orientant différemment (fig. 5).

3.2. *L'étude de la polarisation induite* a pris un essor considérable dans la recherche des gisements de certains minerais, puis plus récemment dans l'étude hydrogéologique des aquifères à porosité interstitielle (BODMER et al. 1968). La coupure brusque d'un courant d'excitation cause l'apparition de la polarisation induite qui s'explique par l'accumulation de charge électrique autour des particules métalliques dans le cas des minerais.

Dans le cas des aquifères, la charge électrique s'accumule lorsque les pores d'une roche, contenant un électrolyte, sont tapissés par une pellicule argileuse polarisable.

Il existe deux systèmes pour mesurer la polarisation induite sur le terrain :

- on envoie dans le sol un courant pulsé et on enregistre la décroissance du potentiel entre deux pulsions (time-domain);
- on mesure la résistivité du sol pour deux fréquences différentes de courant d'excitation (frequency-domain). On calcule «l'effet de fréquence» en pourcentage (Percent Frequency Effect).

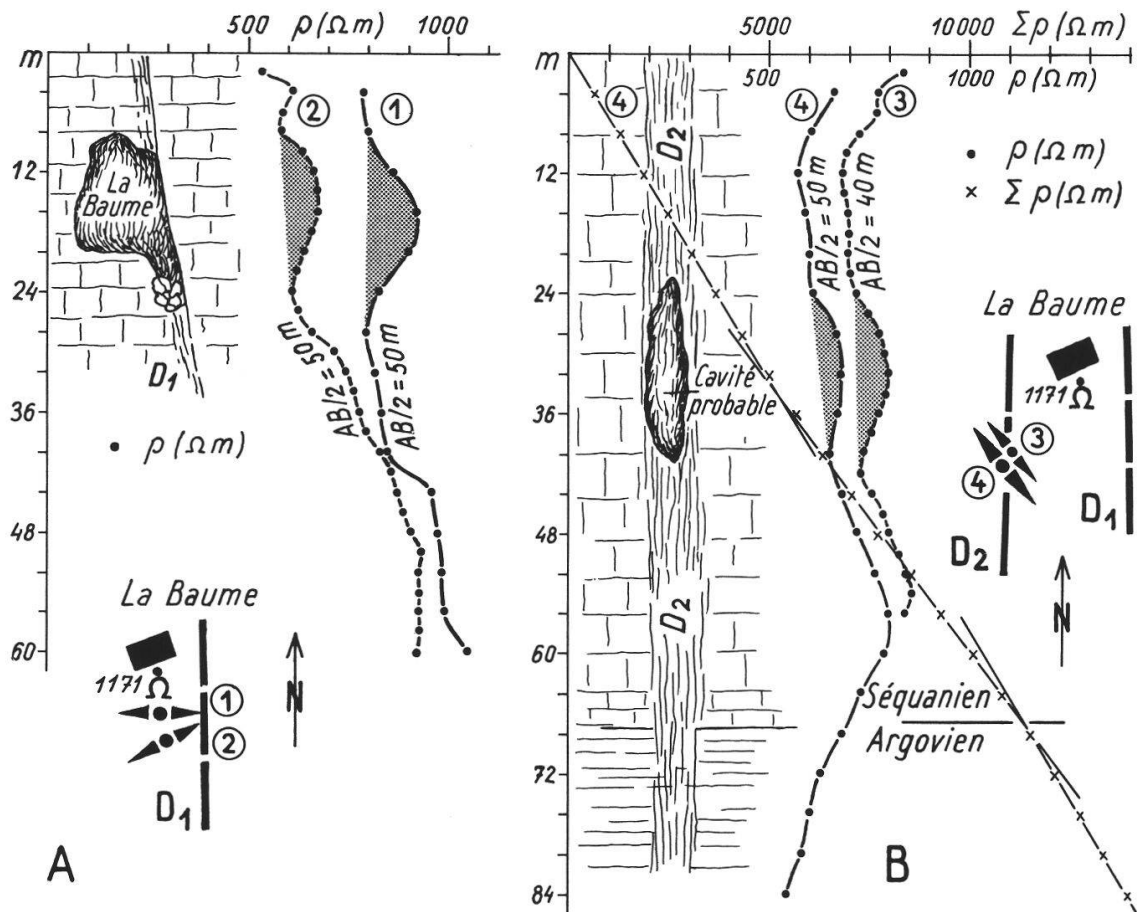


Fig. 5. Les sondages géoélectriques de «Moore» sur la cavité connue (A) et sur le décrochement D_2 (B) (cf. fig. 1). Le réseau est localisé par des «poches» de résistivité (en grisé).

Nous utilisons ce dernier procédé dont les fondements théoriques sont rappelés par KELLER et FRISCHKNECHT (1979).

3.3. Pour la présente étude, la *prospection microsismique* a été utilisée en mode de réfraction. Le paramètre mesuré est le temps de parcours d'une onde de choc, provoquée par une masse, et qui renseigne sur les propriétés élastiques des roches. La vitesse de propagation est une fonction du module d'élasticité du milieu.

Les calcaires compacts peu fissurés sont caractérisés par des vitesses sismiques élevées (3000-5000 m/s), tandis que les zones fracturées et karstifiées occasionnent des ralentissements considérables, dus à la perte d'énergie de la frappe. En effet, l'énergie fournie par une masse de 5 kg est absorbée par des zones à fracturation ouverte et, à plus forte raison, par la présence du réseau karstique qui se développe en sub-surface (MÜLLER 1979, 1981).

4. LES MESURES EFFECTUÉES DANS LA RÉGION DE LA BAUME ET DE LA PRISE FÈGE ET LEUR INTERPRÉTATION

4.1. Les mesures électriques

La région a déjà été prospectée par des méthodes géophysiques (MÜLLER 1980), mais l'acquisition d'un matériel électrique perfectionné nous a incité à faire des profils géoélectriques avec la méthode «FCE» et à expérimenter l'efficacité du sondage de «Moore» sur une cavité karstique.

Deux profils géoélectriques ont été exécutés, l'un avec 200 m AB fixe, l'autre avec 500 m AB (FCE₁ et FCE₂, cf, fig. 1). La figure 6 illustre les résultats et montre que les zones fracturées sont bien mises en évidence par

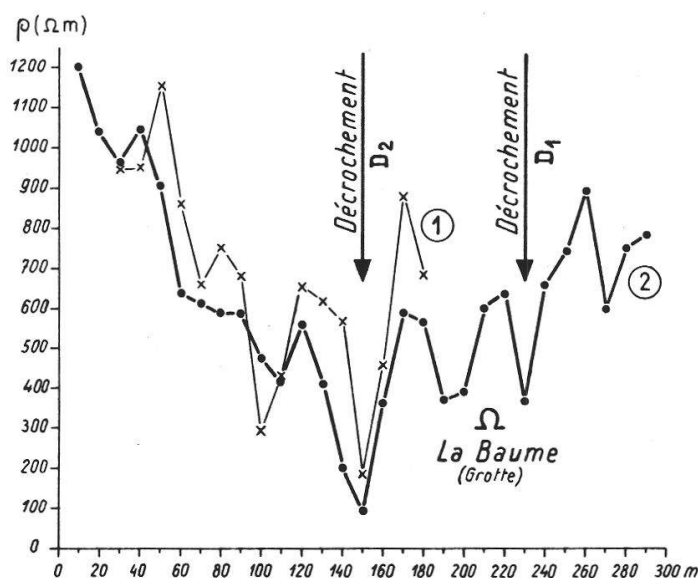


Fig. 6. Profils géoélectriques exécutés à l'aide d'électrodes de courant fixe (Fixed Current Electrode Array: FCE). 1 = AB 200 m; 2 = AB 500 m. MN = 10 m.

Les profondeurs d'investigation sont respectivement de 20 et 50 m au moins.

ce procédé. Le contraste entre la résistivité apparente des «blocs» peu fissurés et celle des zones fracturées est très prononcé. Ces zones, recouvertes par des formations pédologiques, ne sont perceptibles dans le paysage que par de faibles dépressions. Un rectangle de résistivité a été également exécuté avec la méthode «FCE» à l'emplacement du sondage pluridirectionnel. La figure 3 montre la distribution de la résistivité (AB fixe = 160 m, MN = 10 m) et attire l'attention sur la grande hétérogénéité qui caractérise ce site et qui n'est guère attribuable aux irrégularités de la couverture quaternaire. En effet, la profondeur d'investigation serait ici d'au moins 20 m.

Les sondages géoélectriques par la méthode de «Moore», effectués dans le but de mettre en évidence la cavité de la Baume, ont donné des résultats remarquables. Deux sondages sont présentés sur la figure 5A, localisant bien cette cavité connue (fig. 2) et permettant d'évaluer son développement vertical. Sur la base des résultats des profils de résistivités (FCE 1 et 2), deux autres sondages ont été implantés sur l'accident D₂

N-S	Herz 0,5	Herz 5	Δ	N30°	Herz 0,5	Herz 5	Δ	N60°	Herz 0,5	Herz 5	Δ			
2m	1021	1019	2	2m	860	856	4	2m	701	699	2			
4m	1073	1073	0	4m	985	980	5	4m	836	833	3			
8m	1286	1282	4	8m	1155	1150	5	8m	947	942	5			
12m	1321	1317	6	12m	1226	1220	6	12m	993	990	3			
20m	1221	1216	5	20m	1290	1285	5	20m	1088	1084	4			
30m	1219	1215	4	30m	1240	1240	0	30m	1110	1110	0			
40m	1009	1000	9	40m	816	813	3	40m	906	901	5			
			Σ Δ	30				Σ Δ	28				Σ Δ	22

N90°	Herz 0,5	Herz 5	Δ	N130°	Herz 0,5	Herz 5	Δ	N155°	Herz 0,5	Herz 5	Δ			
2m	797	794	3	2m	1026	1022	4	2m	1277	1270	7			
4m	911	907	4	4m	1117	1112	5	4m	1322	1317	5			
8m	1002	997	5	8m	1179	1174	5	8m	1478	1471	7			
12m	1029	1022	7	12m	1175	1170	5	12m	1485	1479	6			
20m	1209	1201	8	20m	1160	1153	7	20m	1471	1462	9			
30m	1236	1232	4	30m	1173	1165	8	30m	1345	1338	7			
40m	931	926	5	40m	953	947	6	40m	1009	1004	5			
			Σ Δ	36				Σ Δ	40				Σ Δ	46

Tableau I. Sondage géoélectrique pluridirectionnel: les résistivités apparentes dans les six directions mesurées à 0,5 et à 5 Herz.

Les Δ indiquent l'effet dû à la polarisation induite (I.P.) dont les sommes sont également représentées sur la figure 2C.

(fig. 1), où la présence d'une cavité, actuellement inaccessible, est très probable. La prospection sismique ne peut que confirmer ce pronostic. Les mesures électriques et leur interprétation sont illustrées par la figure 5B, où l'on voit également comment la courbe cumulative du sondage 4 situe l'Argovien à la profondeur prévue par KIRALY (1973). Un autre sondage, implanté à l'E de la Prise Fège (fig. 1: AB = 200 m), avait aussi mis en évidence cette formation à la profondeur prévue de 110 à 120 m.

Le dispositif Schlumberger, très utilisé par les chercheurs yougoslaves et français (KOVACCIC et KRULC 1967, BRION 1976) pour effectuer des sondages électriques pluridirectionnels, n'est pas toujours utilisable dans le Jura plissé, parce qu'il nécessite un grand espace horizontal, les lignes d'émission du dispositif étant très longues. De plus, son exécution mobilise au moins trois personnes. Pour ces raisons, nous avons choisi le dispositif de « Moore » pour des essais préliminaires sur le site, illustré par les figures 1 et 3. Les valeurs de la résistivité apparente à 0,5 et à 5 Herz sont présentées en fonction de la profondeur et dans les six directions mesurées (tabl. I). La figure 2B illustre la variation de la résistivité apparente en fonction de trois profondeurs différentes et dans chaque direction mesurée. L'effet cumulatif des différences des résistivités ($\Sigma \Delta$), dû à la polarisation induite, est présenté sur le tableau I et la figure 2C. Les mesures sismiques ont été faites dans les mêmes directions que les mesures électriques sur une diagonale de 50 m. On constate que les coefficients d'allongement des ellipses de résistivité (grand axe/petit axe) diminuent en fonction de la profondeur (fig. 2B et tabl. II). Nous en déduisons que l'anisotropie due à la fracturation et à la karstification diminue avec la profondeur. Le coefficient d'allongement moyen est 1,45.

m	Coeff. alg.	λ_a	I.P. ($\Delta\rho$)	ρ_{ma} (Ωm)	V (m/s)	Interprétation (Essais)
2	1,82	2,02	22	1102	500-600	Fractures très karstifiées et peu colmatées
4	1,58	1,92	22	1135		
8	1,56	1,95	31	1328	3850	Fractures de moins en moins karstifiées et de plus en plus colmatées
12	1,5	1,94	33	1346		
20	1,35	1,81	38	1300		
30	1,21	1,77	23	1269	----	Niveau moins fracturé et peu colmaté
40	1,11	1,89	33	1099		Début des niveaux marneux très peu karstifiés et colmatés

Tableau II. Synthèse des paramètres du sondage pluridirectionnel, en fonction de la profondeur.

Coeff. alg. = Coefficient d'allongement de l'ellipse des résistivités apparentes.

λ_a = Coefficient d'anisotropie apparente (BRION 1976).

I.P. = Effet de la polarisation induite (= $\rho_{0,5Hz} - \rho_{5Hz}$).

ρ_{ma} = Résistivité moyenne apparente (Ωm) (BRION 1976)

V = Vitesse sismique en m/s.

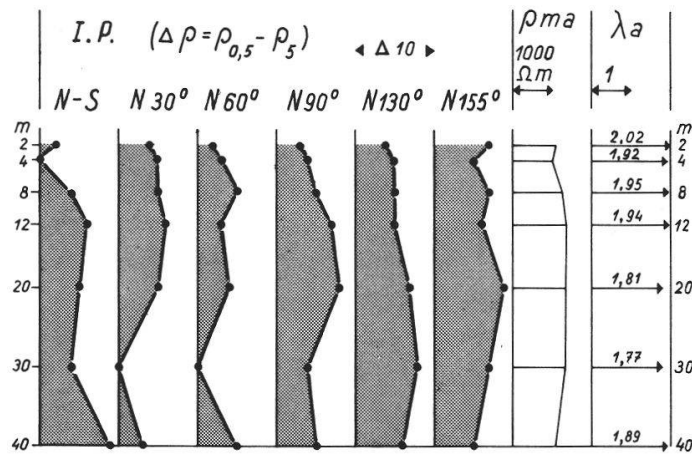


Fig. 7. Sondages géoélectriques pluridirectionnels: l'effet de la polarisation induite (I.P.) en fonction de la profondeur, comparé aux résistivités apparentes moyennes (ρ_{ma}) et aux coefficients d'anisotropie apparente (λ_a).

La polarisation induite (I.P.) produit son effet maximum et minimum dans les mêmes directions que celui de la résistivité: N155° et N60°, mais le coefficient moyen ainsi obtenu est plus marqué: 2,09 (fig. 2C). Cela signifie que la polarisation induite renseigne également sur la direction de la karstification et sur l'intensité de celle-ci en fonction de la profondeur. En effet, la figure 7 montre qu'à 30 m de profondeur, toutes les valeurs de la polarisation induite diminuent simultanément, excepté dans les directions de N130° et N155° qui sont celles de la spéléogénèse. C'est sans doute dans ces deux directions que l'humidité et les dépôts d'argile sont les plus importants et accentuent les effets de la polarisation induite.

Le coefficient d'anisotropie apparente (λ_a) et la résistivité moyenne apparente (ρ_{ma}) ont été calculés d'après les équations de BRION (1976):

$$\lambda_a = \sqrt{\frac{2x}{[x - (z^2 + 4/3 y^2)^{1/2}] - 1}}$$

$$\rho_{ma} = \sqrt{\frac{2}{[x - (z^2 + 4/3 y^2)^{1/2}]}}$$

avec $z = \frac{1}{\rho_1^2} - \frac{1}{\rho_4^2}$

$$y = \frac{1}{\rho_2^2} - \frac{1}{\rho_6^2} = \frac{1}{\rho_3^2} - \frac{1}{\rho_5^2}$$

$$x = \frac{1}{\rho_1^2} + \frac{1}{\rho_4^2} = \frac{1}{\rho_2^2} + \frac{1}{\rho_6^2} = \frac{1}{\rho_3^2} + \frac{1}{\rho_5^2}$$

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau II et sur la figure 7. Comparés à l'effet I.P., ils suscitent les remarques suivantes :

- Le sondage pluridirectionnel met en évidence le *comportement anisotrope* du milieu carbonaté fracturé.
- La direction d'allongement observée de la résistivité apparente et de la polarisation induite correspond à la *direction de la karstification*.
- Les coefficients d'allongement et les coefficients d'anisotropie apparente diminuent avec la profondeur et la résistivité moyenne augmente (jusqu'à 20 m): *la karstification diminue en fonction de la profondeur*.
- L'effet dû aux polarisations induites augmente avec la profondeur jusqu'à 20 m (tabl. II), *ce qui pourrait indiquer* la présence d'argiles de plus en plus abondantes dans toutes les directions mesurées. Il indiquerait ainsi *le degré du colmatage*. (De nombreuses expériences sur des sites déjà connus seront encore nécessaires pour interpréter d'une manière exhaustive les mesures de I.P. dans le karst. Les commentaires du tableau II ne sont donc pas des affirmations univoques, mais des estimations vraisemblables).

4.2. Les mesures sismiques

Les résultats des mesures sont présentés dans la figure 2B et le tableau II. Dans la direction N-S, la dromochronique entière, normale-inverse, a été levée, ce qui permet de calculer l'épaisseur de la couche superficielle comprenant la couverture pédologique et la zone d'altération. La vitesse sismique de cette couche n'est que de 500-600 m/s et son épaisseur varie entre 2 et 3 mètres. Elle est relayée en profondeur par des calcaires compacts, dont la vitesse sismique est élevée: 3850 m/s.

Si l'on examine maintenant les temps totaux que l'onde de choc met pour traverser le diamètre du sondage (50 m), on obtient les valeurs numériques suivantes, selon les directions :

N-S: 2083 m/s
 N30°: 1220 m/s
 N60°: 1136 m/s
 N90°: 1065 m/s
 N130°: 1136 m/s
 N155°: 2174 m/s

Il apparaît ainsi que la microsismique détecte la direction de la karstification ($N155^\circ$) par *perte d'énergie* quand la ligne de sondage est perpendiculaire ou proche de la *normale* ($N60^\circ$, $N90^\circ$) à la *direction de la karstification*. Il ne s'agit probablement pas du «micro-retard» mais plutôt de la suppression de la première arrivée, absorbée par la zone karstifiée. Par contre, l'onde de choc longe bien la direction de la karstification et ne perd pas de son énergie quand elle progresse parallèlement à celle-ci. Les effets du «ralentissement», dû à des phénomènes de perte d'énergie, renseignent sur l'existence des zones fracturées karstifiées. Paradoxalement, celles-ci doivent être recherchées non pas parallèles mais plus ou moins perpendiculaires à la direction la plus lente.

5. CONCLUSIONS

Dans le Jura neuchâtelois, les investigations géophysiques en vue d'étudier les paramètres de la fracturation pour en tirer des informations sur la structure et les propriétés hydrogéologiques des aquifères calcaires, en sont encore au stade d'expérimentation. La présente note, basée sur des mesures géoélectriques, sismiques et de la polarisation induite et utilisant des techniques qui tentent à éviter le plus possible l'homogénéisation du karst, voudrait stimuler l'élaboration de méthodes d'approche et d'interprétation géophysiques, adaptées à l'exploration du milieu carbonaté fracturé. Sur le site expérimental de la Baume, les investigations géophysiques, notamment les sondages pluridirectionnels, ont montré que des renseignements hydrogéologiques importants pouvaient être obtenus même sur un karst complètement recouvert de formations meubles.

Des résultats encourageants ont été obtenus, concernant :

- la localisation exacte des zones fracturées karstifiées et des drains à grande conductivité hydraulique ;
- la direction préférentielle de la karstification ;
- le développement et l'évolution verticale de la karstification ;
- les problèmes soulevés par la présence des argiles dans les fissures : le colmatage. Abordée par des mesures de polarisation induite (I.P.), l'étude du colmatage n'en est sans doute qu'à ses débuts, mais présente malgré tout un très grand intérêt, car l'I.P. semble être la seule méthode susceptible de renseigner sur le «*contenu*» de la fracturation.

A l'avenir, ces méthodes, étalonnées sur des sites déjà reconnus par des forages, pourront aider les hydrogéologues à mieux exploiter et protéger les aquifères calcaires.

Remerciements

L'auteur adresse ses vifs remerciements à M. J. Duperrex pour la construction des appareils géoélectriques, et à MM. C. Binggeli, P. Renaud et K. Stauffer (Société Suisse de Spéléologie, section SVT) pour

l'aide considérable, assurée sur le terrain pendant leurs week-ends. Il redit sa reconnaissance à M^{me} F. Mauroux et à M. G. Papaux pour la dactylographie et le dessin des figures.

L'auteur a assuré par ses propres moyens l'acquisition du matériel géophysique et logistique nécessaire pour ces études. Il remercie ici sa femme Marie-Claude pour sa compréhension.

Ces recherches ont été, en partie, financées par le Fonds National Suisse pour la Recherche Scientifique dans le cadre des Programmes Nationaux sur le cycle de l'eau. Que cette institution trouve ici toute notre gratitude.

Résumé

Un sondage géophysique pluridirectionnel (résistivité, microsismique et de la polarisation induite) a été effectué à proximité de la cavité karstique de la Baume (Jura neuchâtelois). D'importants renseignements hydrogéologiques ont été obtenus sur la direction et le développement de la karstification en fonction de la profondeur. La polarisation induite se révèle utile pour aborder l'étude de la karstification et du colmatage argileux des fractures.

Summary

A pluridirectional geophysical sounding was performed in the area of La Baume cave (Faulted Jura, Switzerland). Resistivity, induced polarisation and microseismic measurements are used. The sounding gives reliable hydrogeological informations to locate the direction of limestone-joints and cavern development in relation to depth. Induced polarisation seems to be a good tool to study the characteristics of joints in carbonate strata and especially the amount of clay-filling.

BIBLIOGRAPHIE

- BODMER, R., WARD, S. H., and MORISSON, H. F. — (1968). On induced electrical polarisation and groundwater. *Geophysics* 33: 805-821, 17 fig.
- BRION, M. — (1976). L'étude du phénomène de l'anisotropie électrique appliquée au milieu carbonaté fracturé. Thèse Univ. Sci. Techn. Languedoc, *Montpellier*.
- CARRINGTON, T. J. and WATSON, D. A. — (1981). Preliminary evaluation of an alternate electrode array for use in shallow-subsurface electrical resistivity studies. *Groundwater* 19 (1): 48-57, 8 fig.
- KELLER, G. V. and FRISCHKNECHT, F. C. — (1979). Electrical methods in geophysical prospecting. 523 pp., 283 fig., *Oxford* (Pergamon Press).
- KIRALY, L. — (1969). Statistical analysis of fractures (orientation and density). *Geol. Rundschau* 59 (1): 125-151.
- (1973). Notice explicative de la carte hydrogéologique du canton de Neuchâtel. *Suppl. Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 96: 1-15, 6 fig., 1 tab., 1 carte.
- (1978). La notion d'unité hydrogéologique. Essai de définition. *Bull. Cent. Hydrogéol. Univ. Neuchâtel* 2: 83-216, 30 fig.

- KIRALY, L. et SIMEONI, G. P. — (1971). Structure géologique et orientation des cavités karstiques: la grotte de Chez-le-Brandt (Jura neuchâtelois). *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 94: 91-97, 4 fig.
- KOVACCIC, S. and KRULC, Z. — (1967). Some aspects of geoelectrical investigation for ground water in the Yougoslavia karst region. *Mem. A.I.H.* 7 (8): 463-474, 8 fig.
- MOORE, R. W. — (1952). Geophysical methods adapted to high-way engineering problems. *Geophysics* 17: 505-530, 16 fig.
- MÜLLER, I. — (1979). Premiers essais micro-sismiques appliqués à l'étude hydrogéologique du karst jurassien. *Bull. Cent. Hydrogéol. Univ. Neuchâtel* 3: 41-53, 5 fig.
- (1980). Localisation des zones fracturées dans le karst par la prospection géoélectrique et microsismique. *Eclogae geol. Helv.* 73 (3): 855-866, 7 fig.
 - (1981). Application des mesures géoélectriques et microsismiques aux problèmes hydrogéologiques des aquifères calcaires. *Eau du Québec* 14 (3): 256-262, 6 fig.
-

Adresses de l'auteur: Centre d'hydrogéologie, 11, rue Emile-Argand, CH-2000 Neuchâtel 7.
Institut de géologie, Pérolles, CH-1700 Fribourg.