**OBSERVATIONS
SUR UNE NAPPE DE FISSURE
DANS LES GNEISS CÉVENOLS
A L'OCCASION DES ÉTUDES DE
RECONNAISSANCE
DU SITE DU BARRAGE
DE SAINT-JEAN-DU-GARD
(FRANCE) ***

PAR J. AVIAS **

Le futur barrage de Saint-Jean-du-Gard doit être édifié sur le Gardon de Saint-Jean, 3 km en amont de Saint-Jean-du-Gard (pl. I et II), dans une gorge entaillée dans les gneiss de la bordure cévenole du Massif Central Français. Il s'agit d'un ouvrage écrêteur de crue de 60 m de hauteur, qui doit être édifié dans le cadre du plan de défense contre les inondations du Languedoc, établi par le service des Ponts et Chaussées du Gard.

L'étude géologique et géotechnique des sites possibles a conduit à un examen très détaillé d'une zone de plusieurs dizaines d'hectares répartie de part et d'autre du lit du Gardon. Cette surface, entaille de la pénélaine gneissique pliocène du Massif Central, a fait l'objet d'un débroussaillage complet, d'une étude pétrographique et structurale détaillée avec levés géologiques au 1/1 000^e, au 1/500^e et au 1/200^e, de neuf sondages ayant permis cent soixante-trois essais de perméabilité Lugeon, de neuf galeries de reconnaissance, de plusieurs centaines de mètres de tranchées de reconnaissance, d'essais géotechniques sur éprouvettes (carottes de sondage) ou *in situ* (essais au vérin, auscultation au géodilatomètre de la C.E.B.T.P., essais sismiques).

(*) Barrage d'écrêtement de crue dont le maître d'œuvre est le département du Gard et le maître d'ouvrage le service des Ponts et Chaussées du Gard que nous tenons à remercier vivement de nous avoir autorisé à reproduire certains documents établis pour lui (à sa demande, à la nôtre ou à celle du Bureau Coyne & Bélier chargé de la réalisation de l'ouvrage) soit par la Société Soletanche (chargée des travaux de reconnaissance), soit par le C.E.B.T.P. (Centre expérimental de Recherches et d'Études du Bâtiment et des Travaux publics) pour la partie géotechnique, soit par moi-même pour la partie géologique.

(**) Professeur à la Faculté des Sciences, Directeur du C.E.R.H., Montpellier.

Ces études ont permis d'une façon exceptionnelle :

- a) de définir avec une grande précision relative la *nature et l'extension de l'aquifère* (gneiss fracturé), les caractéristiques du réseau de vides : sa porosité, sa perméabilité, sa capacité d'emmagasinement;
- b) d'observer le *fonctionnement de cet aquifère* et en particulier la surface de la *nappe de fissures* existante, son extension en profondeur, et son rabattement par la vallée actuelle du Gardon.

En d'autres termes, une occasion exceptionnelle d'étudier une nappe en terrain gneissique fissuré s'est offerte à nous, motivant le présent article dans lequel nous envisagerons d'abord la nature et la géométrie du système aquifère en jeu, puis examinerons comment l'eau s'y emmagasine et y circule, c'est-à-dire son fonctionnement. En conclusion, nous nous attacherons à dégager les règles hydrogéologiques valables pour la région considérée et d'une façon plus générale pour les massifs de roches cristallophylliennes analogues (*massifs gneissiques à pénéplénation ancienne actuellement drainés par des rivières entaillantes jeunes*).

**Nature et
géométrie du système aquifère en jeu
(aspects qualitatifs)**

Nature pétrographique.

Du point de vue géologique, le Gardon de Saint-Jean recoupe dans la région étudiée une partie de l'auréole métamorphique (gneissique) du massif de

Planche I / Vue aérienne du site de barrage de Saint-Jean-du-Gard.
Aerial view of the Saint-Jean-du-Gard dam site.

granite de Saint-Guiral-Liron située dans la partie Sud des Cévennes cristallines. On a essentiellement affaire à des *gneiss* compacts et durs en gros bancs, d'épaisseur comprise entre quelques centimètres et plusieurs mètres, à texture rubannée ou ocellée, parfois plissotés, riches en quartz (en général plus de 50 %) associés à des feldspaths calcoalcalins acides (oligoclase et andésine) (30 à 40 % de la roche) et à du mica noir (10 à 25 % de la roche). A ces trois éléments peuvent s'ajouter accessoirement (moins de 10 %) un peu de mica blanc, de zircon, de sphène, d'apatite, de magnétite.

Certains bancs peuvent passer à des *gneiss leptynitiques* par disparition plus ou moins complète de la biotite et par remplacement de celle-ci par du mica blanc. Dans certaines zones, les feldspaths sont plus ou moins séricitisés et l'on passe à des roches formées essentiellement de lits de quartz séparés par de minces lits de séricite avec parfois un peu de chlorite (on peut avoir jusqu'à 30 % de séricite); la roche acquiert alors un aspect satiné et présente un débit lamellaire caractéristique. On a alors affaire suivant le cas à des *séricitoschistes*, à des *quartzites sériciteux* ou à des *gneiss sériciteux*.

On peut exceptionnellement rencontrer sous forme filonienne un *microgranite* — affleurant à l'amont de la ferme Avignon sur la rive gauche et

qui a été également recoupé par sondage (sondage SD 3 entre les niveaux 7,00 et 11,90 m) — et des filons de quartz.

Enfin, suivant certaines zones plus ou moins linéaires, et d'épaisseur variant de quelques millimètres à plus d'un mètre, on peut trouver des *brèches de gneiss* à pâte formée soit de quartz blanc, plus ou moins verdi ou rougi, soit d'une masse gris bleu sombre formée de petits grains ou de petits bâtonnets d'épidote enchevêtrés sur le fond de laquelle tranchent des fragments anguleux de gneiss. Ces brèches peuvent passer à de véritables *mylonites* dans lesquelles l'aspect de brèches disparaît, seules quelques taches blanchâtres de quartz subsistant au milieu du ciment gris bleu sombre.

Ces roches, de densité voisine de 2,65, sont du point de vue géotechnique excellentes quand elles ne sont ni fissurées ni altérées. Les essais sur gneiss sain (faits par le C.E.B.T.P.) (*) de carottes de sondage ont donné au laboratoire une résistance à l'écrasement (R) variant entre 985 et 1 480 kg/cm² avec des modules d'élasticité (E) variant de 710 000 à 905 000 kg/cm². Lorsqu'ils sont fissurés et altérés, les chiffres précédents décroissent, mais restent

(*) Suivant une direction faisant un angle d'environ 50° avec le plan de litage.

Planche II/Plan en courbes de niveau du site, avec localisation des sondages et des emplacements d'essais géotechniques.
Contoured site plan showing the boreholes and geotechnical tests.

encore relativement élevés si les fissures ne sont que d'épaisseur quasi négligeable (par exemple : $R = 290 \text{ kg/cm}^2$ et $E = 435\,000 \text{ kg/cm}^2$ pour un gneiss altéré brun clair très fissuré du sondage n° 2). R et E diminuant jusqu'à devenir quasi nuls lorsque le gneiss tombe en arène.

Ces roches sont, du point de vue hydrologique, quand elles ne sont pas altérées, pratiquement isotropes, affectées d'une porosité d'interstices inter-cristallins presque négligeable (voisine de 0,1 %); leur perméabilité étant pratiquement nulle.

La circulation et l'emmagasinement d'eau au sein de leur masse ne peut donc s'effectuer que dans des zones suffisamment altérées ou affectées de vides dus aux ruptures causées par les efforts tectoniques qui les ont affectées.

Caractéristiques structurales.

Le lever structural détaillé de surface joint à l'étude structurale des parois des neuf galeries percées sur les flancs de la vallée et à celle des neuf sondages de reconnaissance réalisés, a permis d'apprécier qualitativement et, dans une certaine mesure, quantitativement l'état de fracturation de ces gneiss, fonction des caractéristiques originelles (litage en particulier) des formations et des ten-

sions ou compressions auxquelles elles ont au cours de leur histoire géologique été soumises.

Il a montré que l'on avait :

1° Des surfaces d'interbanc dont les lèvres au cours des phénomènes orogéniques ont souvent joué les unes contre les autres, provoquant la formation de « joints de litage » (J des fig. 1 et 2 de la pl. III) dont l'épaisseur est presque virtuelle en profondeur mais qui peuvent vers la surface, par effet de décompression ou d'agrandissement par altération, devenir capillaires (e pouvant alors atteindre jusqu'à 2 à 3 mm) ou irrégulièrement « ouvertes » (e de l'ordre de 5 à 10 mm).

L'ensemble de ces joints constitue un réseau de fissures parallèles à un plan moyen, de direction voisine de $N 110^\circ$ Est (variant dans le détail de $N 75^\circ$ à $N 120^\circ$ Est) et de pendage moyen de 37° vers le Nord (variant dans le détail de 20° à 44°).

2° Des « diaclases » (D_1 , D_2 , D'_2 , etc. des fig. 1 et 2 de la pl. III) (fissures du rocher caractérisées par l'absence de rejet des lèvres). Ces diaclases peuvent affecter plusieurs bancs à la fois mais le plus souvent n'affectent qu'un banc, s'interrompant aux joints de litage ou à leur jonction avec d'autres fissures.

La plupart de ces fissures sont planes ou sub-

Planche III / Exemples de fracturation du rocher (affleurements caractéristiques de gneiss dans le lit du Gardon) (affleurements situés rive droite légèrement en aval de la Ferme d'Avignon) / *Examples of fractured rock (typical gneiss outcrops in the Gardon river bed, on the right bank side a little below 'Ferme d'Avignon'.*

1/ Fracturation sur carottes de sondage (SG₂ profondeur entre — 30 et — 34 m).
Fractured core samples (between 30 and 34 m depth in SG₂).

- Gneiss sain
Sound gneiss
- Gneiss altéré
Weathered gneiss
- Arène - Sandstone

2/ Schéma de l'altération des gneiss de Saint-Jean-du-Gard au voisinage de la surface.

Saint - Jean - du - Gard gneiss weathering pattern near the surface.

Planche IV

3/ Diagramme de fréquence des directions de diaclases.
Diaclasis frequency and direction diagram.

4/ Schéma théorique de répartition des « zones de broyage » et des « noyaux préservés ».

Theoretical "crushed areas" and "preserved cores" chart.

Surface ancienne - Original surface

5/ Schéma récapitulatif du système aquifère en jeu au site de barrage de Saint-Jean-du-Gard et, d'une manière plus générale, dans les massifs gneissiques à pénéplation ancienne drainés par des rivières entaillantes jeunes.

Illustration of the Saint-Jean-du-Gard aquifer system, more generally in gneiss hills with old peneplain formation drained by young rivers which have dug into them.

planes et leur plan moyen fait avec celui du litage un angle le plus souvent voisin de 90° (D_1), parfois de 60° (D_2), ce qui entraîne (étant donné que le pendage moyen des joints est de $N\ 37^\circ$) que ces diaclases constituent un double réseau dont la direction moyenne varie mais dont le pendage oscille entre 50° et la verticalité.

Du point de vue directionnel, ces diaclasses, bien que pouvant présenter presque toutes les directions, montrent leur maximum de fréquence dans les directions N-S, à 90° et à 30° Est et Ouest de cette direction (cf. pl. IV, fig. 3).

3° Des « *failles* » (fissures du rocher caractérisées par un rejet des deux lèvres) souvent caractérisées, quand elles sont simples, par la présence de cannelures et de stries de friction plus ou moins lustrées sur les lèvres, dont l'étude permet d'ailleurs souvent de préciser l'orientation et le sens des déplacements relatifs.

Ces failles correspondent généralement à des acci-

dents cassants de zones rigides ayant absorbé par leur formation l'énergie de compression ou de distension, ce qui entraîne qu'hormis la zone de faille proprement dite dont l'épaisseur peut varier de moins d'un millimètre à plus d'un mètre, la maille de fracturation peut être à leur voisinage :

- soit plus large : la rupture qui leur a donné naissance ayant entraîné une relaxation des contraintes qui a protégé par contre-coup les zones adjacentes;
- soit plus serrée quand la cassure a été précédée d'un début d'écrasement.

Ces failles généralement rectilignes sont, à Saint-Jean-du-Gard, liées au grand système de failles bordières du Massif Central à l'approche de son passage à la zone d'effondrement ennoyée de sédiments que constitue le graben de la vallée du Rhône. Aussi les principales failles du site recourent-elles d'une façon très générale, *transversale-*

ment, le lit du Gardon (direction voisine de E-W); deux autres systèmes de faille ont des orientations respectives voisines de N-S et de N 40° Est.

Qu'elles soient dues à des cassures de distension ou à des cassures de compression (ayant fréquemment rejoué en distension), elles constituent très généralement avec leurs fissures satellites des axes de drainage qui, recoupant de nombreuses mailles de fracturation et se prolongeant jusqu'à la surface du sous-sol, provoquent des écoulements concentrés générateurs de sources pérennes ou non. C'est le cas en particulier de la source pérenne qui alimente la Ferme d'Avignon vers la base du flanc droit de la vallée (pl. II) dont la fissure a d'ailleurs été agrandie artificiellement sur une certaine profondeur.

Ces failles forment également, mais à grande échelle (de l'ordre de plusieurs centaines de mètres ou, fréquemment, en se relayant, de plusieurs kilomètres) un réseau de fractures généralement planes et verticales dont la maille est fréquemment carrée

Planche V/

Section de la vallée du Gardon suivant la ligne de forages de reconnaissance du site (Cf. pl. 2) avec représentation diagrammatique des résultats géologiques et géotechniques (essais Lugeon).

Cross section of the Gardon valley along the line of site reconnaissance borings (Cf. pl. 2). Diagrammatic representation of geological and geotechnical data (Lugeon tests).

ou losangique, les plus récentes recoupant et décalant les plus anciennes.

4° Zones de broyage et « noyaux préservés ».

Accompagnant ou non les failles, on peut observer dans la zone du site du barrage de Saint-Jean-du-Gard, des zones de broyage dans lesquelles une fissuration à petite maille (décimétrique et souvent centimétrique) a été en certains points suivie d'un écrasement plus ou moins complet de la roche, la pâte résultante s'étant le plus souvent reconsolidée par recristallisation notamment de quartz, d'épidote et de minéralisations surtout pyriteuses.

A grande échelle (de l'ordre de plusieurs centaines de mètres), ces zones de broyage constituent généralement l'enveloppe de noyaux de roches préservés soit parce qu'ils étaient plus résistants, soit parce que la relaxation des contraintes lors des broyages les a « préservés ». Ces « noyaux préservés » de forme généralement ovoïde ou subovoïde (cf. pl. IV, fig. 4) sont alors caractérisés par une fracturation relativement beaucoup plus faible. On en observe plusieurs (séparés par des zones de broyage) dans la zone du site du barrage de Saint-Jean-du-Gard, et notamment un, dans le lit du Gardon peu en amont de la Ferme d'Avignon, qui est traversé en gorge par les eaux de la rivière, un ou deux autres sur la rive gauche où ils provoquent la formation de croupes plus saillantes.

Le broyage (pouvant aller jusqu'à la mylonitisation) a d'ailleurs une puissance très irrégulière. Il peut atteindre exceptionnellement plusieurs mètres en un point et, quelques dizaines de mètres plus loin, ne pas dépasser quelques centimètres, voire se réduire à une fissure presque inappréciable.

La trace sur le terrain des zones de broyage est en conséquence très irrégulière et généralement courbe. Leur surface, qui auréole les noyaux préservés, est généralement *conchoïdale*. Ce fait est très démonstratif pour l'une d'entre elles qui prend en écharpe le site du barrage de Saint-Jean-du-Gard, entre le chemin d'exploitation rive droite et le promontoire du méandre rive gauche.

Ces zones de broyage constituent, avec leurs lèvres à maille fine de fracturation, également des zones où existent de nombreux vides susceptibles d'emmagasiner ou de laisser circuler l'eau, les essais Lugeon sur le sondage incliné SG₂ bis, en rive gauche, destiné à recouper la plus importante zone de broyage du site, illustrent ce fait (cf. pl. V). Il faut toutefois remarquer que la recristallisation intense à Saint-Jean-du-Gard et les dépôts de minéralisation dus à d'anciennes circulations d'eaux probablement échauffées, a souvent réduit leur porosité générale.

5° « Fissures de contacts différentiels ».

Ces fissures s'observent au contact des filons recoupant la masse des gneiss (filon de quartz ou de microgranite). L'importance de ces fissures est due à la compétence différente entre les gneiss et les roches correspondantes qui entraîne une discontinuité dans les propriétés mécaniques des roches. Cette importance est souvent augmentée par le fait que la fissuration des roches de filon (quartz par exemple) est souvent très supérieure à celle des gneiss encaissants, ce qui entraîne que ces zones filoniennes peuvent constituer également des *drains* pour l'eau.

6° Conclusion.

En conclusion la *superposition* des deux catégories fondamentales de réseaux de fissures (réseau de joints de litage et réseau de diaclases) entraîne la formation d'un réseau composite tridimensionnel déterminant une *maille polyédrique de fracturation*.

Le diamètre moyen des mailles peut alors varier de quelques centimètres à une cinquantaine de mètres ou plus, les mailles d'ordre supérieur étant fréquemment subdivisées en mailles d'ordre inférieur.

La dimension minimale de cette maille polyédrique de fracturation varie suivant les zones, la fracturation n'étant le plus souvent pas homogène et l'on peut avoir une concentration spéciale plus grande de fractures d'une direction déterminée en certaines zones. C'est ainsi qu'à l'aplomb de la *Ferme d'Avignon*, on a une grande concentration de fissures planes de direction oscillant autour de la verticale. À l'aval d'Avignon, les joints et les fissures parallèles à l'axe du lit de la rivière deviennent au contraire prédominants.

À l'examen, cette hétérogénéité de la fracturation apparaît comme liée à la répartition des failles et des zones de broyage d'une part, aux variations éventuelles de la nature pétrographique des roches en jeu d'autre part.

Rôle de la décompression superficielle et de la décompression liée à l'entaille d'érosion de la gorge du Gardon dans l'ouverture des fissures.

Dans les zones profondes, l'observation directe (carottes de sondage du fond des forages de reconnaissance) montre que les fissures sont pratiquement presque toutes fermées, seuls des espaces capillaires subsistant en certains points entre les lèvres de ces fissures.

Par contre, lorsqu'on monte des zones profondes vers les zones superficielles, notamment suivant les flancs de la vallée du Gardon, on constate que les fissures « s'ouvrent » progressivement jusqu'à devenir franchement « ouvertes » ou même « béantes » ($e > 5$ cm). Ce phénomène, dû à la *décompression* et à l'appel gravifique au vide, est bien connu des géotechniciens. Il faut souligner son importance particulière dans les zones adjacentes aux flancs de la vallée où l'appel gravifique au vide vers le thalweg se combine à la diminution de charge globale et sur la rive droite au sens de pendage des joints de litage dirigé vers l'axe de la vallée.

La « fermeture » en profondeur des fissures expli-

que que même des zones très fracturées telles celles rencontrées dans les trente derniers mètres des sondages SG₂, SD₄ ou SD₃ (pl. V) ne montrent qu'une absorption infime d'eau lors des essais d'injection d'eau (essais Lugeon, voir plus loin). Il est très remarquable que les absorptions lors des essais Lugeon correspondent très généralement à moins d'une unité Lugeon en dessous de — 40 m dans SG₁, en dessous de — 30 m à SG₂ et SG₃, en dessous de — 40 m à SG₄ et SD₄, en dessous de — 40 et de — 50 m respectivement dans SD₃ et SD₂. La limite de la zone à fissures ouvertes et des zones à fissures fermées est donc d'une façon très remarquable *parallèle à la surface du sol* et oscille autour de — 40, — 50 m dans la région de Saint-Jean-du-Gard. Cette limite semble avoir tendance à s'horizontaliser autour de la cote 230 quand on s'éloigne de l'axe de la gorge (cf. résultats des essais Lugeon sur les sondages extrêmes SG₁ et SD₂) cote qui doit correspondre à la limite générale correspondante de la zone pénéplanisée dans laquelle s'est enfoncé par érosion le Gardon.

Ceci montre donc que le *creusement au quaternaire de la gorge du Gardon a provoqué l'apparition d'une zone nouvelle de décompression* (et d'altération) dont la profondeur s'étend sur environ 35 à 40 mètres en dessous de la surface du sol (pl. V et pl. IV, fig. 5).

Nous verrons que cette zone est d'une importance primordiale pour l'hydrogéologie.

Cette « décompression » et l'ouverture des fissures se traduisent évidemment dans les *essais géotechniques réalisés* : essais de compression *in situ*, au *vérin* (dans les galeries ou en surface) ou au *géodilatomètre* (dans les sondages) et *mesures sismiques* (cf. pl. II, et pl. V).

La déformation sous une charge donnée en un temps donné, ou la propagation des ondes sismiques sont en effet fonction :

- a) de la nature de la roche saine (définie entre autres par le coefficient de Poisson);
- b) du nombre et de la répartition spatiale des fissures;
- c) de l'écartement des lèvres des fissures;
- d) du degré d'altération de la formation et de la répartition spatiale de cette altération;
- e) de la teneur en eau et de la répartition de cette teneur en eau.

Or, l'écartement des lèvres des fissures (c) est évidemment lui-même fonction de la décompression.

Les *essais au laboratoire* sur éprouvette (L'Hermier, 1962-63) ont donné pour le coefficient de Poisson de la roche saine $\chi = 0,2$. La déformation w (dans l'hypothèse où le rocher serait un milieu semi-infini, élastique, homogène, isotrope) est donnée par la formule :

$$w = \frac{P}{D} \times \frac{1 - \chi^2}{E}$$

P : charge totale;

D : diamètre de la surface d'application de la charge, supposée circulaire (diamètre du disque d'appui dans le cas d'un essai au vérin);

E : module d'élasticité.

Dans les expériences *in situ*, le E obtenu ne correspond évidemment pas au module d'élasticité étant donné que les hypothèses de base ne sont pas réalisées, on l'appelle module de déformabilité globale et on le désigne par E'.

Or, E' est évidemment d'autant plus faible que la fissuration et la décompression sont plus grandes.

Les *essais de déformation in situ* ont, à Saint-Jean-du-Gard, été exécutés soit classiquement « au vérin » dans les galeries de reconnaissance, soit dans les sondages, grâce à un appareil spécial mis au point par le C.E.B.T.P. : le *géodilatomètre* (appareil composé de deux coquilles semi-circulaires en acier séparées par une capsule médiane gonflable hydrauliquement grâce à une pompe d'injection dont les variations de diamètre sont mesurées au moyen d'un capteur de déplacement à mutuelle induction de type Baudoin précis au 100° de mm).

L'intérêt de cet appareil (qui est étalonné au laboratoire dans des prismes de matériaux divers) est de pouvoir très facilement mesurer dans les sondages les déformations à la compression dans une direction bien déterminée (celle dans laquelle a été placé le plan axial des deux coquilles).

Dans les *auscultations sismiques* du rocher, on provoque par choc d'une masse, un ébranlement qui est suivi le long d'un certain trajet à l'aide de capteurs à magnétostriction.

Le tracé de la courbe dromochronique permet alors la détermination de la *vitesse de propagation* de l'ébranlement. Cette vitesse V est évidemment d'autant plus faible qu'il y a plus de fissures interrompant la continuité du milieu transmetteur.

Or :

$$V = \sqrt{\frac{E}{\gamma} \frac{1-\chi}{(1+\chi)(1-2\chi)}}$$

γ : densité du matériau (2,65 pour le gneiss sain);

E : module d'élasticité;

χ : coefficient de Poisson (0,2).

Si l'on récapitule alors les *résultats de ces essais*, du point de vue qui nous intéresse ici, c'est-à-dire du point de vue de l'état de fissuration et de décompression, on arrive aux conclusions suivantes :

- les modules de *déformabilité sur éprouvette* au laboratoire sont compris entre 350 000 et 905 000 kg/cm²;
- les valeurs des modules de *déformabilité globale* E' donnés par les essais au vérin, se répartissent entre 17 000 et 96 000 kg/cm²;
- les expériences d'*auscultation sismique* réalisées ont donné une vitesse moyenne pour la roche saine et sans défaut de 4 750 m/s, ce qui correspond à un module d'élasticité dynamique E = 540 000 kg/cm².

Pour la roche commune, c'est-à-dire la roche fissurée, les expériences ont donné des vitesses comprises entre la valeur précédente et 670 m/s, la valeur moyenne dans les zones auscultées (superficielles) étant de 2 000 m/s. Les valeurs respectives correspondantes pour E' étant de 11 000 kg/cm² pour la vitesse minimale et de 97 000 kg/cm² pour la vitesse moyenne.

- Les essais au *géodilatomètre* ont donné des modules E' compris entre 100 000 et 700 000 kg/cm².

D'une manière générale, compte tenu des différences de roches testées dans chaque méthode et des différences de méthodes, les résultats sont comparable; par ailleurs :

- les modules augmentent avec la profondeur (anisotropie verticale);
- les modules sont diminués dans le sens transversal par rapport à la vallée (anisotropie horizontale) (cf. tabl. I).

Ces deux derniers résultats traduisent particulièrement bien le *phénomène de décompression* (malgré la variabilité des conditions des essais liée à l'hétérogénéité de structure et d'altération de la formation) *d'autant plus grand que l'on se rapproche plus de la surface et évidemment bien plus important normalement à la vallée* (influence de l'entaille créée) *que dans le sens de cette dernière*.

La liaison des modules E' au degré d'altération des roches, l'irrégularité de détail de la fissuration, les compensations possibles imprévisibles et d'autres facteurs ne permettent malheureusement pas de calculer à partir de E' ou de ses variations, l'état de fissuration - décompression (surface et *écartement moyen des fissures dans l'unité de volume*) qui intéresserait l'hydrogéologue pour déterminer la porosité moyenne du magasin en jeu.

Et ceci nous amène à considérer un phénomène important dont les effets se surajoutent à celui de l'état de fissuration et de décompression : *l'altération des roches* et l'intervention des produits résultant de cette altération; phénomènes dont l'importance croît lorsqu'on gagne les zones superficielles.

Intervention de l'altération des gneiss due au « weathering » (arénisation).

Dans les zones superficielles du massif plus ou moins atteintes par les infiltrations d'eaux de pluies et par l'air atmosphérique, certains minéraux constitutifs des gneiss sont attaqués. Les principaux sont les feldspaths qui, sous l'action de l'eau et du gaz carbonique, se kaolinisent progressivement, l'eau entraînant en solution la silice et les alcalins (sous forme de carbonates). La roche blanchit, perd du poids et de la dureté, devient plus poreuse (sans excès, le kaolin gonflant avec l'eau et imperméabilisant les vides créés par la destruction des feldspaths).

Lorsque le processus atteint un certain point, la roche s'effrite libérant des *grains de quartz* intacts — des restes de feldspaths plus ou moins décomposés, des phyllites (micas plus ou moins altérés, séricite, chlorites), le tout emballé dans une argile kaolinique blanchâtre. Progressivement l'altération des paillettes de micas noirs et des autres minéraux ferromagnésiens entraîne la libération d'oxyde de fer qui tend alors à colorer la masse en brun rouge.

En surface, les processus physicochimiques et biochimiques de la pédogenèse interviennent et provoquent la formation de sols bruns rougeâtres plus ou moins perméables, passant plus ou moins insensiblement aux roches altérées du sous-sol. Dans

Tableau 1

Campagne de mesures en sondages à l'aide du géodilatomètre C.E.B.T.P.

Saint-Jean-du-Gard

Dos. S.F. 62/212.6.548

SONDAGES	PROFONDEUR	COTE ABSOLUE	DIAMÈTRE DE LA PARTIE ESSAYÉE	E' ₁ kg/cm ² DANS LE SENS DE LA VALLÉE	E' ₂ kg/cm ² NORMALEMENT A LA VALLÉE	D=E' ₁ —E' ₂	REMARQUES
S.G. 1	14,50	269,56	76	600 000 500 000	540 000	100 000	Anisotropie évidente
	15,50	268,56					
	17,50	266,56					
	18,00	266,06		520 000	280 000 480 000		
	21,00	263,06					
	21,00	263,06					
S.G. 3	4,50	239,53	86	580 000	350 000	230 000	Anisotropie évidente
	4,50	239,53					
	8,00	236,03					
	8,00	236,03		550 000	250 000 350 000		
	12,00	232,03					
	12,00	232,03					
S.D. 3	5,00	250,55	86	420 000	280 000 120 000 500 000 (1)		(1) Traversée vraisemblable d'une zone dégradée n'apparaissant pas nettement à l'examen du sondage.
	5,00	250,55					
	9,00	246,55					
	9,50	246,05					
	13,00	242,55					
	13,00	242,55					
	16,00	239,55					
	16,00	239,55					
S.D. 4 (fond de la vallée)	4,50	223,88	86	300 000	210 000	180 000	Mesures faites sous l'eau Anisotropie évidente (2) Parfaite fidélité dans le rocher de base.
	6,00	221,88					
	8,00	219,88					
	8,00	219,88		700 000 700 000 (2)	520 000		
	12,00	215,88					

Pour les positions des sondages, voir pl. IV.

D : décompression relative moyenne.

(D'après L'Herminier, 1963, légèrement modifié.)

certaines zones le lessivage plus ou moins complet des argiles laisse une sorte de terre sableuse à résidus feldspathiques relativement plus perméable, à laquelle on a donné le nom d'*arènes*.

Dans la zone de Saint-Jean-du-Gard, l'ancienne surface pénéplanée des gneiss dans laquelle le Gardon a au Quaternaire creusé ses gorges, ayant subi une très longue période de « weathering » est couverte d'une épaisse couche d'arène et de terres arénitiques. On la retrouve bien caractérisée sur les croupes dominant la vallée et en particulier sur celle séparant la gorge amont du méandre aval. Dans cette dernière zone, où doit être creusé l'évacuateur de crues du barrage, les travaux de reconnaissance ont montré que la zone arénisée pouvait dépasser en certains points 15 m.

Sur les flancs de la vallée, cette zone de terres arénitiques n'existe pratiquement pas. On y trouve seulement quelques placages généralement peu épais d'arènes et de terres brunâtres descendues par solifluxion ou simple gravité et mélangées à des blocs ou fragments de gneiss plus ou moins altérés.

L'importance de cette zone arénitique est considérable dans les terrains cristallins; elle constitue en effet une masse plus ou moins poreuse perméable en petit qui forme réservoir pour l'eau d'infil-

tration qui ressort ensuite aux points bas sous forme de sources pérennes ou temporaires. Le phénomène d'arénisation progresse vers la profondeur à partir des fissures servant d'accès à l'eau (cf. pl. IV, fig. 2). Par ailleurs, quand on s'enfonce dans le sous-sol, on constate qu'à côté de produits d'altération *in situ*, beaucoup de fissures sont remplies par une arène plus ou moins argileuse et pouvant contenir des débris anguleux de gneiss dont l'origine principale est une origine *per descensum* d'entraînement par les eaux d'infiltration.

Conclusions quant au système hydraulique résultant.

En récapitulation, le complexe hydraulique en jeu dans un massif de gneiss tel que celui de Saint-Jean-du-Gard comprend :

- 1° une masse tabulaire superficielle arénisée à surface pédolisée, épaisse d'une dizaine de mètres, à porosité d'interstice, dont la porosité varie généralement de 20 à 45 % (maximum), dont la perméabilité varie en fonction de la teneur en argile kaolinique ou en produits humiques (zone I de la fig. 5 de la pl. III);

2° sous cette masse on a un *squelette minéral* (gneiss) de porosité et de perméabilité négligeables, affecté de *plusieurs réseaux de vides qui se superposent* (un réseau de « joints de litage », un ou plusieurs réseaux de diaclases, un ou plusieurs réseaux de failles, un ou plusieurs réseaux de zones de broyage). Chaque réseau est doué d'une porosité de fissure dépendant de la largeur des fissures. Cette largeur est virtuelle à une certaine profondeur, augmente progressivement par *décompression* quand on se rapproche verticalement de la surface ou, latéralement, d'une entaille du massif rocheux, telle la gorge du Gardon de Saint-Jean;

3° entre les deux composantes précédentes, on a une *zone intermédiaire* où les argiles et arènes de la première remplissent plus ou moins complètement les vides de la seconde. Du point de vue hydraulique, cette zone se comporte comme la composante supérieure (voir plus loin) mais la porosité y est réduite en fonction du rapport du volume de terre arénitique contenu dans les fissures et du volume du squelette minéral (gneiss non arénisé); la zone poreuse et perméable est par ailleurs réticulaire;

4° le réseau de vides du système aquifère est pratiquement limité vers le bas par les gneiss non décomprimés et inaltérés pratiquement imperméables (injection nulle ou < 1 aux essais Lugeon) (zone III de la fig. 5 de la pl. IV et de la pl. V). La surface limitante B de la fig. 5 s'infléchissant sous la vallée en restant parallèle à la surface du sol sur une épaisseur moyenne de 40 m;

5° l'ensemble est recoupé par des *accidents* (grandes failles, zones de broyage, filons fracturés de microgranite ou de quartz, etc.) qui peuvent constituer des *drains préférentiels* ou dans certains cas (s'ils sont colmatés par de l'argile) des barrières imperméables arrêtant les eaux.

Chaque réseau est doué d'une anisotropie bien caractérisée, mais le fait que *les différents réseaux se recoupent les uns les autres* entraîne que l'ensemble se conduit pratiquement le plus souvent (pas toujours) pour une région donnée comme *statistiquement isotrope*. C'est en tous cas ce qui se passe à Saint-Jean-du-Gard.

Fonctionnement du système aquifère (emmagasinement et circulation de l'eau dans ce système)

Après avoir défini la nature et la géométrie (qualitative) du système aquifère en jeu, il nous faut alors envisager ce système du point de vue quantitatif et du point de vue de son fonctionnement : c'est-à-dire du point de vue de son rôle en tant que *magasin*, et du point de vue des *modalités de circulation d'eau* qui y ont lieu, depuis la surface du sol jusqu'aux exutoires du système.

Zone d'alimentation.

Cette zone comprend évidemment :

- la *surface de la zone pédolisée et arénisée* (reste de la surface pénéplanisée ancienne). L'eau de précipitation s'y infiltre comme dans un terrain homogène à porosité d'interstice. Il convient cependant de remarquer que la surface pédolisée est souvent moins perméable que les surfaces d'arènes nues, d'où s'il y a superposition de sols d'âges différents, des possibilités d'anisotropie de la perméabilité;
- la *surface rocheuse d'érosion* de la vallée entaillante. Cette surface n'est légèrement arénisée qu'en haut de versant; ailleurs le rocher s'y montre à nu. L'eau des pluies ruisselle sur les faces rocheuses exposées et une partie s'infiltre dans les fissures ouvertes, colmatées ou non par des produits arénitiques; l'autre partie rejoint la rivière dont elle fait monter le niveau. Par endroits, des produits arénisés descendus par gravité (par glissement, éboulement, creeping ou solifluxion), constituent de petits placages superficiels dont l'épaisseur excède rarement 2 ou 3 m. L'eau s'y infiltre comme dans les arènes et s'essore par les parties basses;
- le *lit de la rivière* qui maintient évidemment en charge toutes les fissures sous-jacentes tant qu'il contient de l'eau.

Zone de circulation (d'infiltration et de percolation) et d'emmagasinement de l'eau.

1. Dans la *zone arénisée* qui, rappelons-le, peut à Saint-Jean-du-Gard dépasser 15 m d'épaisseur, la perméabilité relative (coefficient de Darcy) n'a pas été déterminée, mais d'après ce que l'on connaît dans des cas analogues, elle doit en moyenne varier entre : $K = 1.10^{-5}$ et $K = 1.10^{-4}$ m/s suivant la teneur respective en kaolin et en grains de quartz, suivant la granulométrie de ces derniers et accessoirement suivant la température. Nous rappellerons que la porosité de cette zone varie entre 30 et 45 %.

2. La *zone rocheuse* sous-jacente fissurée et décomprimée (zone II de la fig. 5 de la pl. IV) joue alors un rôle drainant pour la zone arénisée et l'eau va donc (avec un certain retard) s'infiltrer dans cette zone par les fissures ouvertes. La circulation y sera dans presque tous les cas, *laminaire* ou *capillaire*; très exceptionnellement turbulente, ce qui différencie ces terrains des terrains fissurés calcaires dans lesquels une importante dissolution a élargi considérablement certaines fissures. On peut dans ce cas (cf. Schneebli, 1966, p. 74) en supposant les fissures planes (cas général) et étant donné que le vecteur débit par unité de longueur de la fissure $\bar{q}$ est égal à :

$$\bar{q} = -C_q \text{grad } \varphi$$

(φ étant le vecteur gradient de charge dans le plan de la fissure et C_q le « coefficient de débit de la fissure »), démontrer en utilisant les équations établies par Navier en partant de la loi de Newton, que :

$$C_q = \frac{\omega d^3}{12 \mu} = \frac{g d^3}{12 \nu}$$

avec ω : poids spécifique; μ : viscosité dynamique; ν : viscosité cinématique; g : accélération de la pesanteur.

Le coefficient de débit varie donc comme le cube de la largeur de la fissure.

Si la fissure est large (d'épaisseur d) et remplie de produits arénitiques de perméabilité relative (coefficient de Darcy) « K », on peut assimiler la fissure à un perméamètre plat et le coefficient de débit :

$$C_q = Kd$$

Dans les deux cas, on peut calculer une perméabilité globale de cette zone fissurée à condition de prendre un volume de terrain assez grand pour être recoupé par un nombre suffisant de fissures.

L'écoulement suivra alors globalement la loi de Darcy généralisée :

$$\bar{V} \cdot \bar{n} = K(\bar{n}) \overline{\text{grad} \cdot \varphi}$$

avec $\bar{V}$: vecteur vitesse de filtration.

Cette loi applicable à un milieu anisotrope de direction d'anisotropie $\bar{n}$, de coefficient de perméabilité relative $K(\bar{n})$ dans la direction $\bar{n}$ se réduit à :

$$\bar{V} = -K \overline{\text{grad} \varphi}$$

dans le cas d'un milieu pouvant être considéré comme isotrope.

A Saint-Jean-du-Gard, le phénomène a été magnifiquement confirmé par l'observation des *niveaux d'eau dans les forages* (cf. pl. V) qui mettent en évidence une section P-P de la surface piézométrique (pouvant par raison de continuité, être considérée comme zonalement cylindrique, de génératrice parallèle à l'axe de la vallée pour chaque tronçon de celle-ci), répondant, à très peu près, à la loi de Darcy généralisée en milieu isotrope.

Quant à la valeur du coefficient de perméabilité relative « K », une approximation de sa valeur peut être tirée des essais Lugeon (en supposant une fissuration homogène). On peut en effet écrire en assimilant l'essai Lugeon à un essai Lefranc en terrain perméable en petit et en assimilant la cavité cylindrique à une poche ellipsoïdale :

$$Q = \frac{2 \pi L}{2,3026 \log 10 (2 L/d)} \cdot K \cdot (10 P) \quad (I)$$

Q : débit absorbé en m^3/s sous une pression de P (kg/cm^2) dans une portion de forage de longueur L , et de diamètre d , isolée par deux obturateurs. L étant grand devant d , K étant le coefficient de perméabilité relative en m/s , I peut s'écrire en exprimant Q en litres par minute :

$$Q (l/mn) = \frac{120\,000 \pi L}{2,3026 \log 10 (2 L/d)} \cdot K \cdot (10 P) \quad (I')$$

Les unités Lugeon U étant par définition égales au nombre de litres par minute, passant par mètre de forage, sous $P = 10 \text{ kg}/\text{cm}^2$, on a alors :

$$U = \frac{Q (l/mn)}{L \text{ mètres}} \quad (II) \quad \text{pour } P = 10 \text{ kg}/\text{cm}^2$$

d'où en remplaçant Q par sa valeur (I') :

$$U = \frac{12\,000\,000 \pi}{2,3026 \log 10 (2 L/d)} \cdot K \text{ m/s}$$

et :

$$K = \frac{2,3026 \log 10 (2 L/d)}{12\,000\,000 \pi} = 0,611 \cdot 10^{-7} \log 10 (2 L/d)$$

Les tranches de forage essayées à Saint-Jean-du-Gard, étant des tranches de 3 m et les diamètres de forage étant compris entre 0,066 et 0,116 m, le rapport $2 L/d$ varie donc, au plus, entre 6/0,110 et 6/0,066 et le terme $\log 10 (2 L/d)$ varie seulement entre 1,736 et 1,958.

D'où il résulte que l'équivalence en K d'une unité Lugeon, dans les gneiss fissurés de Saint-Jean-du-Gard, est approximativement comprise entre : $1,0 \cdot 10^{-7}$ et $1,2 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$.

Ceci veut dire que le coefficient équivalent de perméabilité relative K , varie à Saint-Jean-du-Gard entre :

$$60 \times 1,2 \cdot 10^{-7} = 7,2 \cdot 10^{-6} \quad \text{et } 0$$

(zones entièrement imperméables et d'absorption nulle).

L'examen des résultats reportés graphiquement sur la planche V, montre (voir aussi pl. IV, fig. 5) :

— son augmentation considérable dans les zones superficielles les plus décomprimées, K descendant rarement en dessous de 10 U

$$(K = 1,2 \cdot 10^{-6})$$

— sa valeur moyenne plus élevée et plus régulière dans les zones les plus anciennement altérées (hauts de versants, autour des sondages S 62 et SD 1 (20 U correspondant à $K = 2,4 \cdot 10^{-6}$) la profondeur de zone y étant voisine de 30 m (zone II, 2 : zone d'aération évidemment la plus altérée et la plus décomprimée);

— sa diminution dans la zone II b presque toujours noyée (K autour de $0,40 \cdot 10^{-6}$) et sa diminution dans les zones les plus profondes (cf. II c) dont le rôle de magasin ne date que du Quaternaire (ère de creusement de la vallée);

— son irrégularité dans le détail et l'importance de certaines zones broyées ou failles (on remarquera en particulier les U de l'importante zone broyée de la rive gauche, recoupée par SG 2 bis, et ceux de la zone faillée profonde, recoupée par SD 4, entre les cotes 175 et 180.

Ceci permet de comprendre le rôle drainant que peuvent avoir certaines de ces zones et, leur rôle dans la genèse des sources, quand elles recoupent la surface topographique en un point bas et, par exemple, en fonds de vallées. C'est ainsi que doivent être expliquées la plupart des sources de la vallée du Gardon et notamment la source qui alimentait en eau la Ferme d'Avignon.

Si l'on veut alors essayer de déterminer dans cette zone rocheuse, le volume relatif de vide, c'est-à-dire la porosité, il est évident que cette porosité varie ici dans l'ensemble comme la perméabilité, les zones à fissuration large étant à la fois les plus per-

méables et les plus poreuses. Ceci n'empêchant évidemment pas des « accidents » de porosité très élevée ou, au contraire, pratiquement nulles (zones massives de gneiss sain).

Si l'on assimile la maille polyédrique de fracturation à un cube (hypothèse simplificatrice) de côté L , de faces opposées F_1-F_4 , F_2-F_5 , F_3-F_6 , chaque couple de faces étant traversé par des fissures respectivement désignées par : f , f' , f'' la porosité m pourra s'écrire (en supposant les fissures planes et à faces parallèles, ce qui est le cas général) :

$$m = \left[\sum_{i=1}^{i=n} (f_i e_i + f'_i e'_i + f''_i e''_i) \right] \cdot L$$

Si l'on suppose pour simplifier d'une part que $L = 1$, d'autre part que le cube a été choisi selon la maille moyenne la plus faible du réseau de fissures, enfin que l'ensemble des fissures de chaque face est ramené à une fissure unique passant par le centre de la face et parallèle à un côté du cube et d'écartement moyen commun e , la porosité sera égale à $3e$. Or, on peut en examinant les affleurements rocheux, ou en mesurant les fissures d'éprouvettes spécialement taillées, avoir une idée du e moyen à choisir pour la zone d'affleurement considérée (évidemment entièrement décomprimée). On peut également imaginer d'après les carottes de sondage, l'ordre de grandeur du e moyen en profondeur, en le supposant non décomprimé.

A Saint-Jean-du-Gard de tels calculs amènent à trouver des porosités probables variant de 0 à $5 \cdot 10^{-2}$.

La porosité la plus fréquente étant dans les zones d'affleurement rocheux, voisine de $2 \cdot 10^{-2}$. Pour l'ensemble de la zone aquifère (zone II). Il semble qu'il faille descendre autour de $1 \cdot 10^{-3}$ sur une profondeur moyenne approximative de 40 m, ce qui représente pour un prisme de 1 m^2 de surface à l'affleurement, une capacité d'emmagasinement de 40 l d'eau et donc de 4 000 l pour une section de flanc de vallée de $100 \times 1 \text{ m}$.

Bien entendu, tous ces chiffres ne constituent que des ordres de grandeur mais n'en sont pas moins significatifs : une couche d'arène de 1 m^2 de surface et de 10 m d'épaisseur pourra, elle, contenir dans certains cas, plus de 4 000 l d'eau, c'est-à-dire plus de 100 fois plus.

Des enregistrements en cours de la courbe de tarissement de la source de la *Ferme d'Avignon* permettront, par intégration de cette courbe, de comparer ces chiffres avec la capacité d'emmagasinement de la zone drainée par cette source.

En régime d'équilibre le débit d'écoulement unitaire q de cette nappe de fissure (nappe cylindrique à substratum incliné) est donné par la formule de Kamenski ou mieux par celle de Tison. L'approximation des données rend suffisante la formule de Kamenski et d'ailleurs nous ne cherchons qu'un ordre de grandeur.

Pour la section de nappe comprise entre S G2 et S G3 par exemple, à perméabilité relativement forte, le calcul donne q voisin de 10 à 20 cm^3/s .

L'ordre de grandeur de l'écoulement unitaire par mètre de front de nappe est donc de quelques cm^3/s à quelques dizaines de cm^3/s au plus, ce qui est très

faible mais corroboré par l'observation des débits des sources pérennes et temporaires du fond de la vallée du Gardon.

Quoi qu'il en soit, et quelle que puisse être sa faiblesse, une véritable nappe de fissure existe donc dans cette zone II, drainée par l'entaille de la vallée du Gardon et donnant naissance à des écoulements temporaires ou pérennes, tel celui de la source de la *Ferme d'Avignon*.

3. Zone imperméable de base.

La zone II repose comme nous l'avons vu sur une zone (zone III) à fissures très généralement fermées et presque inaltérée, ce qui la rend pratiquement imperméable et lui fait jouer le rôle d'imperméable de base pour la zone précédente.

Zones d'épuisement du système aquifère.

L'épuisement du système aquifère résulte :

- de l'évaporation et de l'utilisation de l'eau par la végétation (surtout châtaigniers et chênes qui par leurs racines vont pomper l'eau souvent à des profondeurs de plus de 10 m);
- des écoulements temporaires et pérennes (sources) surtout sur les flancs de la vallée;
- du drainage de la nappe par le Gardon.

Le Gardon étant lui-même pérenne, une réserve existe toujours sous son lit (zone II c).

Conclusions générales

En conclusion, grâce aux études de reconnaissance du futur site de barrage de Saint-Jean-du-Gard, des observations relativement nombreuses et précises ont pu être effectuées sur une *nappe de fissure en terrain gneissique*. Ces observations confirment ce qui était déjà connu ou prévisible, pratiquement où théoriquement en pareil cas. Elles ont permis de préciser pour la zone considérée la géométrie et les caractéristiques du système aquifère et de la nappe contenue dans ce système. Elles ont démontré l'existence d'une zone fissurée et altérée de 35 à 40 m d'épaisseur, de base parallèle à la topographie, contemporaine du creusement de la vallée (quaternaire).

Du point de vue général, cette étude a montré l'intérêt dans les massifs gneissiques à pénéplanation ancienne : d'une part, des *zones arénisées*, d'autre part, des *gorges d'érosion entaillantes* à porosité et perméabilité augmentées par décompression des terrains, enfin l'intérêt de la recherche géologique des *accidents drainants* (zones de broyages et failles).

Du point de vue pratique, cette étude montre la possibilité d'augmenter les ressources en eau pour l'alimentation humaine (à l'échelle des habitations isolées) par creusement de galeries drainantes dans les flancs des vallées et gorges, du même type.

Bibliographie

- AVIAS (J.), (1963). — Aménagement des rivières cévenoles. Barrage de Saint-Jean-du-Gard sur le Gardon. Etude géologique (rapport inédit).
- CENTRE EXPÉRIMENTAL DE RECHERCHES ET D'ETUDES DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS (L'HERMINIER), (1962-1963). — Barrage de Saint-Jean-du-Gard. Etude du Rocher de Fondation. Essais géotechniques (rapport inédit).
- SCHNEEBELI (G), (1966). — Hydraulique souterraine. Eyrolles, Paris.
- SERVICE DES PONTS ET CHAUSSÉES DU GARD (1963.) — Aménagement des rivières cévenoles. Barrage de Saint-Jean-du-Gard sur le Gardon (rapport inédit).
- SOLÉTANCHE (1962-1963). — Aménagement des rivières cévenoles. Barrage de Saint-Jean-du-Gard. Campagne de reconnaissance 1962-63 (rapport inédit).
- SOLÉTANCHE (CHADEISSON R.), (1966). — Correspondance entre la « perméabilité » K et les unités Lugeon (note inédite).

Commentaire

Président : M. BOURGIN

Avant de donner la parole à M. AVIAS, M. le Président rappelle que des crues catastrophiques ont eu lieu, notamment en 1957, dans le bassin du Gard ou des Gardons, où, par suite du régime des pluies dans les Cévennes, les gonflements sont toujours très rapides. C'est pourquoi le département du Gard a établi un programme d'une douzaine de barrages de types spéciaux, pour la retenue des crues. C'est un de ces sites de barrages que M. AVIAS a examiné avec l'œil du géologue.

M. le Président remercie ensuite M. AVIAS pour la présentation de la communication extrêmement intéressante, à la fois par l'essai d'histoire géologique de la vallée et du massif dans lequel elle a été creusée, par les transformations ultérieures que la roche a subies et enfin par l'essai de relier les coefficients habituels (coefficients de porosité, de perméabilité ou coefficient de Lugeon).

Il est intéressant de voir qu'à partir du moment où une fissuration devient assez générale, elle permet de considérer le milieu comme devenant isotrope.