

APPORT DE L'ANALYSE PIEZOMETRIQUE DANS L'ETUDE DES FUITES DU BARRAGE VOUTE A ASSISES CALCAIRES DE FOUM EL GHERZA, BISKRA, ALGERIE

A. LABADI⁽¹⁾ & S. ACHOUR⁽²⁾

⁽¹⁾ Laboratoire d'aménagements hydrauliques et environnement. labadi@univ-biskra.dz

⁽²⁾ Laboratoire de recherche en hydraulique souterraine et de surface
Université Mohamed Khider - Biskra, Algérie

RESUME

Le barrage voûte de Foum El Gherza (Algérie) a été construit dans les années 50 dans une région calcaire caractérisée par un climat aride à semi aride. Une étude dans les années 60 a estimé les pertes par fuites entre 2 Millions et 10 Millions de m³ et a mis en évidence une loi puissance entre la côte d'eau par les débits des fuites. En moyenne l'infiltration est de 5 Millions de m³, ce qui est énorme si l'on considère que le barrage n'apporte qu'une ressource en eau de l'ordre de 13 Millions de m³ par an.

Les sondages de reconnaissances, par l'observation des carottes et la mesure des pertes d'eau en cours de forage, ont confirmé que l'assise calcaire du Maestrichtien était fissurée sur toute son épaisseur (100m). Cet état de fait a nécessité la réalisation d'un écran d'étanchéité jusqu'au substratum marneux et décomposé en un voile sous le barrage et la culée, un voile au large rive gauche et un voile au large rive droite.

Un dispositif de piézomètres (Amont - Sur voile - Aval) et de points de jaugeage des fuites a été mis en place dans le but de contrôler les circulations et l'état du rideau d'étanchéité.

Le présent travail repose sur l'analyse de la variation des niveaux piézométriques et des débits de fuite en fonction de la côte du lac comme éléments d'auscultation et de surveillance du barrage.

En effet, l'étude a permis de mettre en évidence l'existence de directions privilégiées de circulation des eaux au sein du massif calcaire avec une variation spatiale du degré de fissuration. L'augmentation spatio-temporelle des débits de fuite depuis la réalisation du barrage démontre que le voile d'étanchéité ne joue plus son rôle.

Néanmoins, la circulation d'eau dans les calcaires ne risque pas de compromettre la stabilité de l'ouvrage, mais risque de rendre illusoire l'étanchéité de la retenue.

Mots-clés : Barrage, fuite, milieu fissuré, calcaire, piézomètre, écran d'étanchéité

1 INTRODUCTION

Le dispositif d'auscultation d'un barrage doit être conçu dès l'établissement du projet. Beaucoup d'appareils d'auscultation sont installés pendant le chantier de construction. Mais l'auscultation et la surveillance d'un barrage reste vivante : certains appareils seront abandonnés, de nouveaux doivent être installés.

Malheureusement, ceci n'est pas le cas du barrage Foum El Gherza qui souffre énormément du manque de moyens de contrôle et de rénovation.

Hormis la surveillance par les moyens topographiques, la presque totalité du matériel d'auscultation est inexploitable :

- Sur la centaine de piézomètres en service en 1958, seule une vingtaine le sont toujours ;

- Sur la vingtaine de points de jaugeage des fuites, seuls quelques endroits le permettent pour le moment ;
- Suite à l'envasement continu de la cuvette et le non dévasement, la capacité de la retenue qui était de 47 hm³ en 1950 est passée à 35 hm³ en 1967 pour approcher difficilement la dizaine actuellement ;

Les seuls paramètres qui ont été observés dans le temps sont la piézométrie, le niveau d'eau dans le lac et les débits de fuite avec le plus souvent des interruptions. Ce n'est qu'à partir des années 90 que des mesures hebdomadaires ont été prises sur les piézomètres qui sont restés en service et sur les points de jaugeage lorsque ces derniers ne sont pas envasés ou détruits par les crues de l'oued.

L'analyse de ces données constitue un atout indispensable dans le suivi du comportement hydraulique du barrage et offre un champ d'investigation spatio-temporelle très important.

2 CHOIX DE LA PERIODE DE MESURE

La période de mesure s'étale de 2000 à 2004. Ce choix a été guidé par le fait suivant : nous savons qu'à une cote donnée du lac, correspond un volume d'eau et une surface de la retenue bien déterminés. Alors que, dans le barrage Fom El Gherza, ces deux paramètres n'ont cessé de diminuer dans le temps suite à l'envasement continu de la retenue, à tel point qu'une charge du plan d'eau en une année ne correspond plus au même volume quelques années plus tard. D'une autre manière, la pression exercée par un volume d'eau sur les parois et la voûte du barrage n'est pas toujours la même pour une hauteur en eau.

De ce fait, l'étude de la variation de la piézométrie ou des fuites en fonction de la hauteur du plan d'eau ne peut se faire d'une manière correcte que si elle prend en considération la variation du volume en eau d'une période à une autre. Cette variation est bien sûr fonction du degré d'envasement du barrage.

Pour cette raison, nous avons écourté la période d'observation sur quatre années pour ne pas avoir une très grande variation dans les volumes d'eau de la retenue et par la suite une variation de la pression exercée par l'eau sur les rives de la retenue.

3 GEOLOGIE DU SITE DU BARRAGE

Les différents étages et faciès rencontrés sont les suivants :

Le Campanien inférieur, représenté par une alternance de grosses dalles calcaires et de marnes sous forme d'un dôme allongé E.N-E – W.S-W au centre de la retenue du barrage.

Le Campanien supérieur formé de schistes et marnes schisteuses bleues en profondeur et jaunes verdâtres aux affleurements (niveau imperméable).

Le Maestrichtien est représenté par des calcaires cristallins, peu argileux et fissurés. Ces calcaires alimentent les sources de Drauh, Bir Bou Soudane à l'Ouest et de Guarta au Sud Est.

Le Miocène repose en discordance sur le Crétacé. Ce sont, d'une part, les poudingues rouges et plus au Nord des alternances de marnes rouges, de grès de marnes gypseuses et de calcaire à silex.

Les calcaires du Maestrichtien, immédiatement situés sous les alluvions de l'oued, servent d'assises au barrage. Leurs strates, très épaisses, offrent un pendage vers le sud de 20% environ. Très résistantes, elles constituent d'excellentes assises tant sous le lit de l'oued qu'aux ancrages. Leur ensemble, très rigide, d'une centaine de mètres de puissance, repose sur les marnes campaniennes (figure. 1 et 2).

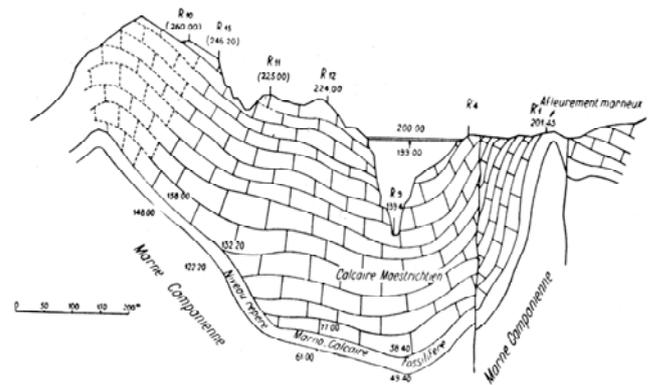


Figure 1 : Coupe géologique



Figure 2 : Rive droite

Les calcaires sont fissurés sur toute leur épaisseur donc perméables. Sur les premiers mètres les fissures sont souvent bourrées d'argile, mais elles sont ouvertes en profondeur jusqu'au contact avec les marnes campaniennes où elles sont à nouveau colmatées par de l'argile plastique. Cette particularité a nécessité la réalisation d'un écran d'étanchéité sous le barrage, au large rive gauche et au large rive droite (figure 3).

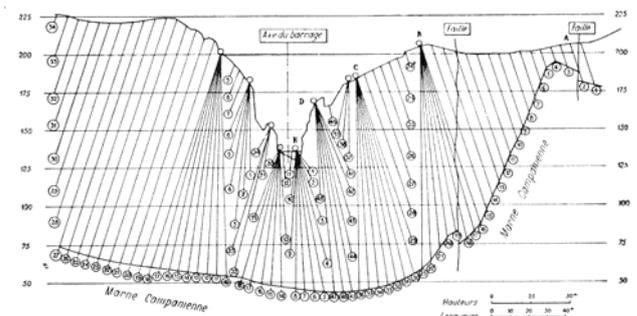


Figure 3 : Voile d'étanchéité du barrage

4 LA PIEZOMETRIE

Quelque soit le type de barrage, sa fondation et ses appuis subissent des pressions dues à l'écoulement de l'eau à travers le rocher. Elles peuvent être quantifiées localement à l'aide de piézomètres.

Parmi les piézomètres du barrage Foum El Gherza qui possèdent une série complète de mesures avec peu de lacune pendant la période choisie pour notre étude (2000-2004) notre choix s'est porté sur les points présentés sur le tableau.1.

Cette disposition des piézomètres (Amont-sur voile-aval) nous permet d'avoir une idée sur le degré de fissuration de la roche ainsi que l'état du voile d'étanchéité. Malheureusement nous n'avons pas trouvé un piézomètre aval sur la rive droite qui possède une série d'observation homogène.

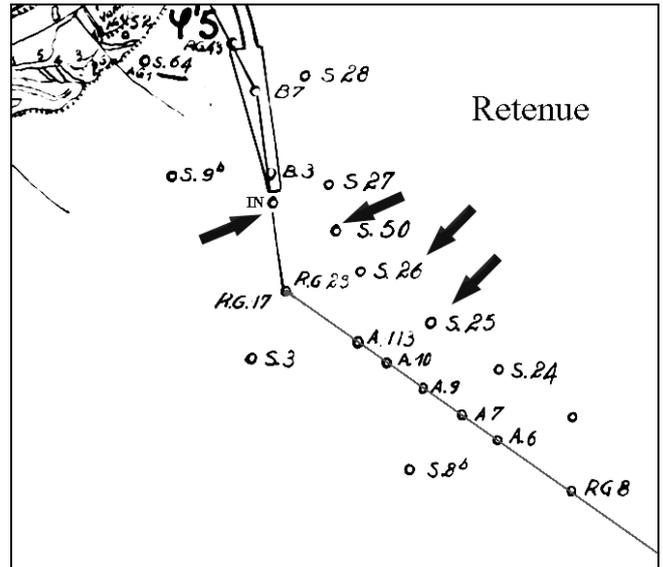


Figure 4 : Situation des piézomètres rive gauche.

Tableau 1 : Piézomètres pris en compte pour l'étude (période 2000-2004).

Rive gauche	Amont	S25
		S26
		S50
	Sur voile	IN
Aval		S64
		S9b
		S32
Rive droite	Amont	S36
		S42
	Sur voile	RD18N
	Aval	-

4.1 La rive gauche

Les trois piézomètres à l'amont du voile d'injection, à savoir le S25, S26 et le S50, ont une profondeur respective de 35.35m, 55m et 60m. N'étant pas trop éloignés les uns des autres (figure.4), nous pouvons nous attendre à ce que leurs courbes respectives représentant la variation de la hauteur piézométrique en fonction du niveau d'eau dans le lac ($H_p = f(H_{lac})$) soient confondues. Ceci est vrai si le milieu était continu, ce qui n'est pas le cas puisque nous sommes en présence de roches carbonatées fissurées.

La discontinuité des calcaires du Maestrichtien, est le fruit de la variabilité de la distribution, du nombre et des profondeurs des fractures dans le massif rocheux. Les débits de circulation sont en relation avec le degré d'ouverture et l'intercommunication des fissures dans l'ensemble du réseau. Dans de tels milieux, chaque piézomètre peut être considéré comme un cas particulier.

Nous pouvons constater sur les représentations graphiques, année hydrologique par année hydrologique, de la variation du niveau piézométrique en fonction du niveau de la retenue (figures 5, 6, 7 et 8) que l'allure des courbes des deux premières années est sensiblement différente de celles des années qui suivent. Ceci est dû au fait que les deux premières représentent une période de moyennes eaux et que les deux suivantes représentent une période de hautes eaux.

Dans le souci d'étudier le comportement des piézomètres sur les deux périodes et par la même occasion sur les quatre années, nous avons estimé qu'il serait plus intéressant de représenter l'ensemble des années sur un seul graphe (figure.9). La présence des quatre piézomètres sur la même figure permet de comparer le comportement de chacun par rapport à l'ensemble. Nous pouvons remarquer ce qui suit :

- Le parallélisme entre les différentes courbes.
- La superposition presque parfaite entre les points du S25 et ceux du S26 ; ceci suggère un comportement hydrodynamique identique des deux piézomètres qui résulte du même degré de fissuration.
- Le fait marquant sur la figure 9 est les deux ruptures de pente pour l'ensemble des piézomètres. La première se manifeste à une hauteur du plan d'eau dans la retenue égale à **190.5 m**, au-delà de cette valeur nous assistons à une diminution de presque 7 fois la valeur de la pente initiale. La seconde à une charge de **197m**.

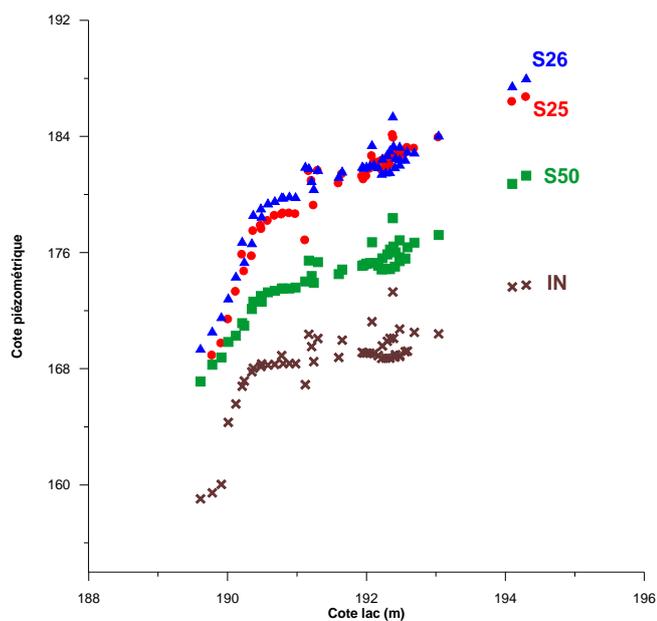


Figure 5 : Variation du niveau piézométrique en fonction du niveau d'eau dans la retenue (période 2000-2001).

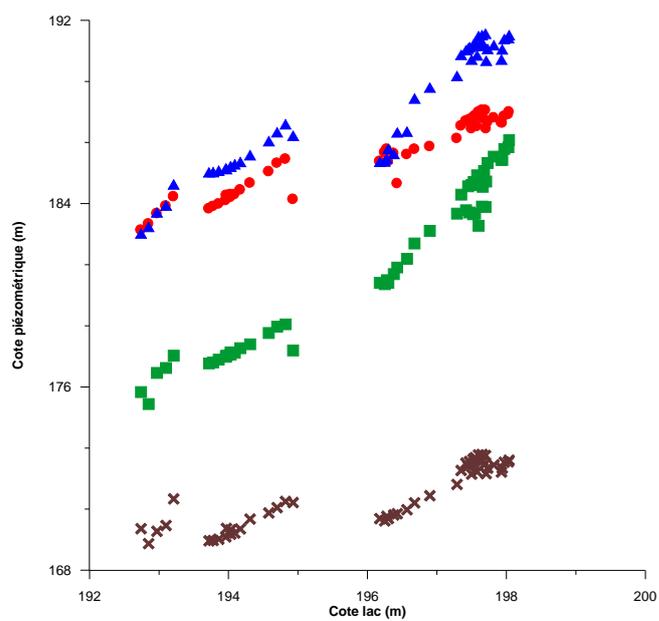


Figure 7 : Variation du niveau piézométrique en fonction du niveau d'eau dans la retenue (période 2002-2003).

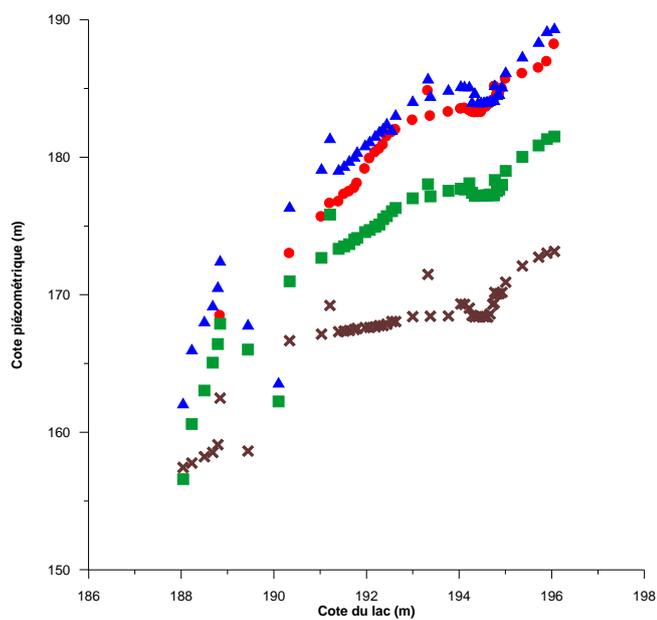


Figure 6 : Variation du niveau piézométrique en fonction du niveau d'eau dans la retenue (période 2001-2002).

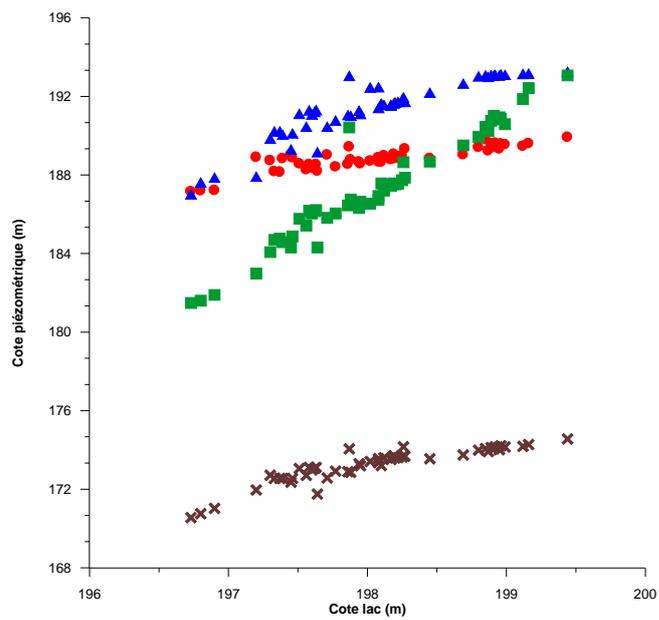


Figure 8 : Variation du niveau piézométrique en fonction du niveau d'eau dans la retenue (période 2003-2004).
Rive gauche, (▲ S26, ● S25, ■ S50, × IN)

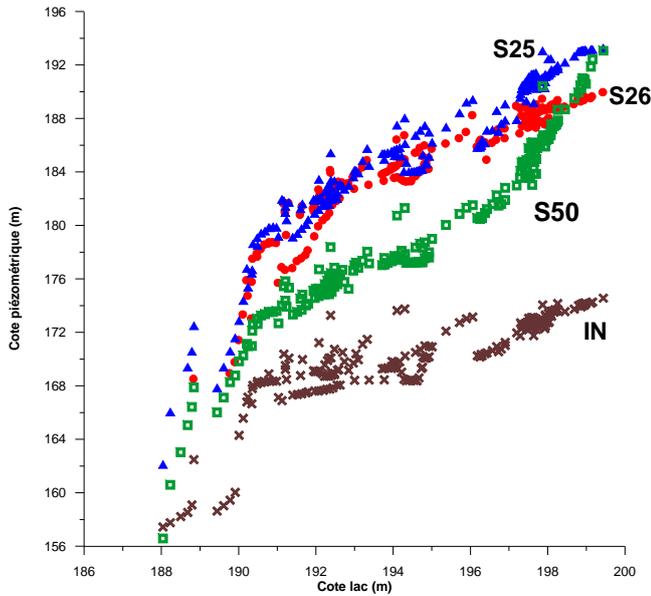


Figure 9 : Variation du niveau piézométrique en fonction du niveau d'eau dans la retenue. Rive gauche, période 2000-2004

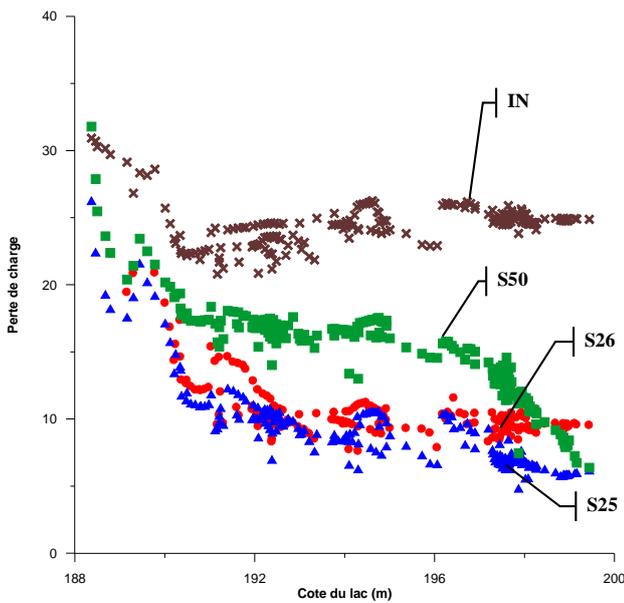


Figure 10 : Perte de charge en fonction de la cote du lac

La variation de la pente indique que nous sommes en présence d'une évolution de la fissuration du massif calcaire en fonction de la hauteur du plan d'eau dans la retenue. Il semble que les niveaux entre la cote 190.5m et 197m présentent une fissuration très importante.

Pour vérifier cette hypothèse, nous avons adopté une deuxième représentation qui tient compte de la variation de la perte de charge en fonction du niveau du lac (figure.10). Cette perte de charge n'est autre que la différence de charge entre la retenue et les piézomètres : plus les dimensions et le nombre des fissures diminuent et plus les pertes de charge augmentent.

A partir de cette évidence, nous pouvons avancer que la partie du massif calcaire dont la cote est inférieure à 190.5 m possède une faible fracturation, ainsi que celle au-dessus de 197m. Cette fracturation augmente d'une façon extraordinaire entre les deux niveaux sus indiqués. Quant au piézomètre sur le voile d'injection (IN), celui-ci présente les pertes de charges les plus élevées impliquant une fissuration la moins dense. Ce qui nous permet de dire que l'écran d'étanchéité de la rive gauche joue plus ou moins son rôle vis-à-vis de la réduction de la circulation de l'eau souterraine.

4.2 La rive droite

Les piézomètres pris en considération sont présentés dans le tableau.2 et la figure 11. Les piézomètres situés à l'aval de l'écran d'étanchéité sont soit bouchés ou trop profonds pour la sonde.

Tableau 2 : Caractéristiques des piézomètres de la rive droite

N°	Position	Profondeur (m)	Diamètre (mm)	Cote d'orifice	Direction
S32	Amont	95	65/75	227.67	Vertical
S36	Amont	100	65/75	228.89	Vertical
S42	Amon	120	65/75	253.65	Vertical
RD18N	Sur voile	90	75	221.1	Vertical

De la même façon que pour la rive gauche (figure.11), nous retrouvons un parallélisme entre les courbes des sondages amont, une rupture de pente qui se manifeste cette fois-ci à une hauteur de la retenue que nous estimons à 192 m et enfin une superposition entre le S32 et le S42. Ces trois phénomènes nous amènent à tirer les conclusions suivantes :

- La région captée par le piézomètre S36 possède une fracturation plus développée que les autres endroits ;
- Malgré l'éloignement entre le S32 et le S42, leurs courbes respectives présentent une superposition presque parfaite. Les deux piézomètres réagissent de la même façon à la variation de la hauteur du plan d'eau dans la retenue, comme s'ils se trouvaient sur la même fissure ou le même réseau de fissure.

En ce qui concerne le RD18N (sur voile) et si nous ne tenons pas compte des points qui, à notre avis, paraissent superflus, nous pouvons avancer que le rideau d'étanchéité semble être insensible aux variations de la charge du plan d'eau jusqu'à la hauteur de 195 m où l'on observe une augmentation des niveaux d'eau. Ceci peut être expliqué par le fait que la zone captée par le piézomètre reste, par suite d'un colmatage des fissures, en dehors de la zone d'influence de la retenue jusqu'à la hauteur 195m où des

venues d'eau commencent à se manifester.

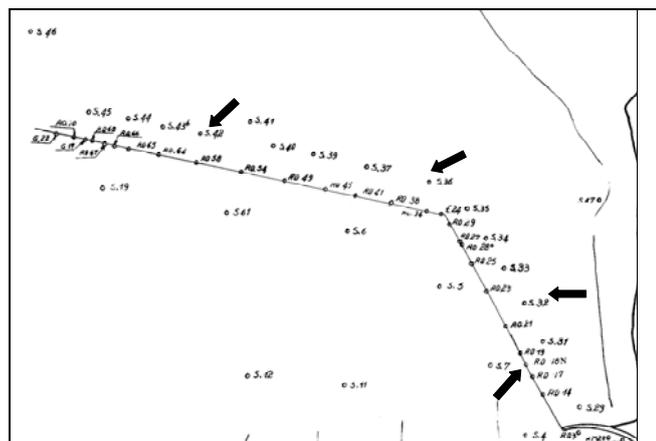


Figure 11 : Situation des piézomètres rive droite

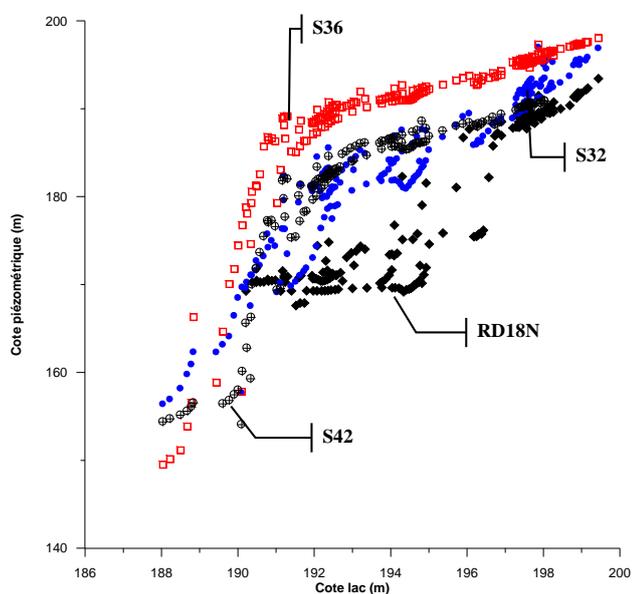


Figure 12 : Variation du niveau piézométrique en fonction du niveau d'eau dans la retenue. Rive droite, période 2000-2004

4.3 La partie aval

Nous n'avons trouvé que deux piézomètres qui fonctionnent correctement à l'aval du barrage (figure.13), aux autres points les piézomètres sont colmatés.

D'après les caractéristiques des deux piézomètres qui figurent sur le tableau.3, nous pouvons constater que leurs côtes respectives sont au-dessous du niveau des basses eaux enregistrées dans le barrage.

Le caractère non jaillissant des deux piézomètres, nous laisse penser que leur alimentation ne se fait pas sous le corps du barrage mais après contournement à travers la rive gauche. De plus, la variation du niveau piézométrique semble être indépendante de la variation de la hauteur d'eau

dans la retenue (figures 14 et 15). Ceci est valable pour des charges inférieures à 197 m, au-delà de cette valeur nous assistons à la naissance d'un alignement des couples de points suivant une pente plus ou moins forte. Comme il a été souligné auparavant, une forte pente suggère une faible fissuration.

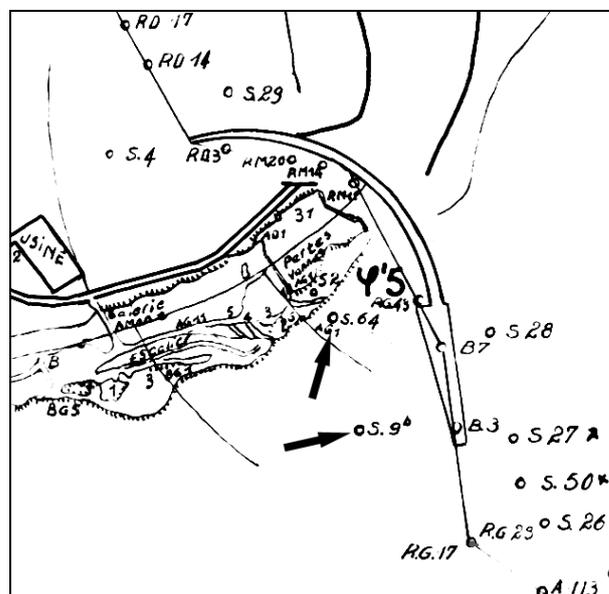


Figure 13 : Situation des piézomètres aval, rive gauche

Tableau 3 : Caractéristiques des piézomètres aval

N°	Position	Profondeur (m)	Diamètre (mm)	Cote d'orifice	Direction
S9b	Aval	55	100/110	186.05	Vertical
S64	Aval	30	30/40	157.83	Vertical

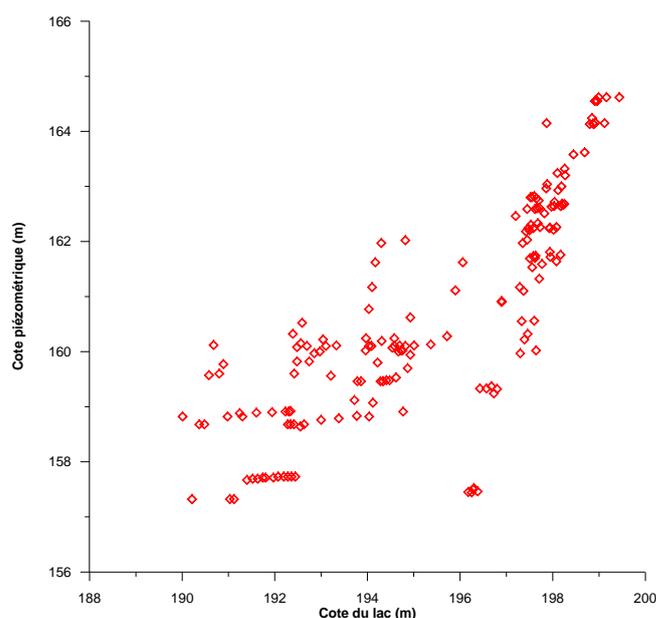


Figure 14 : Variation du niveau piézométrique de S9b en fonction du niveau d'eau dans la retenue

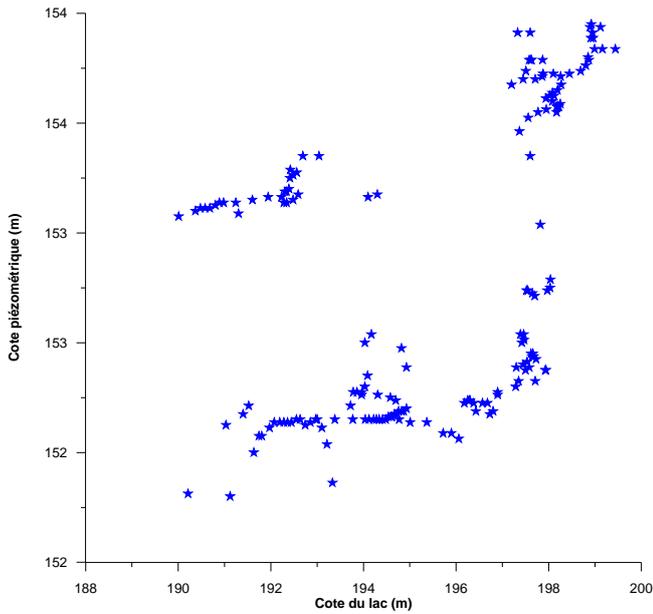


Figure 15 : Variation du niveau piézométrique de S64 en fonction du niveau d'eau dans la retenue

4.4 Comparaison entre rive gauche et rive droite

D'après la figure 16, il apparaît que les zones traversées par les piézomètres S42, S32, S25 et S26 présentent plus ou moins le même degré de fissuration et se comportent d'une façon presque identique aux variations de charge de la retenue. Par contre, les piézomètres S36 et S50 possèdent respectivement les pertes de charges les moins élevées et les plus élevées. En effet, le S36 se trouve dans la zone la plus fracturée du massif et le S50 capte la zone la moins fissurée.

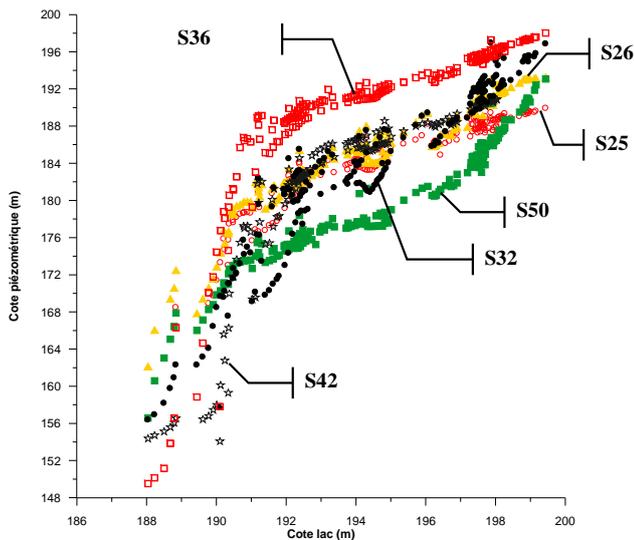


Figure 16 : Comparaison entre les piézomètres rive droite-rive gauche

4.5 Comparaison entre les deux voiles

Les deux piézomètres représentant les deux voiles, à savoir le IN (voile gauche) et le RD18N (voile droite) montrent un comportement différent l'un par rapport à l'autre. Nous pouvons constater sur la figure 17 que le RD18N a une pente beaucoup plus importante que celle du IN. Ceci implique une fissuration moins élevée et de ce fait le voile de la rive droite paraît être plus étanche que celui de la rive gauche.

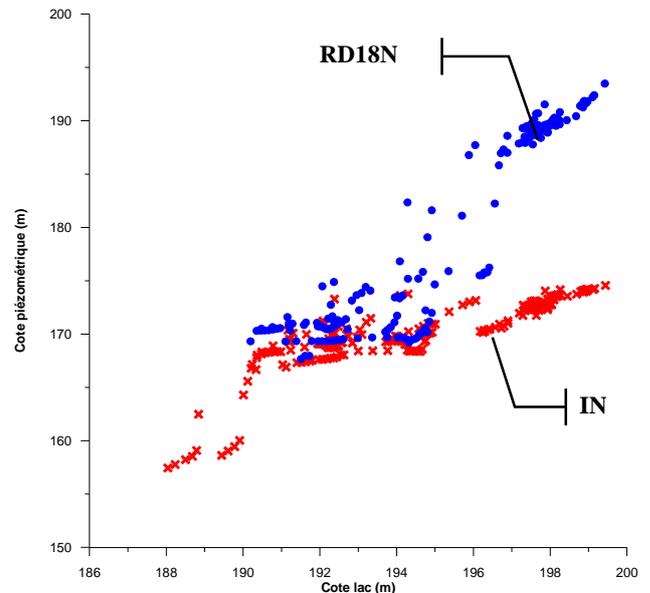


Figure 17 : Comparaison entre les piézomètres voile rive droite-voile rive gauche

5 LES FUITES

Il est évident que l'un des problèmes majeurs qu'on rencontre lors de la construction d'un barrage sur des terrains carbonatés fissurés et l'étanchéité de la cuvette. Les fuites les plus importantes à partir de la retenue correspondent à des circulations empruntant des réseaux de drainage naturel préexistants. Les débits de fuites sont limités par les pertes de charge qui peuvent se produire dans toute la masse du massif calcaire.

Inversement, à charge hydraulique égale, les débits peuvent augmenter s'il y a diminution des pertes de charge à la suite de modifications géométriques et morphologiques des fractures. Ces modifications peuvent avoir deux origines ;

- Erosion ou entraînement des matériaux de colmatage
- Erosion chimique ou mécanique de la matrice rocheuse

L'étude de la variation du débit de fuite au niveau du canal (figure.18) montre clairement que les pertes en eau augmentent fortement avec la charge et ceci pour une cote du lac à environ 190 m.

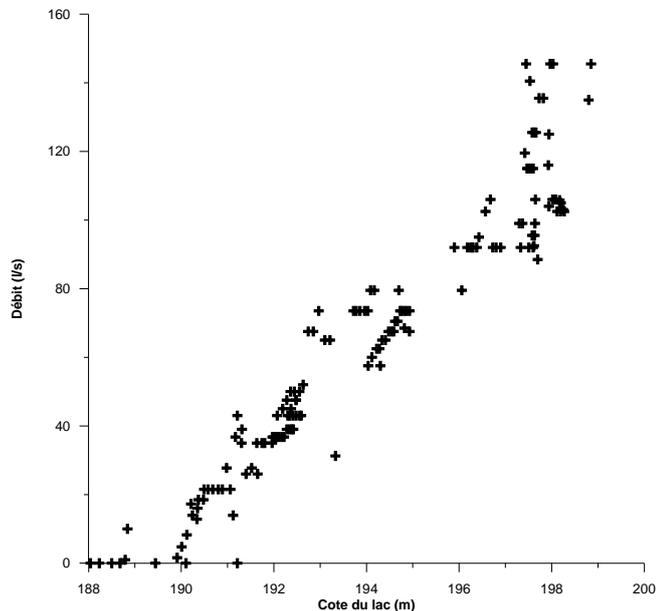


Figure 18 : Variation des débits de fuite en fonction de la cote de la retenue. Rive droite

6 CONCLUSION

Il est évident qu'après plus de cinquante années de service, cette œuvre d'art mérite beaucoup plus d'intérêt et de considération et les services chargés de son exploitation un peu plus de moyens pour diagnostiquer, observer, vérifier, confronter les résultats pour une meilleure gestion.

L'étude de la relation niveau piézométrique-côte de la retenue nous a permis de mettre en évidence l'existence d'une relation très prononcée entre la retenue et les différents piézomètres. Ainsi, les résultats suivants ont été retenus :

- la rive gauche est plus fissurée que la rive droite,
- l'écran d'étanchéité ne joue plus son rôle de voile étanche,
- l'écran d'étanchéité de la rive droite laisse passer moins d'eau que celui de la rive gauche,
- Il existe des directions privilégiées de circulation des eaux au sein du massif calcaire avec une variation spatiale du degré de fissuration.

Ceci dit, nous pouvons avancer que nous sommes en présence de chenaux d'écoulement continu dans lequel l'eau va s'écouler de l'amont vers l'aval en prenant une direction NE-SW. Cette direction n'est autre que la direction de l'accident sud atlasique

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- [1] CASSAN M. (1980). Les essais d'eau dans la reconnaissance des sols. Editions Eyrolles.
- [2] CEMAGREF (1994). Sécurité des barrages en services. Session de formation continue. Montpellier, 25-28mai 1993. CEMAGREF Editions.
- [3] REISS L.H. (1980). Réservoir engineering en milieu fissuré. Publications de l'institut Français du pétrole. Edition Technip.
- [4] ROYET P. (1994). La surveillance et l'entretien des petits barrages -guide pratique. CEMAGREF Editions.
- [5] THEROND R. (1973). Recherche sur l'étanchéité des lacs de barrages en pays karstique. Edition Eurolles.N016.
- [6] Barrage de Foul El Gherza (1967) – « Texte ». Monographie des grands barrages. Alger.
- [7] Archive de l'Agence Nationale des Barrages – Direction de Biskra