

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mohamed khider –Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie civil et d'Hydraulique
Référence :/2019



جامعة محمد خيضر بسكرة
كلية العلوم و التكنولوجيا
قسم الهندسة المدنية و الري
المرجع/2019

Mémoire de Master

Filière : HYDRAULIQUE

Spécialité : OH

Thème

Etude des fuites au niveau du barrage Foug El Gherza

Nom et Prénom de l'étudiant :
KHMOULI Amor

Encadreur : BEN MEBAEK Naima

Promotion Juillet 2019

REMERCIEMENT

Je remercie en premier lieu mon dieu qui m'a donné le courage et la volonté afin de poursuivre de l'étude en poste graduation

Je tiens à adresser mes sincères remerciements et grand respect à mon encadreur Madame BENMBAREK Naima

Je tiens remercier vivement Monsieur DJEDRI Toufik, Monsieur BOUZAINÉ Mohamed Toufik Monsieur et Monsieur Ahmed OUAMAN.

Qu'ils ont porté à ce travail en acceptant de faire partie du jury pour l'examiner

Je tiens à remercier infiniment les responsables de l'ANBT.

Je remercie tous ma collègues et amies qui m'ont soutenue et m'ont encouragé pour accomplir ce travail.

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué au succès de mon travail et qui m'ont aidée lors de la rédaction de ce mémoire.

Je remercie également toute l'équipe pédagogique de l'université de BISKRA

Mes parents, pour leur soutien constant et leurs encouragements.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à mes parents pour leur sacrifice

Ma femme SANA et mes enfants

Mohamed Toufik et Taki eddine

Toutes mes amies

Tous les enseignants du département Hydraulique

Université de Biskra

Mr: Amor Khmouli

الملخص :

تتمثل المهمة الرئيسية للسد في تكوين احتياطي مائي ، لذلك فمن الواضح أن هذه الهياكل يجب أن تظل مانعة لتسرب المياه. تم إنشاء سد فم الغرزة على وادي الأبيض منذ حوالي سبعين عامًا ، في موقع معيب ومشقق مساعد على التسريبات ، في حين أن ظهور التسريبات في السد يمكن أن يكون له عواقب وخيمة لعدة أسباب: زيادة الضغوط المائية، تدهور ظروف الاستقرار و تآكل داخلي يمكن أن يؤدي إلى الإنهيار وفقدان سعة التخزين. في هذا السياق ، يركز عملنا المتواضع على اكتشاف التسريبات خلال سد الغرزة، أساساته و ضفافه و جهته السفلية باستخدام نتائج المتابعة والمراقبة. لقد بحثنا أيضًا في أصل التسريبات وتحديد الكمي لاقتراح التوصيات النهائية بناءً على الملاحظات والقياسات.

الكلمات المفتاحية: الهياكل الهيدروليكية ، التسمع ، التسريبات ، السد ، فوم الغرزة ، مقياس الضغط ،

Résumé :

La fonction principale d'un barrage est de constituer une réserve d'eau, il est donc évident que ces ouvrages doivent être et demeurer étanches. Le barrage de Fom El Gherza est implanté sur l'oued Abiod depuis mille neuf cent cinquante, sur un site faillé et fissuré favorisant les fuites alors que leur apparition dans un barrage peut avoir des conséquences néfastes à plusieurs titres : augmentation des pressions interstitielles et détérioration des conditions de stabilité, érosion interne pouvant aboutir à la rupture et perte de capacité d'emmagasinement. Dans ce contexte, notre modeste travail porte sur la détection des fuites à travers le barrage de Fom El Ghorza, sa fondation, ses rives et à son aval en utilisant les résultats de l'auscultation et de la surveillance de notre ouvrage. On s'est intéressé aussi à l'origine des fuites et à leur quantification pour proposer à la fin des recommandations basées sur les observations et les mesures.

Mots clés : ouvrages hydrauliques, auscultation, fuites, barrage, Fom El Gherza, piézomètre,

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction Générale 1

Chapitre I : Surveillance des barrages

I.1 introduction 2

I.2 Objectif et définition 2

I.3 Surveillance sans instrumentation 3

I.3.1 Surveillance de zone de fuite 3

I.3.2 Surveillance des tassements et des fissures 4

I.3.3 L'inspection a l'occasion des crues 4

I.4. L'auscultation des barrages 5

I.4.1 Les déplacements superficiels 5

I.4.2 Les déformations internes 7

I.4.2.1 Appareils de mesure des tassements 7

I.4.2.1.1 Tassomètre magnétique 7

I.4.2.1.2 : Tassomètres a butée 8

I.4.2.1.3 : Tassomètres cross-Arms 9

I.4.2.1.4 : Tassometres hydrostatiques 9

I.4.2.1.5 : Clinomètre a cordes vibrantes 10

I.4.2.2 : Mesure des déplacements par pendule	11
I.4.2.2.2 : Le pendule inverse	13
I.4.2.3 : Mesures de déformations internes du béton	13
I.4.2.4 : Contrôle des joints et fissures	14
I.5 : L'inspection à l'occasion des séismes	15
1.5.1 L'intervention au niveau du Barrage	16
1.5.2 Autorités locales	16
1.5.3 Dispositifs de prévention et d'alerte	16
1.5.4 Plan d'alerte en cas de rupture du Barrage	16
I.6 Automatisation Des Mesures D'auscultation	16
I-7 Conclusion	18

Chapitre II: présentation du barrage Foug El Gherza

II-1 introduction	19
II-1 .1 Historique de la construction du barrage Foug El Gherza	19
II.2 Description du bassin versant	20
II.3 Géologie du bassin versant	23
II-5 Géologie du site du barrage	24
II-.5.1 Le Campanien inférieur	24
II.5.2 Le campanien supérieur	24
II.5.3 le maestrichtien	25
II.5.4 Le miocène	25

II.6 Etanchement des terrains	26
II.6.1 Les travaux d'étanchéité ont été effectués en trois phases	27
II.7 les moyens d'auscultation du barrage de Foum El Gherza	30
II.7.1 Introduction	30
II.7.2 Déplacements superficiels	30
II.7.3 Echelle limnométrique	31
II.7.4 pendule direct	32
II.7.5 Extensomètre	32
II.7.6 Etat des joints	32
II.7.7 Piézomètres	33
II-8 Conclusion	36

Chapitre III: Analyse des fuites du barrage Foum El Gherza

III-1 Introduction	37
III-2 Aperçu sur le programme élaboré	37
III- 3 présentation de réseau piézométrique	37
III-3-1 Dentition	38
III-3-2 Type d'appareils de piézomètre	38
III-3-2-1 Le tube crépine	38
III-3-2-2 Le piézomètre à volume constant	39
III-4 Différents types des piézomètres	39
III-4 -1 La piézométrie	41

III-4.2 Répartition La piézométrie dans le Barrage	42
III-4-3 Présentation du réseau étudié	43
III-5 Historique des piézomètres	44
III-5-1 Présentation et interprétation des résultats	45
III -6 Les fuites	46
III-6.1 Historique des fuites	46
III -6.2.Les différentes nature des fuites	48
III -6.2.1. Fuites a travers le béton et la voute	48
III -6.2. 2 Fuites de la vanne de fond	48
III -6.2.3 Fuites a Travers le massif calcaire	48
III-7 Les drains	48
III-8. Le réseau de jaugeage	49
III-9 Mesures de fuite	50
III- 10 Périodicité des mesures d'auscultation	56
III-11 Analyse des données des fuites pour 1997,2007 et 2007	56
III-11 -1 Bilan Hydraulique Annuel année 2012/ 2013	57
III-11 -2 Bilan Hydraulique Annuel année 2009/ 2010	59
III-12 Conclusion	59
Conclusion générale	

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 : Surveillance par moyens topographique	6
Figure I.2 : Voyant topographique P. Royet - Irstea - G2DR	6
Figure I.3 : Piliers d'observation	7
Figure I.4 : Tassomètre magnétique Source : sisgeo.com	8
Figure I.5 Tassomètre cross-arms Source: CFMS_Briancon.com	9
Figure I.6 Tassomètres hydrostatiques ; Source : Sis geo.com	10
Figure I.7 : Clinomètre à cordes vibrantes, Source : itmsol.com	11
Figure I.8 : Pendule avec mesure en Z. ; (Photo G. Degoutte - Irstea - G2DR)	12
Figure I.09 : Pendule direct :(Photo Irstea - G2DR).	12
Figure I.10 : Pendule inverse ; Sis geo.com	13
Figure I.11 Extensomètre à corde vibrant ; Sisgeo.com	13
Figure I.12 : Contrôles d'une fissure à l'aide d'un pied à coulisse	14
Figure I.13 : Contrôles d'une fissure à l'aide de Vinchon	15
Figure II.1 : Figure II.1 : L'amont du Barrage Foum El Gherza (Google EARTH)	22
Figure II.2 : Carte géologique du bassin versant de l'oued El Abiod (DHW Biskra)	24
Figure .II.3 : Coupe géologique (photo du plan)	26
Figure II.4 : Coupe géologique (photo par cliché)	27
Figure II.5 : Rive droite	28
Figure II.6 : Fracturation des appuis du barrage	29
Figure II.7 : Ecran d'étanchéité du barrage Foum El Gherza	30
Figure II.8 : les différentes phases de l'écran d'étanchéité	31
Figure II.9 : Repère topographies	32
Figure II.10 : Echelle limnimétrique du barrage Foum El Gherza	33
Figure II.11 : Fuites aux niveaux des joints et opération d'étanchement de la voûte.	34

Figure II.12: Carte de répartition des piézomètres (ANBT)	35
Figure II.13 : mesure la profondeur de piézomètre	36
Figure III.1: Coupe schématique d'un piézomètre (KRUSEMAN.G.P. 1974)	38
Figure III.2. Piézomètre multiple, www.SESGEO.COM	40
Figure III.3 Piézomètre CASAGRANDE, https://SEDSGEO.COM	40
Figure III.4 Sondes piézométriques	41
Figure III.5 La sondes piézométriques www.SESGEO.COM	41
Figure III.6 : Carte de répartition des piézomètres (ANBT)	42
Figure III.7: Courbe de variation des niveaux du la cuvette et du débit des fuites	47
Figure III.8 : Plan de répartition des résurgences	49
Figure III.9 : Déversoir triangulaire pour la mesure du débit du canal rive droite	50
Figure III.10: Mesure des fuites au niveau de la galerie d'irrigation :	50
Figure III.11 : Nettoyage les bassins de mesure des fuites	52
Figure III.12: Variation du volume des fuites en fonction le temps 2017	55
Figure III.13: Variation du volume des fuites en fonction le temps 2007	56
Figure III.14: Variation du volume des fuites en fonction le temps 1997	56
Figure III.15 : Variation du volume des fuites en fonction le temps (1997)	57
Figure III.16 : Répartition des volumes défluent pour l'année 2012-2013	58
Figure III.17 : Répartition des volumes défluent pour l'année 2009-2010	59

Liste des Tableaux

Tableau II.1 : Les données morpho métriques du bassin versant	22
Tableau II.2 : Répartition des piézomètres	35
Tableau II. 3 : les réhabilitations des piézomètres du barrage Foum El Gherza	36
Tableau III.1 : profondeur et les cote d'orifice des quelque piézomètres.	43
Tableau III.2 : historique des nombres piézomètre du barrage Foum El Gherza	44
Tableau III.3 : les mesures des piézomètres	45
Tableau III.4. : L'état et récapitulation des équipements et matériels d'auscultation	51
Tableau III.5 Mesures des Fuites en Hm3 au niveau du barrage Foum El Gherza	53
Tableau III.6 : Bilan hydrique 2012/2013	57
Tableau III.7 : bilan hydrique 2009/2010	58

INTRODUCTION

GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Le contrôle des ouvrages hydrauliques tels que les barrages constituent une préoccupation majeure, en raison de leur intérêt et le risque sur la sécurité publique. Si on délaisse ces deux facteurs généralement, les dispositifs d'auscultation et surveillance sont :

- Les piézomètres
- L'étude des fuites

Le phénomène des fuites d'eau au niveau du barrage Foum El Gherza se traduit non seulement par des pertes considérables en eau précieuse et rare mais menace aussi sérieusement la stabilité des ouvrages hydrauliques, De plus, rappelons que la perte de capacité est due essentiellement aux fuites d'eau mais et également, à l'envasement des retenues et à l'évaporation intense lorsque les barrages sont implantés dans des régions arides et semi-aride.

L'objectif de notre étude concerne la surveillance et l'auscultation. Le suivi du comportement du barrage dans le temps a pour objectif principal de maintenir son fonctionnement et d'assurer la sécurité de l'ouvrage et par conséquent celles des agglomérations à l'aval.

La surveillance et l'auscultation permettent de déterminer la consistance des travaux d'entretien, mais elles peuvent dépasser ce cadre en permettant d'une part de prendre des mesures de sécurité éventuelle et d'autre part de confronter le résultat des calculs à celui d'auscultation. Cette comparaison permet l'amélioration des connaissances théoriques.

A cet effet, notre étude est basée sur l'analyse de toutes les données des fuites à partir de la mise en eau du barrage. En premier temps, on va suivre les changements des volumes de fuites et en second temps, on présente le risque de fuites par rapport au barrage.

Dans le 1^{er} chapitre, nous montrons le contexte général de la zone d'étude avec les caractéristiques géographique et hydrologique.

Dans le 2^{ème} chapitre, nous présentons le barrage de Foum El Gherza, les moyens d'auscultation et les dispositifs existant au niveau du barrage.

En fin, dans le 3^{ème} chapitre nous utilisons les données d'exploitation et analysons les données pour comprendre le phénomène de fuites et d'estimer l'importance des quantités d'eau perdues depuis la mise en eau du barrage.

Ainsi que, La comparaison des mesures aux prévisions permet l'amélioration des projets futurs et l'interprétation périodique des résultats de mesure.

CHAPITRE 1

Surveillance des barrages

I.1 INTRODUCTION :

La surveillance et l'auscultation ont pour objectif principal le suivi du comportement du barrage dans le temps, afin de maintenir son fonctionnement et d'assurer la sécurité de l'ouvrage et par conséquent celles des agglomérations à l'aval du barrage.

La surveillance et l'auscultation permettent de déterminer la consistance des travaux d'entretien, mais elles peuvent dépasser ce cadre en permettant d'une part de prendre des mesures de sécurité éventuelle et d'autre part de confronter le résultat des calculs à celui d'auscultation. Cette comparaison permet l'amélioration des connaissances théoriques.

I.2 OBJECTIF ET DEFINITION :

Il est couramment admis que l'auscultation a trois objectifs :

- Le suivi de l'ouvrage et de sa fondation pendant sa durée de vie pour vérifier qu'il continue à remplir son rôle et ne présente pas de risques pour la sécurité des personnes;
- La vérification pendant la construction du comportement de l'ouvrage afin, si nécessaire,
D'adapter le projet
- La comparaison des mesures aux prévisions pour l'amélioration des projets futurs.

L'auscultation d'un barrage comporte :

- L'observation visuelle du barrage (surveillance sans instrumentation);
- La mise en place d'un dispositif de mesure adapté à l'ouvrage et sa fondation;
- La lecture de ces appareils pendant la construction du barrage, pendant sa mise en eau et pendant sa durée de vie ;
- L'interprétation périodique des résultats de mesure.

1.3 SURVEILLANCE SANS INSTRUMENTATION :

Cette surveillance est basée essentiellement sur l'observation visuelle, qui constitue la méthode la plus élémentaire. Les visites doivent être effectuées au moins une fois toutes les deux semaines et si possible une fois par semaine.

L'examen doit comporter :

- Pour les barrages en terre, l'observation des tassements différentiels, fissures, amorces de glissement des parements, suintements ou fuites, zones humides du parement aval ou du pied, ...
- Pour les barrages en béton, l'observation des fissures, le déplacement et l'état des joints, de l'état de la surface du béton dans les zones déversantes, de l'état des parties métalliques, des suintements ou fuites,
- L'observation de la retenue et des amorces de glissements éventuels, du risque d'obstruction des évacuateurs...

La surveillance doit être continue et régulière afin de suivre l'évolution de l'ouvrage dans le temps.

1.3.1 Surveillance de zone de fuite :

Cette surveillance consiste à vérifier :

- La comptabilité des fuites observées avec les hypothèses de calcul.
- La quantité des particules fines entraînées par les eaux de fuite qui est l'indice d'un phénomène d'érosion.

Cette opération concerne les fuites à travers le barrage et sa fondation, qui sont collectées dans une galerie ou par des drains, et les fuites qui débouchent à l'aval de l'ouvrage, elle concerne aussi les fuites à travers les rives,

Les fuites sont mesurées séparément, afin de permettre la localisation des anomalies éventuelles.

1.3.2 Surveillance des tassements et des fissures :

Elle consiste à faire un suivi avec soin de l'évolution dans le temps des tassements anormaux. Ces derniers sont dus à la présence de couches compressibles dans la fondation, à la mauvaise réalisation du remblai et au comportement hydraulique interne.

Les tassements peuvent se traduire par l'apparition de fissures au niveau de la crête, la partie supérieure des talus et parallèlement à l'axe de l'ouvrage qui sont parfois l'indice de début de glissement d'un talus. Les fissures transversales à l'ouvrage sont liées à des phénomènes de retrait dus à la variation de la teneur en eau dans les sols argileux.

Le soulèvement d'une partie du terrain du barrage peut être dû à la présence d'une argile gonflante, à l'existence de sous pression ou le signe d'une amorce de rupture par fluage de fondations particulièrement molles,

1.3.3 L'inspection à l'occasion des crues :

C'est lors des crues que les barrages sont soumis aux sollicitations les plus sévères : cote du plan d'eau élevée, débits importants sur le déversoir, ruissellement sur les parements. Une observation renforcée s'impose donc dans ces occasions.

L'observation pendant la crue est riche d'information mais elle n'est pas toujours possible car la crue peut survenir de nuit. Cependant, chaque fois qu'on le peut, on s'attache à observer les points suivants pendant la crue :

- Niveau maximum atteint par l'eau ;
- Durée de la crue;
- Fonctionnement du déversoir : aspect de la lame d'eau, écoulement en pied de coursier, ...

L'observation après la crue doit porter sur les points suivants :

- Relevés d'indices permettant de connaître le niveau maximum atteint par l'eau : dépôts de branchages, traces sur le limnimètre ou les murs en béton ;
- Etat du déversoir et de la fosse de dissipation d'énergie : érosion régressive, ...
- Apparition de nouvelles zones de fuites, augmentation sensible ou extension des fuites préexistantes.

1.4 AUSCULTATION DES BARRAGES :

L'auscultation est une méthode quantitative basée sur la mesure d'instruments, choisis et soigneusement positionnés. Le dispositif d'auscultation doit être conçu en fonction du type, des dimensions et des particularités techniques du barrage.

Ce dispositif, très simple pour les petits barrages, sera plus dense pour les barrages de moyenne et grande dimension. Il peut évoluer pendant la durée de vie de l'ouvrage par ajout d'instruments défaillants et par ajout d'autres instruments en cas d'anomalies ou d'inquiétudes sur le comportement du barrage.

Les barrages peuvent être affectés par des déplacements superficiels, des déplacements internes, des déformations locales et des phénomènes hydrauliques.

Quel que soit le type de barrage, les paramètres suivants peuvent être mesurés :

- Déplacement externe ;
- Déplacement interne ;
- Pression ;
- Débit ;
- Contrainte.

1.4.1 Les déplacements superficiels :

Les déplacements superficiels sont surveillés par voie topographique qui permet de déterminer les déformations de l'ouvrage et celles des fondations et des rives.

Les principes de cette méthode consistent à déterminer l'écart entre une opération origine effectuée avant le remplissage de la retenue et des opérations successives durant l'exploitation.

Cet écart permet la détermination de l'importance des mouvements.

L'opération consiste à prendre des mesures des angles par un théodolite ou un tachéomètre et des mesures des dénivelés par nivellement à l'aide d'un niveau (figure I.1)



Figure I.1 : Surveillance par moyens topographique.

Le réseau topographique concerné par les mesures est installé dès le début de la – construction du barrage et par la suite renforcé par des repères supplémentaires installés sur les rives, la crête du barrage, le talus aval et à l'aval de l'ouvrage.

Ce réseau est constitué par des piliers d'observation en béton équipés par des plaques de centrage et des voyants topographiques en lave émaillée fixés au ras du parement aval.

(figure I.2)

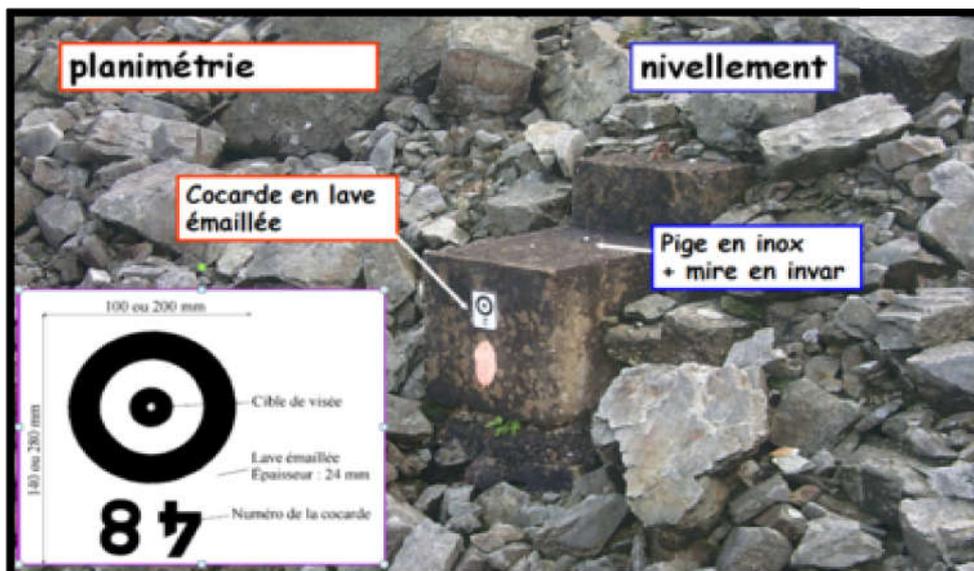


Figure I.2 : voyant topographique

(Source: Formation contrôle des barrages P. Royet - Irstea - G2DR)

Les piliers d'observation sont ancrés solidement dans le sol en dehors de la zone d'action
Du barrage (figure I.3)



Figure I.3 : Piliers d'observation

Le réseau topographique doit être installé de manière à assurer des angles d'intersection
Sur les voyants à partir des piliers d'observation.

Les résultats des mesures sont présentés sur un graphique où on porte en abscisse le
temps et en ordonnée le mouvement étudié à l'écart altimétrique ou l'écart radial tangentiel.

1.4.2 Les déformations internes :

La déformation interne se manifeste par des tassements verticaux et des déplacements
horizontaux du barrage et de sa fondation. Ces déformations sont dues à la nature des
matériaux du barrage ou du sol de la fondation.

Les tassements et les déplacements horizontaux sont mesurés par divers appareils qui
déterminent l'importance des déformations internes du barrage et de sa fondation.

1.4.2.1 Appareils de mesure des tassements :

1.4.2.1.1 Tassomètre magnétique :

Le Tassomètre magnétique est composé d'une gaine en matière plastique facilement
déformable

Sur laquelle sont fixés des manchons en matériaux magnétiques comportant un couple d'aimants permanents à faces polarisées, entre les manchons la gaine est recouverte extérieurement de caoutchouc. Le manchon permet le déplacement des anneaux qui est lié à celui du terrain avoisinant. Une sonde descendue au bout d'un ruban gradué permet d'indiquer la position de chaque anneau par le biais d'un interrupteur à lampe souple dont la communication commandée par le champ magnétique développé par chaque anneau.(figure I.4)



Figure I.4 : Tassomètre Multiple Source : sisgeo.com

1.4.2.1.2 Tassomètres à butée :

Ces Tassomètres sont constitués par des ancrages tubulaires présentant des étranglements avec palier de butée qui jouent le rôle de tassement. Ces ancrages sont raccordés entre eux par des manchons et scellés dans un forage à différentes profondeurs. Ces tassomètres peuvent atteindre une profondeur d'environ 100m, avec une précision de (± 1 mm).

Le tassement peut être déterminé par l'introduction d'une torpille de mesure suspendue à un câble gradué et muni d'ergots rétractables, permettant de traverser les repères de tassement dès que la torpille a franchi la base d'un repère, les ergots se détendent, en exerçant une traction vers le haut, ils viennent buter contre celui-ci. On mesure ainsi la distance de chaque repère par rapport à la tête du forage.

1.4.2.1.3 Tassomètres cross-arms :

Il est constitué d'une série de tubes verticaux de longueur 0.9m chacun, noyés dans le remblai, sur chaque tube cornier transversal est fixée en son centre, ce qui permet au tube de suivre le mouvement du terrain. La position du tube est repérée par une sonde suspendue à un ruban d'acier gradué descendue dans le tubage. Cette sonde comporte deux cliquets qui s'accrochent contre l'épaulement formé par l'extrémité inférieure de chaque tube (figure I.5).

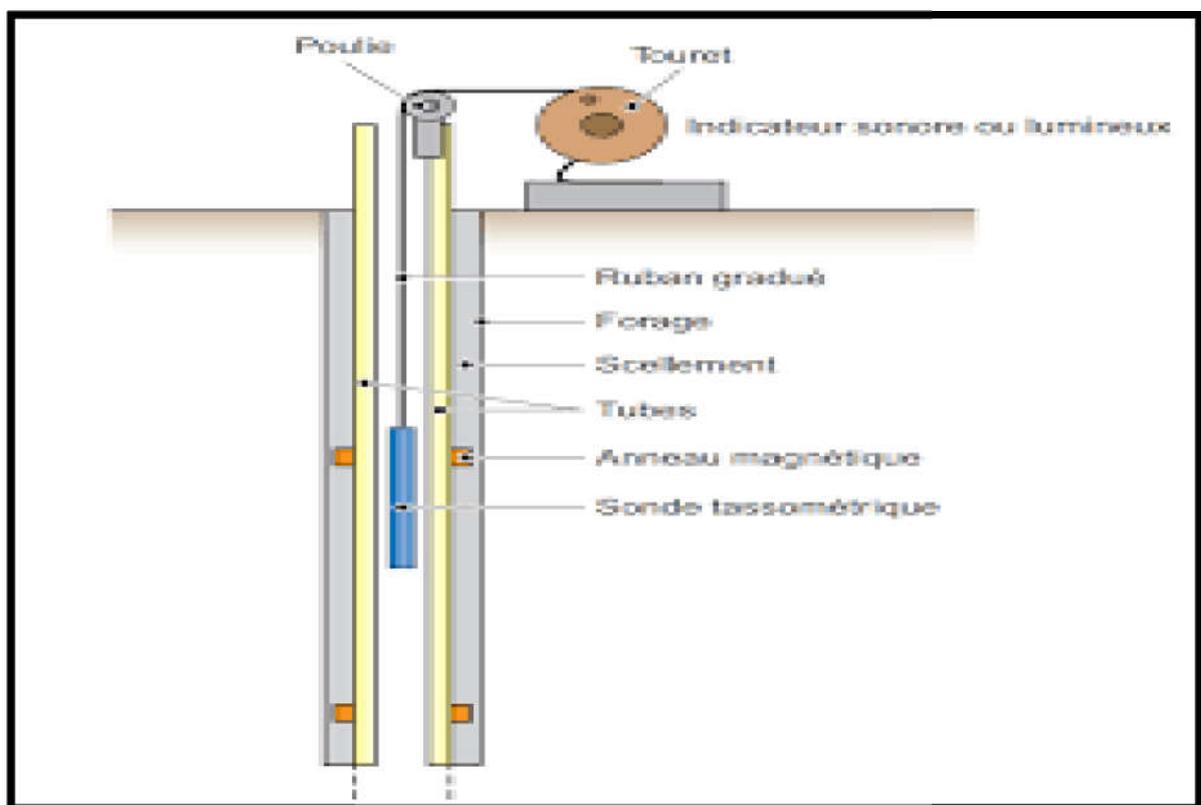


Figure I.5 : Tassomètre Cross-Arms Source: CFMS_Briancon.com

1.4.2.1.4 Tassomètres hydrostatiques :

Ces appareils sont constitués d'une cellule cylindrique à demi remplie d'un liquide antigel, placé à l'intérieur du sol pendant la phase de réalisation de l'ouvrage. Cette cellule est reliée à un panneau de mesure. Ces dispositifs sont installés en dehors de la zone d'influence des tassements.(figure I.6).

La cellule étant à demi de liquide, on injecte une pression p_0 égale à la pression initiale, et à lire le niveau du liquide t . le tassement est mesuré directement sur le panneau de mesure, qui sera égale : $\Delta h = t_0 - t$

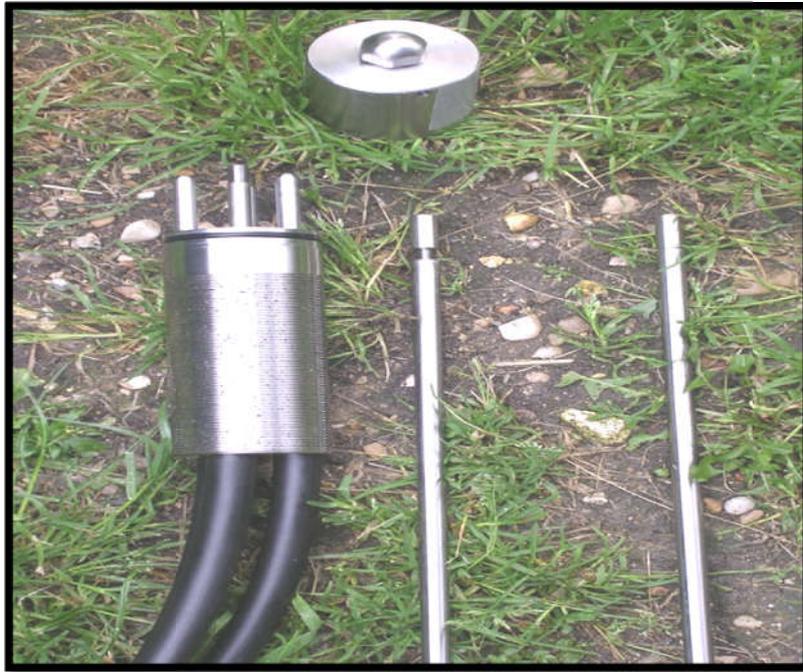


Figure I.6 Tassomètres hydrostatiques ; Source : Sis geo.com

1.4.2.1.5 Clinomètre à cordes vibrantes :

Cet appareil est composé d'une tige en acier portant un poids à sa partie inférieure et encastré en tête dans un tube enveloppé qui constitue la sonde. Quatre cordes vibrantes excitées par deux électro-aimants sont fixées sur la tige (Figure I.7).

Lorsque la sonde s'incline, le pendule entraîne une flexion de la tige donc une variation de la tension des cordes vibrantes. Cette variation est proportionnelle à la variation du carré des fréquences mesurées par le poste d'écoute.

Si m_0 et n_0 sont les lectures au repos sur deux cordes diamétralement opposées et m et n les lectures pour une inclinaison d'angle α :

$$\sin \alpha = k((m-n)-(m_0-n_0))$$

K : est une constante qui caractérise le couple de cordes, sa valeur est de l'ordre de 10^{-4}



Figure I.7 : Clinomètre à cordes vibrantes, Source : itmsoll.com

1.4.2.2 Mesure des déplacements par pendule :

Un tel dispositif est de plus en plus couramment utilisé. Lorsqu'un barrage est équipé d'une galerie, il est possible d'installer :

Des pendules directs pour ausculter le déplacement relatif entre la galerie et le sommet du barrage ;

Des pendules inversés pour mesurer le déplacement relatif entre la galerie et un point profond supposé fixe.

Le pendule permet une meilleure précision, un coût d'invention moindre, une lecture possible en toute saison. Il est à pouvoir donner les déformations à différents niveaux de l'ouvrage et de sa fondation.

1.4.2.2.1 Le pendule direct

Dans un forage vertical, un fil est fixé à son extrémité supérieure et tendu par un poids pouvant se déplacer librement à la base du pendule. On repère la position en plan du fil par la recherche de deux alignements perpendiculaires. La précision est de 0.1 mm

(figure I.8, figure I.9)



Figure I.8 : pendule avec mesure en Z. ; Source : (Photo G. Degoutte - Irstea - G2DR)



Figure I.09 : pendule direct : Source : (Photo Irstea - G2DR).

1.4.2.2 Le pendule inverse :

Pour étudier des zones basses du barrage ou bien des fondations, on est amené à installer des pendules inversés. La table de visée est dans ce cas voisine de la partie supérieure du fil fixée à un flotteur. La partie basse est fixée au barrage ou à fondation (figure I.10)



Figure I.10 : Pendule inverse : La source : Sis geo.com

1.4.2.3 Mesures de déformations internes du béton :

Entre deux points solidaires du barrage. On mesure la tension d'une corde vibrante tendue le principe de la mesure est le suivant : la pression interstitielle se communique par une pierre poreuse à un diaphragme. Une corde est tendue entre un point fixe et ce diaphragme. Les vibrations de pression communiquées au diaphragme font varier la tension de la corde et donc sa fréquence propre de vibration (comme une corde d'instrument de musique). On mesure la fréquence après excitation de la corde par un électroaimant disposé à l'intérieur de la cellule (figure I.11).

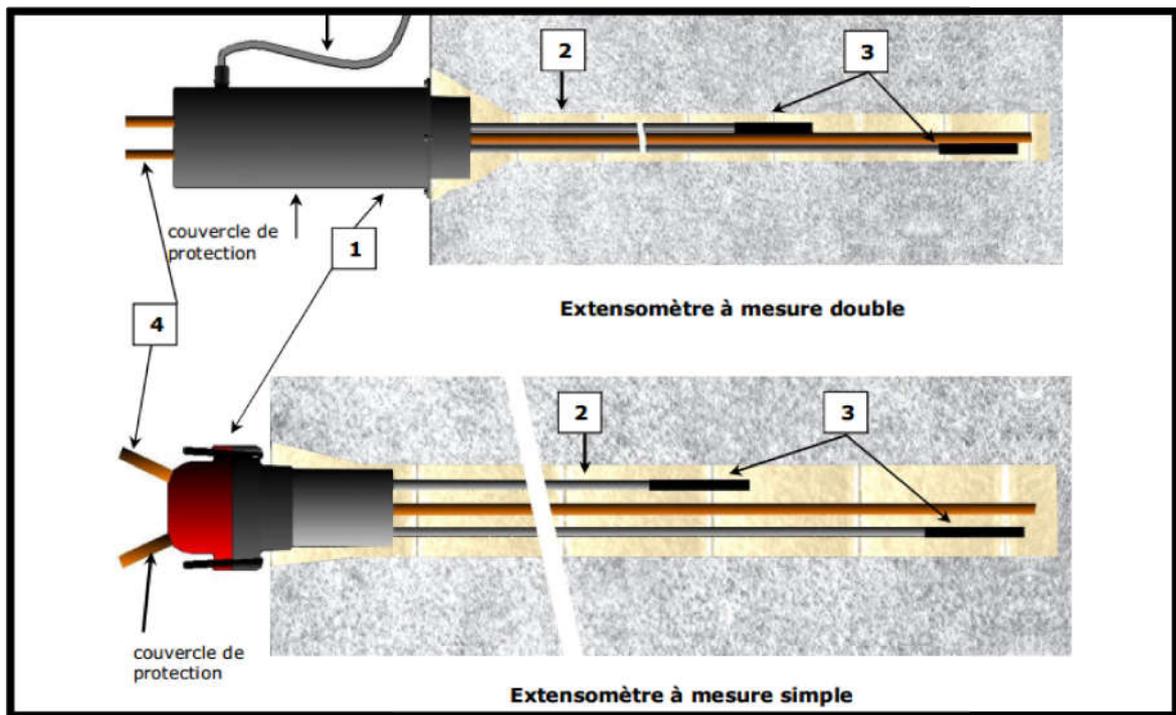


Figure I.11 Extensomètre à corde vibrant ; Source : Sisgeo.com

1.4.2.4 contrôle des joints et fissures

Le contrôle des joints et des fissures se fait à l'aide d'appareils appelés aussi fissuromètres. Ces appareils sont installés sur une fissure observée donc on veut suivre son évolution. On mesure les déplacements relatifs des deux lèvres de la fissure, en générale dans l'axe perpendiculaire au plan de la fissure.

Il existe toute une gamme d'appareils du plus simple au plus sophistique :

- Mesure de l'écartement à l'aide d'un pied à coulisse (figure I.12).
- Le fissuromètre avec mesure au vernier (mesure au $1/10^{\text{ème}}$ de mm).
- Le fissuromètre avec mesure au comparateur (mesure au $1/10^{\text{ème}}$ de mm).

Les appareils Vinchon (figure I.13) scellés de part et d'autre d'un joint ou d'une fissure permettent de mesure l'écartement d'une fissure, mais aussi le glissement latéral et le glissement avant-arrière.

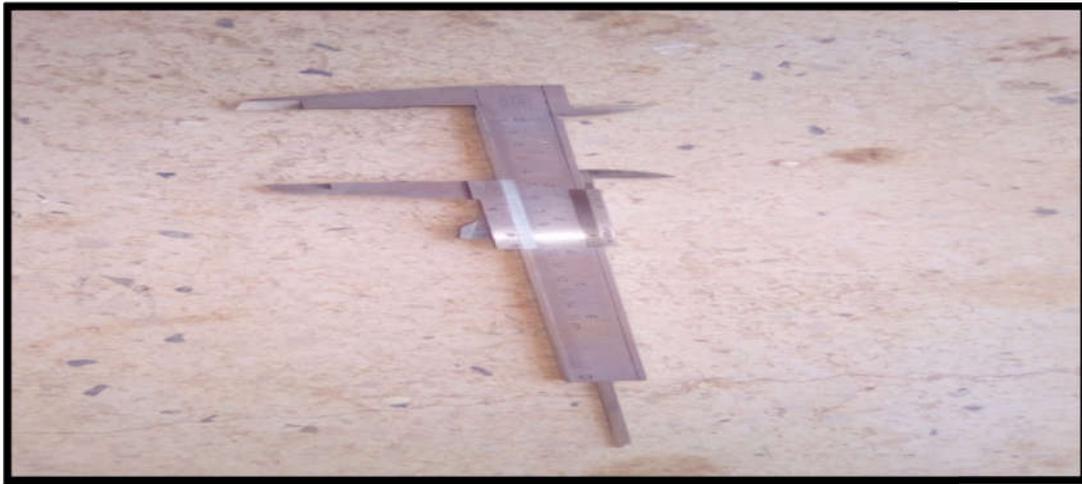


Figure I.12 : Contrôles d'une fissure à l'aide d'un pied à coulisse

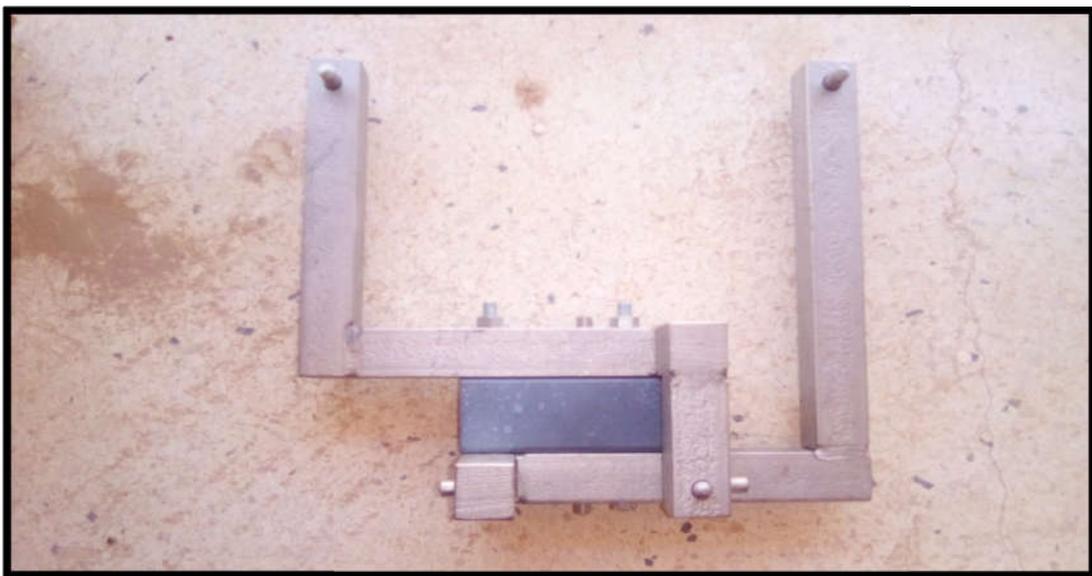


Figure I.13 : contrôles d'une fissure à l'aide de Vinchon

1.5 : L'inspection à l'occasion des séismes :

Le but du plan ORSEC est de déterminer les zones inondables en cas de crues exceptionnelles et dans le cas d'une rupture du Barrage de fontaine des gazelles, ainsi que pour déterminer les précautions à prendre et les moyens misent à la disposition des services de secours pour éviter la catastrophe.

1.5.1 : L'intervention au niveau du Barrage:

- 1- Respecter de l'organigramme tracé par le bureau d'étude pour mieux prendre en charge l'exploitation, l'auscultation et l'entretien du Barrage.
- 2- Renforcement du Barrage en moyens humains qualifié et équipements.
- 3- Visite périodique du Barrage par des experts ANBT ou étranger en collaboration avec les autorités des Wilaya Batna, Biskra et Oued-souf.
- 4- Analyse des données du Barrage à temps par des experts pour détecter les anomalies qui peuvent être la cause d'une rupture du Barrage et ce pour procéder à une vidange rapide du Barrage.
- 5- Vérification des équipements et le système d'alimentation électrique, accès à l'ouvrage en sécurité pour évacuer le personnel du Barrage quand la rupture du Barrage ne peut pas être évitée.
- 6- Mettre à la disposition de l'équipe chargée de l'exploitation du Barrage les moyens de télécommunication mobiles et internes.
- 7- Réviser les plans de secours tous les cinq ans et de les adapter aux changements sociaux de l'environnement (recensement des habitants et habitations se trouvant dans les zones inondables).

1.5.2 Autorités locales :

- 1- Tracer un plan d'évacuation des habitants touchés par les inondations.
- 2- Mettre à la disposition des services de secours les moyens de secours nécessaires pour évacuer la population menacée par les crues exceptionnelles ou dans le cas d'une rupture du Barrage.
- 3- Information, transmission des consignes et Sensibilisation de la population menacée par les crues.

1.5.3 Dispositifs de prévention et d'alerte :

- 1- mettre un dispositif pour mesurer le débit et le niveau d'eau en aval du Barrage en cas de crue.
- 2- Suivre en ligne du déplacement de trois points en crête du barrage (points géodésiques GPS).
- 3- Station hydrologique télémétrique à l'entrée de la retenue.
- 4- Appareil de mesure de niveau au niveau de l'évacuateur de crues

- 5- Station complète métrologique automatique au niveau du Barrage .
- 6- Installation d'un limnigraphe au niveau de l'évacuateur de crues.
- 7- Installation un appareil de caractéristiques similaires à l'aval du Barrage.
- 8- Liaison de l'ensemble des appareils au niveau du centre de commande du Barrage pour analyse et prise de décision pour signaler l'alerte.
- 9- Mettre à la disposition de l'exploitation un matériel informatique et logiciels pour suivre et analyse des données.
- 10- Mettre une signalisation locale.
- 11- Amplificateur d'alerte
- 12- Haut parleur
- 13- Dispositif périphérique du sous- centre
- 14- Dispositif d'alimentation continue des éléments du système d'énergie.
- 15- Poste radio Mobile.

1.5.4 Plan d'alerte en cas de rupture du Barrage :

- 1- Observation météo logique.
- 2- Annonce de la crue par un dispositif d'alerte des crues.
- 3- Baisse contrôlée du niveau de la retenue par ouverture de la vidange de fond.
- 4- Application des consignes d'évacuation en cas de crues.
- 5- Vidange rapide de la retenue dans les situations critiques (Non disponible).
- 6- Prévoir des cartes des zones menacées par les inondations.
- 7- Information et alerte dans les états critiques entre les Wilayas concernées).
- 8- Communication des secours
- 9- Transports dans les états critiques.
- 10- Accès de secours aux sites éloignés.
- 11- Procédures de décision d'urgence.
- 12- Evacuation de la population des zones menacées par les inondations potentielles.

I.6 Automatisation Des Mesures D'auscultation :

Les avantages apportés par l'automatisation des mesures d'auscultation de barrage sont nombreux :

- Possibilité d'effectuer des mesures régulières sur des sites difficiles d'accès.
- Pas ou (peu) d'erreurs de lecture ou de transcription.
- Augmentation de la fréquence des mesures, possibilité d'un meilleur choix et d'un meilleur respect de l'horaire des mesures.

Vis-à-vis de la sécurité des barrages en service cette automatisation a deux principaux buts :

- La constitution d'une base de donnée des mesures d'auscultation d'un ouvrage, en vue de l'analyse postérieure de ces mesures,
- et également la surveillance « temps réel » de paramètres critiques pour la sécurité de l'ouvrage.

On peut, compte tenu de la gamme des capteurs existant aujourd'hui automatiser l'ensemble des mesures hydrauliques et de génie civil habituelles sur un barrage (débit, - niveaux, pressions, contraintes, déformations).

Seule impossibilité (pour l'instant) les mesures topographiques, mais compte tenu des fréquences habituelles (en général, deux fois par an au maximum) cette impossibilité de réaliser ces mesures de manière automatique n'est pas grave. On pourra en cas de risque élevé utiliser des mesures de déplacement ou de déformation à corrélérer avec des mesures topographiques.

De plus il peut être trop onéreux d'équiper l'ensemble des points de mesure. La mesure manuelle (lorsqu'elle est toujours possible) aura l'avantage de vérifier les performances dans le temps des capteurs.

I-7 Conclusion :

La surveillance des barrages très important pour la durée de vie de notre ouvrage et chaque barrage trouve des plusieurs appareils et des instruments de calcule l'auscultation et suivre l'état des barrages.

Dans le chapitre suivant, nous précisent le barrage de Foum El Gherza.

Chapitre : II

Présentation du Barrage Foum El Gherza

II-1 Introduction :

Jusqu'à la fin du 19ème Siècle, et en raison notamment de l'insécurité qui y régnait, les zones cultivées le long de l'Oued El Abiod, en amont de Foum El Gherza, n'étaient pas importantes. Aussi, les oasis du Zab, de Sidi Okba (Seriana, Thouda, Garta, Sidi Khellil) disposaient elles d'un débit suffisant pour irriguer leurs palmeraies. Sidi Okba comptait à elle seule plus de cent mille palmiers.

Depuis cette période, les Aurasieus se sont installés le long de l'Oued et ont créé de nombreux jardins qui absorbent la presque totalité du débit au point de mettre en péril l'existence de ces palmeraies. De plus, aucune nappe aquifère souterraine exploitable n'existe dans la région pour remédier à cette situation.

La seule solution consistait à construire un barrage-réservoir destiné à emmagasiner les eaux des crues de l'oued El Abiod et à les restituer pour les irrigants.

II -1.1 Historique De La Construction Du Barrage Foum El Gherza :

Les étapes de la construction du barrage de Foum El Gherza peuvent être résumées par ce qui suit.

1847 :

Premier barrage de dérivation à cette époque avec un petit ouvrage qui avait été construit en amont des gorges de Foum El Gherza. Les eaux étaient dérivées par une galerie souterraine creusée dans les calcaires de la rive droite. Cet ouvrage rudimentaire fut emporté par les crues et il ne reste rien de cet ouvrage.

L'entrée amont de la galerie de dérivation, complètement obstruée, a été découverte par hasard au cours de la construction du batardeau du barrage actuel.

1902 :

Des travaux de dérivation de l'oued ont été entrepris, mais dans la nuit du 15 au 16 sept 1902 une crue d'une violence exceptionnelle ravage le chantier.

1912-1918 :

Un barrage de 3 m de hauteur fut édifié au milieu de la gorge. Une galerie longue de 400m environ fut creusée en rive droite prolongée par un canal d'amenée cimenté de 3km. En

plusieurs endroits ce canal traversait en aqueduc franchissant l'Oued El Biraz (nom de l'oued El Abiod à l'aval des gorges) et alimente l'oasis de Sidi Okba.

1927 :

L'administration commence à établir un projet de grand barrage-réservoir.

1941 :

R. LAFFITE, ingénieur du service de la carte géologique de l'Algérie fait une étude géologique détaillée de l'emplacement du barrage.

1944 :

Une série de sondage a été exécutée dans le thalweg de l'oued El Abiod à l'extrémité amont de la future retenue pour reconnaître la nature du bed-rock.

1950 :

La voûte et la culée, ainsi que les ponts sur les déversoirs sont terminées.

1951 :

Le montage de la conduite forcée, la mise en place des déchargeurs et l'installation de la centrale hydroélectrique sont effectués.

1952-1954 :

Renforcement du rideau d'étanchéité.

1954-1957 :

L'exécution d'un masque plaqué contre l'écran d'étanchéité et à l'amont de celui-ci ; Ces travaux sont terminés en septembre 1957.

Le barrage de Foug El Gherza est inscrit au registre mondial des grands barrages avec les caractéristiques suivantes :

- TYPE : voûte mince avec culée rive gauche.
- Altitude de la retenue maxima : 195,65 m

- Surface de la retenue au niveau maximum : 3,09 km²
- Capacité totale et utilisable du réservoir : 47 hm
- Cote de plus hautes eaux : 200.00 m
- Hauteur maximale du barrage au-dessus du talweg : 65 m
- Hauteur de la crête du barrage au-dessus de la crête déversoir : 4.35 m.
- Pente des parements amont et aval par rapport à la verticale : variable
- Largeur maxima au niveau des fondations : 11,48 m
- Largeur au couronnement : 3 m.
- Longueur au couronnement : voûte : 126 m, culée : 60 m • Volume du corps du barrage : 40,000 m³
- Rayon de courbure : 80 m

En 1926 la Société Française de stéréo-topographie avait dressé un plan de la cuvette au 15.000 €. Ce plan qui a servi de base à tous les travaux et études jusqu'en 1952 avait été restitué dans un système d'altitude fictif inférieur de 3.25 m aux altitudes du plan stéréo 1952 rattaché au N.G.A. De ce fait, toutes les cotes des plans d'exécution du barrage sont inférieures de 3.25 m aux cotes N.G.A.

II.2 Description Du Bassin Versant :

D'après le découpage hydrologique en vigueur de l'Algérie, le bassin versant de l'Oued El Abiod est attribué au grand bassin versant de Chott Melghir (figure.II.1). Il prend naissance au centre du massif des Aurès et est formé par la réunion de plusieurs torrents descendant des pentes du Djebel Chelia (2328m) et du Djebel Ichmoul (2071m), deux des plus hauts sommets d'Algérie.



Figure II.1 : L'amont du Barrage Foug El Gherza (Google earth)

Pendant son écoulement vers le Sud-Ouest, l'Oued descend de près de 2000m en 120Km. Son caractère torrentiel est très accusé.

Le bassin versant peut être divisé en deux parties de superficie sensiblement égale :

- Une zone montagneuse et boisée depuis les monts Chélia jusqu'au défilé de Thighanimine,
- Une zone de pentes désertiques, sans aucune couverture végétale de Thighanimine à Foug El Gherza.

Tableau II -1 : Les données morpho métriques du bassin versant peuvent se résumer comme suit :

Périmètre	206 Km	Indice de compacité	1.6m
Surface	1280km ²	Indice de pente globale	16%
Altitude minimale	136m	Coefficient de torrentialité	2.28km-1
Altitude moyenne	1170m	Densité de drainage	518km-1
Altitude maximale	2328m	Longueur	87.55m
		Largeur	14.82m

Du fait de la très importance dénivelée du bassin versant, le climat y est très variable. La pluviométrie varie bien entendu en fonction de l'altitude, la moyenne enregistrée à la station de Chelia à 1700 mètres est de 462.8 mm; celle enregistrée à Foum El Gherza est de 157,5 mm.

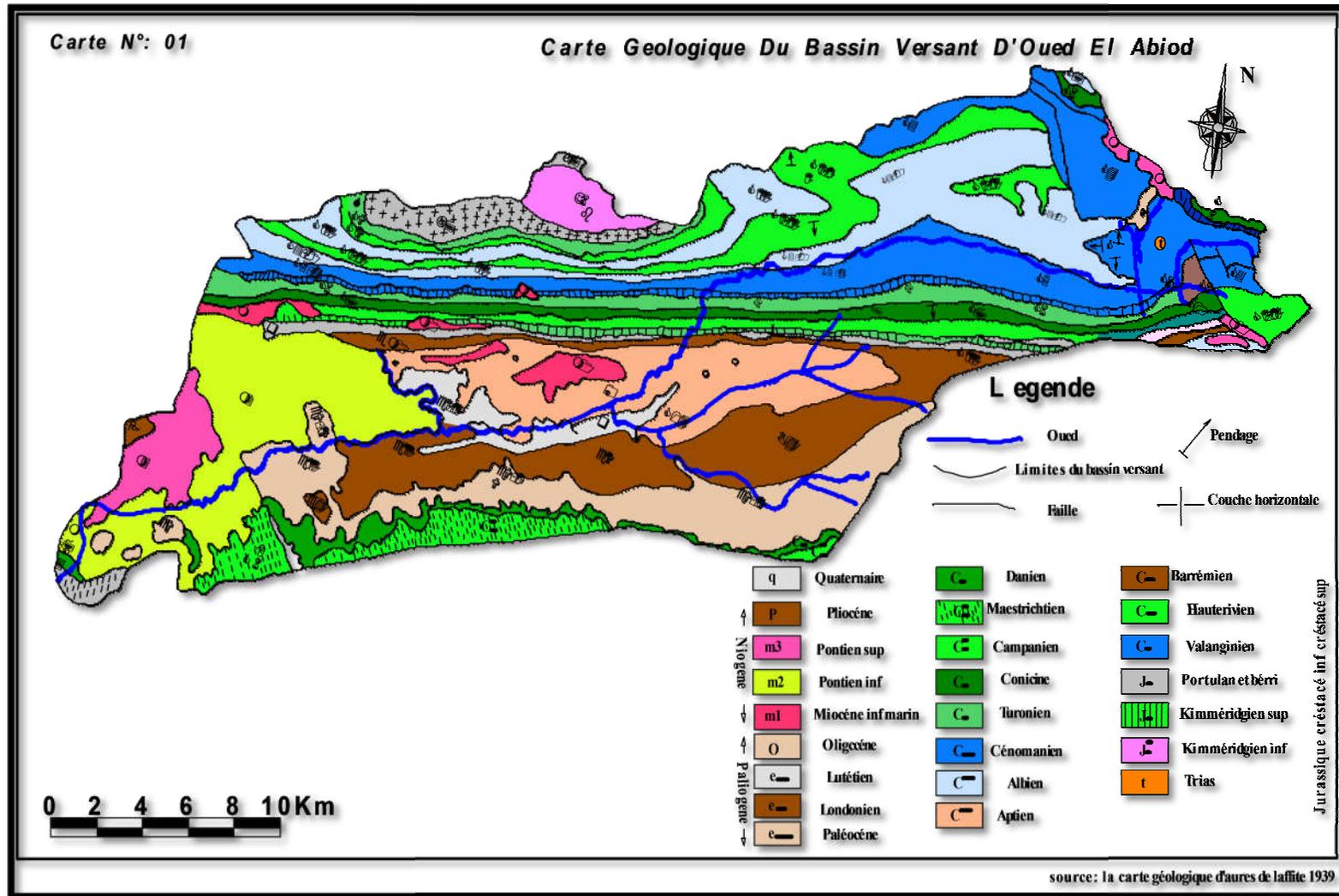
La moyenne annuelle des précipitations pour le bassin versant est de 355 mm. Les précipitations sont la plupart du temps violentes et brèves, les mois de Juillet et d'Août représente la période sèche.

Les crues de l'oued El Abiod sont extrêmement violentes et soudaines. Avant la construction du barrage elles ravageaient fréquemment les oasis du périmètre de Sidi Okba.

II.3 GEOLOGIE DU BASSIN VERSANT :

Les terrains les plus anciens constituent entre les vallées de l'Oued Abdi et l'Oued El Abiod, le cœur de l'anticlinal de djebel El Azreg. Nous pouvons reconnaître du centre vers la périphérie des couches géologiques d'âge allant du Jurassique supérieur (Kimméridgien et Portlandien-Berriasien) jusqu'au Mio-Pliocène (figure. II.3).

Figure II.2 : carte géologique du bassin versant de l'oued el Abiod (DHW Biskra)



III-5 Géologie Du Site Du Barrage :

Les différents étages et faciès rencontrés sont les suivants :

II-.5.1 Le Campanien inférieur

Alternance de grosses dalles calcaires et de marnes sous forme d'un dôme allongé E.NE-W.S-W au centre de la retenue du barrage.

II.5.2 Le Campanien supérieur

Schistes et marnes schisteuses bleues en profondeurs et jaunes verdâtres aux affleurements (niveau imperméable).

II.5.3 Le Maestrichtien

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.

II.5.4 Le Miocène

Les formations miocènes reposent 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 résistant, ils 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 II.3) et (figure II.4).

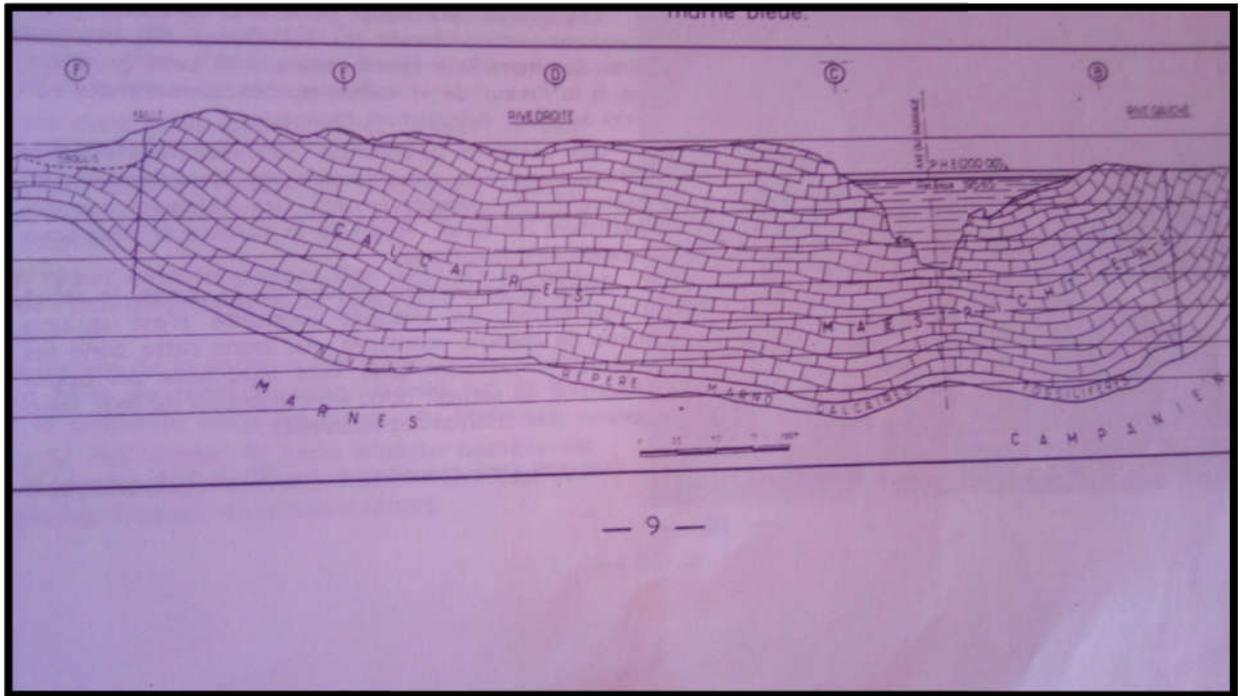


Figure .II.3 : Coupe géologique (photo de plan)

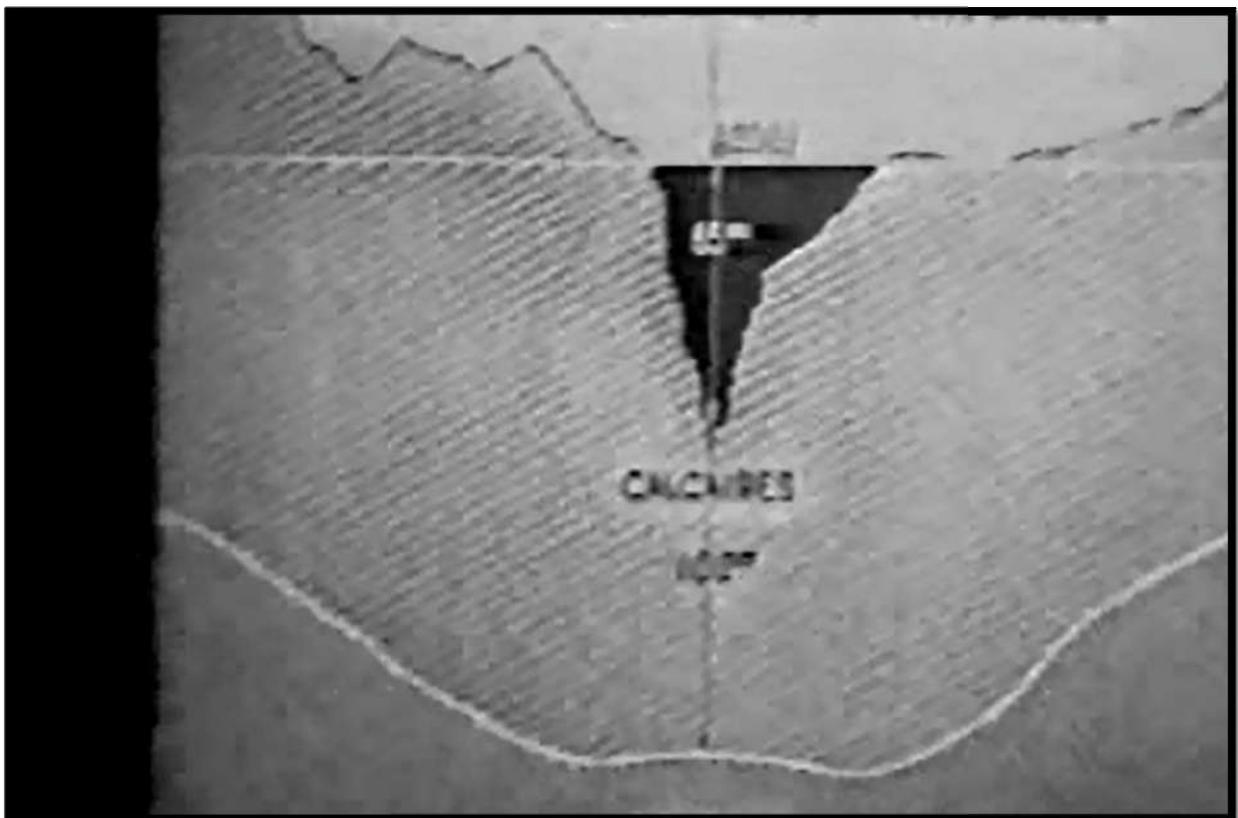


Figure II.4 : Coupe géologique (photo de l'archive ANBT)



Figure II.5 : Rive droite

Les sondages de reconnaissances, par l'observation des carottes et la mesure des pertes d'eau en cours de forage ont confirmé que les calcaires étaient fissurés sur toute leur épaisseur donc perméables. Sur les premiers mètres les fissures sont souvent bouchées 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. (figure II.5)

La circulation d'eau dans les calcaires ne risque pas de compromettre la stabilité de l'ouvrage, mais elle risque de rendre illusoire l'étanchéité de la retenue (figure II.6).



Figure II.6 : Fracturation des appuis du barrage

II.6 ETANCHEMENT DES TERRAINS

Le programme d'étanchement correspond à la fermeture totale du compartiment calcaire intéressé par les circulations. L'écran d'étanchéité a été poussé jusqu'au substratum marneux et décomposé en :

- Un voile sous le barrage et la culée,
- Un voile à la large rive gauche,
- Un voile à la large rive droite.

L'espacement des sondages d'injection fut fixé de 8 à 10 mètres dans la partie centrale et à 12 mètres sur les rives (figure II.8).

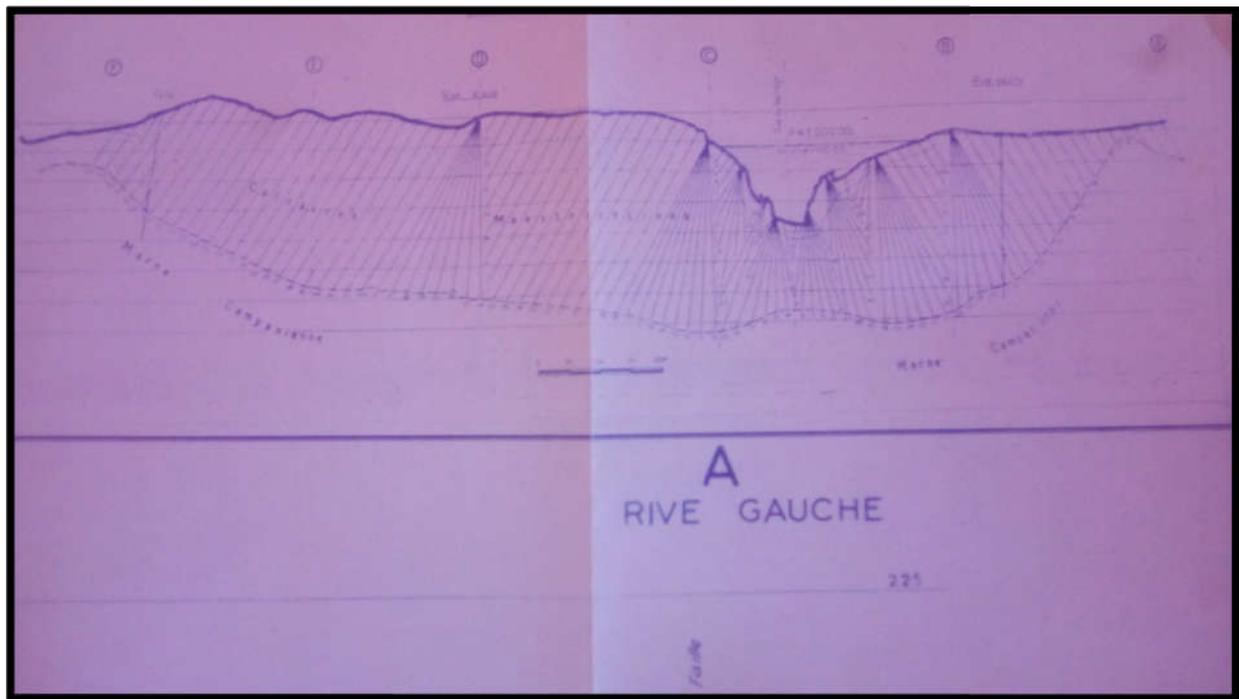


Figure II.7 : Ecran d'étanchéité du barrage Foug El Gherza

II.6.1 Les travaux d'étanchéité ont été effectués en trois phases :

PHASE 1 (1950-1951) et comprend le renforcement des ailes de l'écran primitif (panneaux AB, BC, EF) par sondages intercalaires inclinés à 30° et arrêtés en profondeur à la cote 120. Sur la rive droite, des sondages inclinés espacés de 8 mètres avec un sondage sur deux étant poussé jusqu'au substratum marneux.

PHASE 2 (1952-1953): Renforcement de la rive gauche par sondages verticaux espacés de 8 mètres et arrêtés à la cote 110 et de la rive droite par sondages inclinés de 30° espacés de 8 mètres et poussés jusqu'au substratum marneux (figure II.9).

PHASE 3 (1954-1957): Les résultats obtenus à la suite des premières phases ayant été insuffisants, un traitement complémentaire a été nécessaire. Le traitement a été effectué au moyen d'une ligne de sondages parallèles à l'axe de l'écran principal et situé à 203 l'amont de cet axe. Les injections n'ont été faites que sous chacune des ailes rive gauche et rive droite.

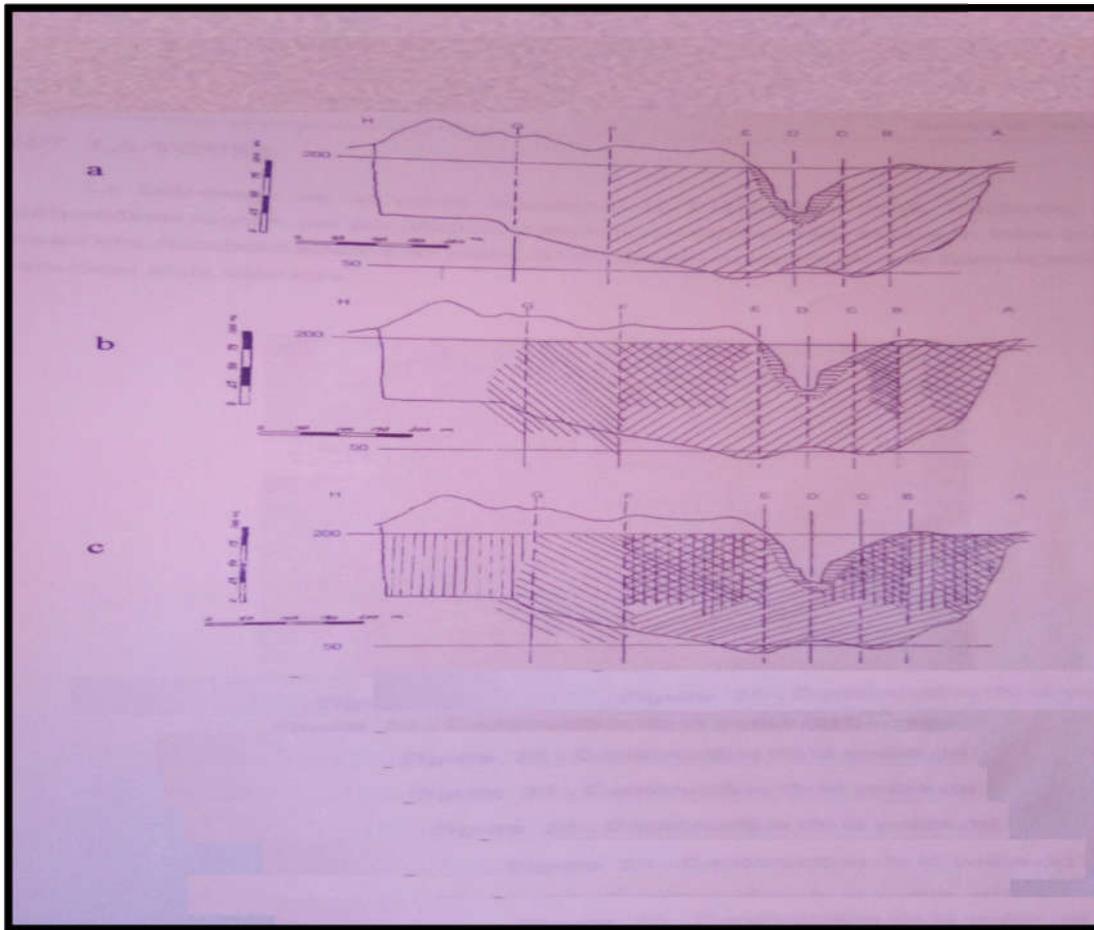


Figure II.8 : Les différentes phases de l'écran d'étanchéité

II.7 LES MOYENS D'AUSCULTATION DU BARRAGE DE FOUM EL GHERZA

II.7.1 INTRODUCTION :

Dans l'hydraulique chaque ouvrage est un cas particulier. En effet, la géologie, la topographie, le type d'ouvrage, les conditions de réalisation et le mode d'exploitation rendent particulier chaque ouvrage. Le choix du dispositif d'auscultation sur l'ouvrage est alors primordial pour garantir une observation représentative du comportement de l'ouvrage et de sa fondation.

II.7.2 Déplacements superficiels

Les déplacements superficiels sont surveillés par voie topographique (figure 27) qui permet de déterminer les déformations du barrage et celles des fondations et des rives. Pour se faire, il existe sur la digue et autour du barrage les piliers et repères suivants :

- Piliers de triangulation : 11.
- Repères d'intersection X-Y-Z cocardes : 26.
- Repères de nivellement crête : 21.
- Repères de référence : 8.

La mesure des déplacements du barrage Foum El Gherza a fait l'objet de plusieurs séries d'observation et ceci depuis 1951 jusqu'à nos jours. Ces séries de mesures n'ont pas mis en évidence de déplacements de l'ouvrage inquiétants (figure II.10).

II.7.3 Echelle limnimétrique

Il existe une échelle limnimétrique pour mesurer la hauteur d'eau dans la retenue (figure II.11). Malheureusement, et vu l'état d'envasement du barrage, cette hauteur n'est qu'à titre indicatif. Le barrage n'a pas subi d'opération de dévasement depuis sa construction et la relation hauteur-volume n'est plus valable.

Cette situation rend l'estimation des volumes emmagasinés imprécise.

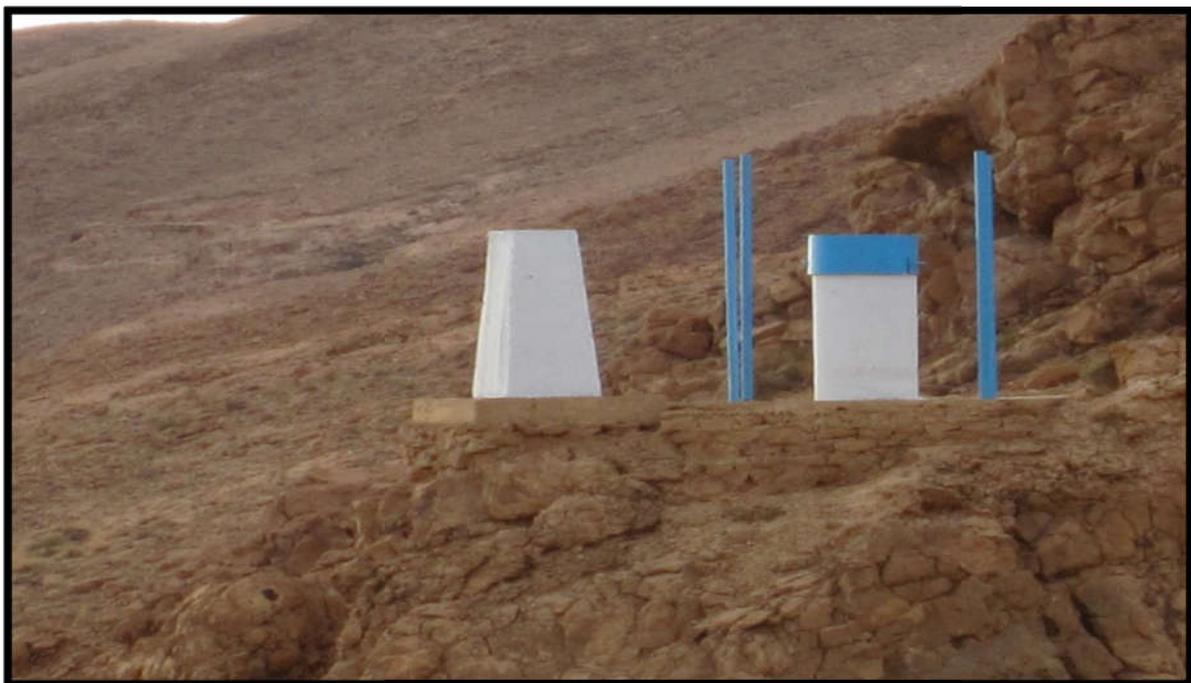


Figure II.9 : Repère topographiques



Figure II.10 : Echelle limnimétrique du barrage Foum El Gherza

II.7.4 Pendule direct :

D'après les archives du barrage, il existe un pendule direct en très mauvais état et inexploitable.

II.7.5 Extensomètre

Il existe deux extensomètres mais non exploitables.

II.7.6 Etat des joints

D'assez nombreuses fuites apparaissent sur le parement aval de la voûte. Ces écoulements s'accompagnent d'un dépôt noirâtre et se situent (figure.II.11):

- Aux joints de construction verticaux particulièrement entre la voûte et la culée.

- Aux joints horizontaux de reprise de coulage de béton.

Jusqu'en 1963 certaines fissures du parement aval faisaient l'objet de mesure d'écartement et avaient été munies de trois vis scellées en triangle. Ces dispositifs ne subsistent plus.



Figure II.11 : Fuites aux niveaux des joints et opération d'étanchement de la voûte.

Il faut signaler qu'une opération de colmatage de ces fuites est en cours d'exécution par injection de ciment et de bentonite.

II.7.7 Piézomètres :

Un dispositif de piézomètres a été mis en place dans le but de contrôler les circulations et l'état du rideau d'étanchéité. Le réseau de piézomètres comprend

- Une ligne de piézomètres amont parallèle à l'écran d'étanchéité et située à 20m à l'amont de son axe.
- Une ligne de piézomètres aval à peu près symétrique à la précédente par rapport à l'axe du rideau.
- Une série de piézomètre à l'aval dispersé assez régulièrement sur chaque rive dans la zone comprise entre le voile et les résurgences. (figure II.12)
- et sur chaque rive un piézomètre amont situé à quelques mètres de la cuvette.

Les piézomètres ont un diamètre qui varie de 40 à 75 mm et une profondeur de 20 à 110m. Certains forés à la verticale d'autres avec un angle d'inclinaison jusqu'à 30°.

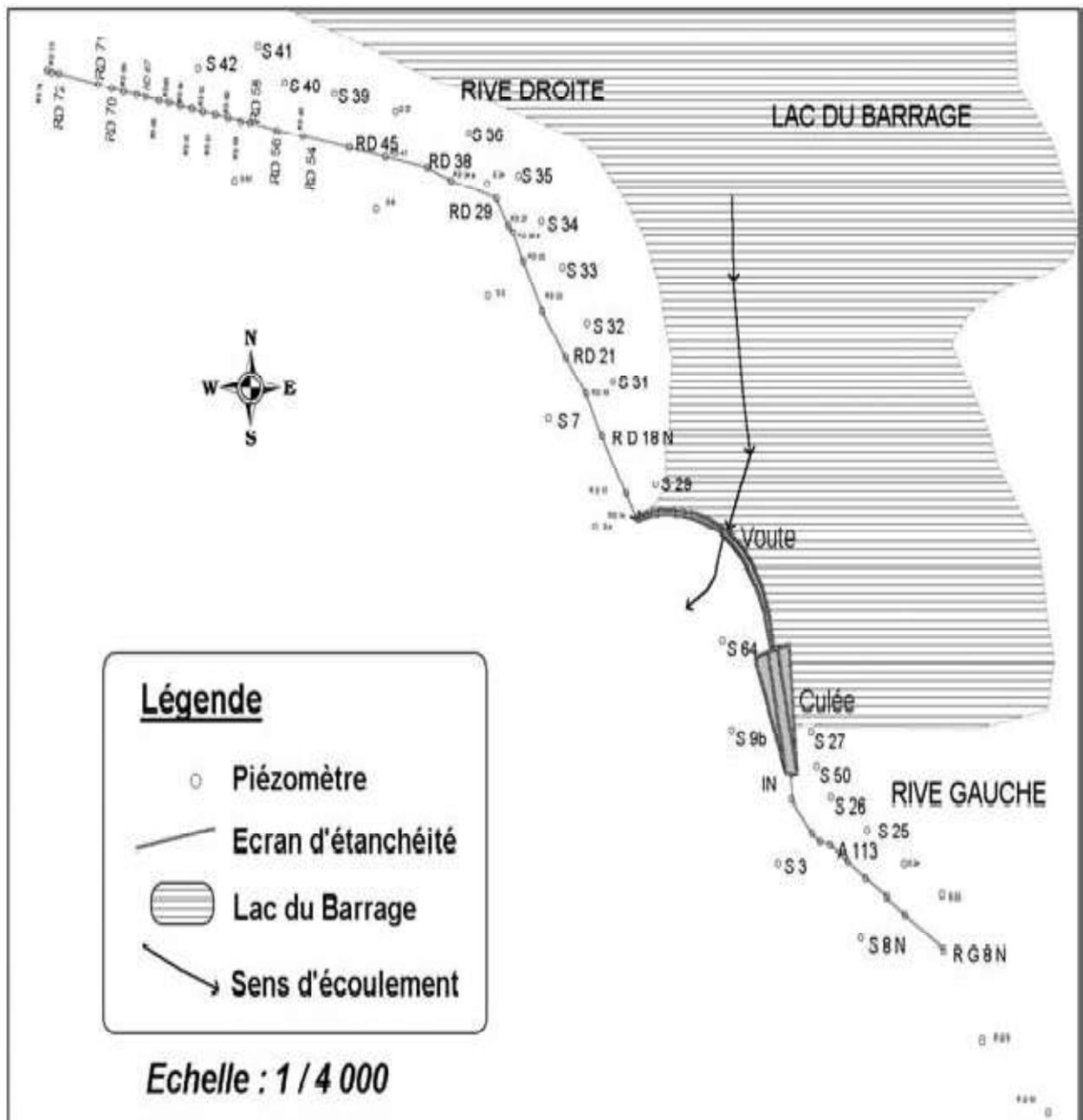


Figure II.12: Carte de répartition des piézomètres (ANBT)

Tableau II.2 : Répartition des piézomètres

199 PIEZOMETRES	Rive droite	Amont du voile	27	113
		Sur voile	64	
		Aval du voile	22	
	Partie centrale	Amont du voile	01	38
		Sur voile	22	
		Aval du voile	15	
	Rive Gauche	Amont du voile	11	48
		Sur voile	29	
		Aval du voile	08	

Des mesures irrégulières ont été faites dans les années soixante et soixante-dix. Malheureusement, il est à constater la régression dans le nombre des piézomètres d'observation utilisables et ceci suite à l'obstruction et l'envasement d'un très grand nombre (figure II.13)



Figure II.13 : mesure la profondeur de piézomètre

Tableau II. 3 : les réhabilitations des piézomètres au niveau du barrage Foug El Gherza :

Année	Nombres
1958	107 piézomètres observés
1966	32 piézomètres observés
1967	14 piézomètres observés
1968	08 piézomètres observés
1969	08 piézomètres observés
1971	10 piézomètres observés
1975	09 piézomètres observés
1978	06 piézomètres observés
1983	06 piézomètres observés
1994	05 piézomètres observés
1995	21 piézomètres observés
1996	24 piézomètres observés
2001	28 piézomètres observés
2005	20 piézomètres observés
2019	14 piézomètres observés

II-8 Conclusion :

Nous avons présentant les historique de construction du barrage Foug El Gherza et de la part la fiche technique du notre barrage.

Dans ce chapitre nous avons présentant les dispositifs d'auscultation et de l'exploitation au niveau du barrage Foug El Gherza.

La géologie de site de barrage et nous avons présentant les différents étages et faciès.

Nous avons remarquons qui plusieurs piézomètres à été bouché et en suite les travaux de réhabilitation des piézomètres ouverts par l'Agence Nationale des Barrages et transferts.

Chapitre : III

Analyse des Fuites du Barrage Foum El Gherza

III-1 Introduction :

La surveillance et l'auscultation ont pour objectif principal le suivi du comportement du barrage dans le temps, afin de maintenir son fonctionnement et d'assurer la sécurité de l'ouvrage et par conséquent celles des agglomérations à l'aval du barrage.

La surveillance et l'auscultation permettent de déterminer la consistance des travaux d'entretien, mais elles peuvent dépasser ce cadre en permettant d'une part de prendre des mesures de sécurité éventuelle et d'autre part de confronter le résultat des calculs à celui d'auscultation. Cette comparaison permet l'amélioration des connaissances théoriques.

III-2 Aperçu sur le programme élaboré:

Les axes d'interventions pour un meilleur diagnostic ont été subdivisés comme suit:

- La reprise des travaux sur les piézomètres anciens,
- L'implantation de piézomètres neufs pour ceux jugés non exploitables,
- Les travaux sur la bibliographie existante,
- La cartographie du site étudié,
- Les études géophysiques pour la rive droite,
- Mesures électriques, GRAVITRIMETRIQUES et électromagnétiques,
- Eludes des carottes prélevées par le Bureau études,
- Les recettes de coulis pour les étanchements
- Mise au point d'un logiciel pour la saisie de traitement et la corrélation de données de piézométrie,
- La quantification des fuites, drains et les urgences et leur interprétation,
- Une partie de ces interventions sera prise en charge par nos soins, d'autres sont en phase de réalisation alors que, le logiciel performant et en cours d'installation par le bureau d'étude et l'Agence Nationale des Barrages et transferts (A.N.B.T).

III- 3 Présentation de réseau piézométrique.

Le réseau des piézomètres doit-être réalisé après la construction du barrage et avant le remplissage total de la retenue ; les piézomètres sont réparties dans les points caractéristiques de la ligne piézométrique et se situant aux niveaux théoriques déjà calculés.

Alors, l'objectif assigné à cette opération descriptive a été en partie atteint. Un inventaire critique a été établi sur le terrain en tenant compte de la carte de position des piézomètres par rapport au voile d'étanchéité (Aval, Amont et sur le voile) car ces cartes piézométriques sont des documents de base de l'analyse et de la schématisation des fonctions capacitatives et conductrices du barrage c'est à dire le comportement hydrodynamique de l'ouvrage.

Alors, c'est la synthèse la plus importante d'une étude hydrogéologique, et leur établissement se repose sur la mesure des niveaux piézométriques, leur report sur des cartes topographiques en courbes de niveau et leur interprétation par des courbes Iso pièze, Isobathes etc....

D'ou l'opération réhabilitation du réseau de piézomètres entamée en 1988 par la société V.F.S.I, a été bien menée pour les piézomètres refaits.

III-3-1 Dentition :

Le piézomètre est un appareil destiné à mesurer, dans un sol, la pression interstitielle existant à un endroit déterminé.

III-3-2 Type d'appareils de piézomètres : les appareils d'auscultation par l piézomètre il existe deux types d'appareils suivants :

III-3-2-1 Le tube crépine:

Le tube crépine est un tube percée de trous à son extrémité, il est descendu dans un sondage la partie crépitée étant du fond du sondage et l'on place juste au-dessus de cette partie un bouchon d'argile destiné à assurer l'étanchéité.

Dans le cas où l'on cherche seulement à déterminer le niveau de la nappe phréatique, il n'est pas nécessaire de placer de bouchon d'argile (figure III.1)

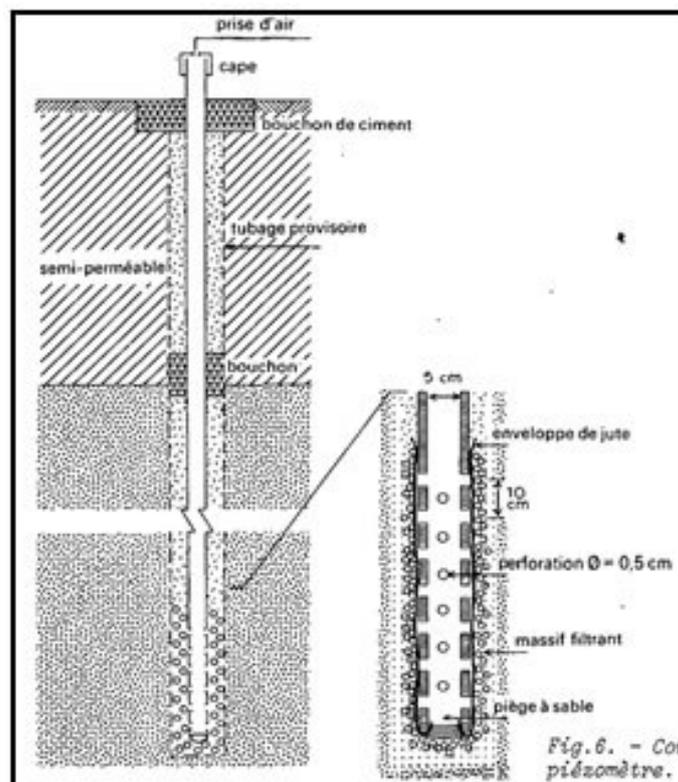


Fig.6. - Coupe piézomètre.

Figure III.1: Coupe schématique d'un piézomètre (KRUSEMAN.G.P. 1974)

Le niveau de l'eau monte dans le tube jusqu'à une hauteur h ; la pression interstitielle de l'eau dans le sol est alors :

$$U = \gamma_w h$$

L'inconvénient de cet appareil est que dans les sols peu perméables, il faut beaucoup de temps pour que l'équilibre soit rétabli et que l'eau ait atteint sa cote définitive. Ce temps est appelé temps de réponse du piézomètre.

III-3-2-2 Le piézomètre à volume constant :

Les piézomètres à volume constant dans lequel la crépine est remplacée par une partie poreuse (bronze frité ou céramique), et qui sont munis d'un manomètre à leur extrémité supérieur.

Le tube est rempli d'eau, une fois le piézomètre mis en place soit dans un sondage avec bouchon d'argile, soit par battage ou fonçage.

Le temps de réponse est très court, puisque l'eau est pratiquement incompressible.

La pression mesurée au manomètre est :

$$U = \gamma_w h$$

U : étant la pression interstitielle de l'eau dans le sol au voisinage de l'extrémité inférieure du tube.

H : la dénivellation par rapport à la surface.

III-4 Différents types des piézomètres:

A- Piézomètres multiples:

La réalisation est très délicate surtout en ce qui concerne l'efficacité des bouchons d'étanchéité, il est préférable de remplacer un piézomètre multiple par plusieurs piézomètres simples très voisins

B - Piézomètres Casagrande :

Cet appareil, constitué d'un tube terminé par un embout en matière poreuse qui repose à l'intérieur d'un lit de sable au fond d'un puits. Il est relié à un tube de plastique de diamètre voisin de 1 cm (figure III.3)

C- Piézomètre électrique:

Cet appareil a été mis au point pour réduire le temps de réponse et éviter les inconvénients rencontrés avec les piézomètres hydrauliques (purge des circuits, prise en compte de la dénivellation cellule- manomètre etc ...)

D- Autres piézomètres:

Il convient de signaler les Piézomètres pneumatiques et surtout les Piézomètres à contre pression. Le piézomètre à contre-pression hydraulique, le type L.P.C est très répandu pour l'étude des remblais. (Figure III.2)



Figure III.2. Piézomètre multiple Source : SESGEO.COM

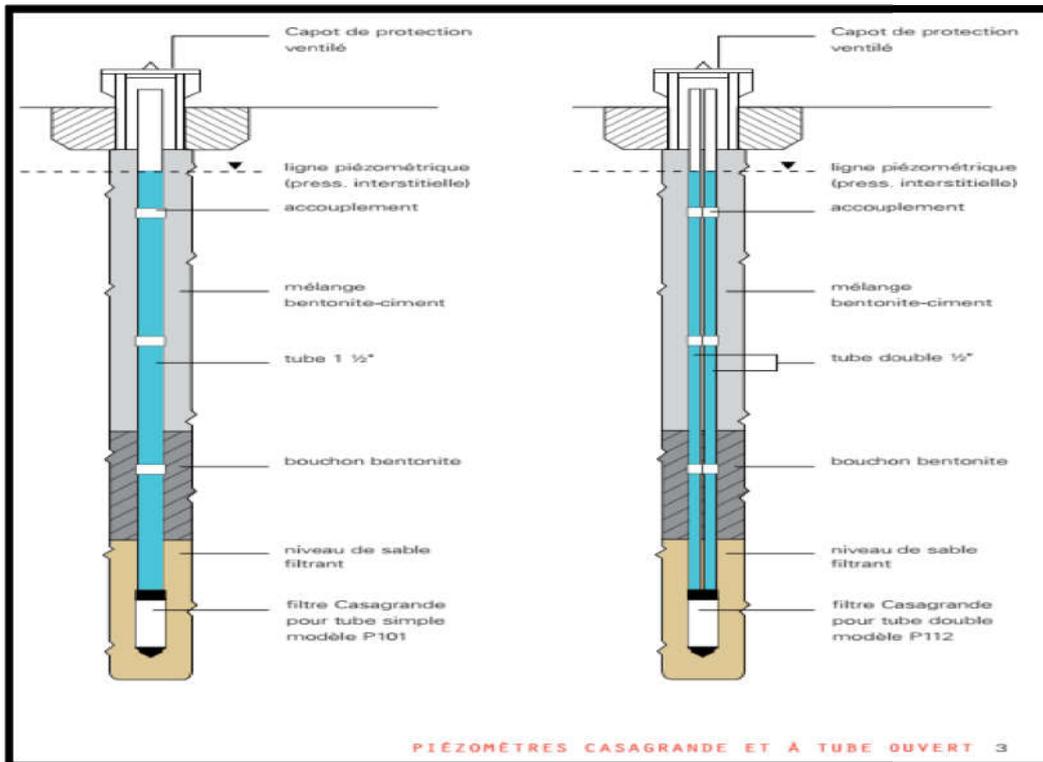


Figure III.3 piézomètre CASAGRANDE Source : <https://slideplayer.fr>



Figure III.4 : La sonde piézométrique



Figure III.5 : La sonde piézométrique, La source :(seisgeo.com)

III-4 -1 La piézométrie:

En vue d'assurer le suivi en matière d'auscultation du barrage de Foug-El-Gherza et dont l'intérêt de la maîtrise des données relatives aux fluctuations du plan d'eau du barrage, la D.M.C (Direction de la Maintenance et Contrôle), Département d' Auscultation a initié une opération qui a pour but d'établir un diagnostic sur la situation des piézomètres du barrage.

Ce que nous suggérons au vu de la carte et du positionnement des piézomètres (Voir figure III.6) c'est de prendre en charge (curage, reformage et équipement) de certains ouvrages représentatifs au annexe A, qui identifie l'état des piézomètres de barrage Foum-El- Gherza.

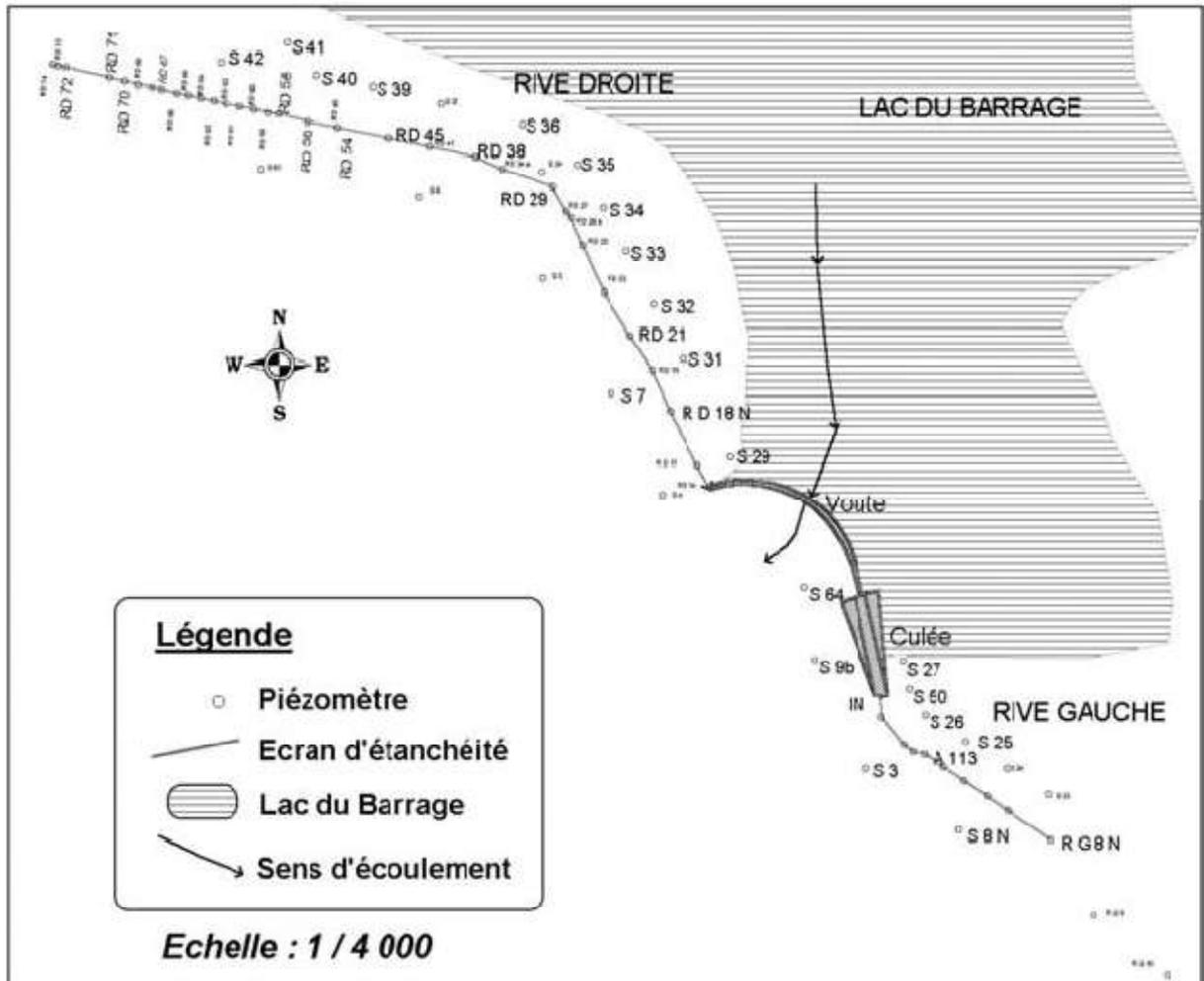


Figure III.6 : Carte de répartition des piézomètres (ANBT)

III-4-2 Présentation du Réseau étudié:

Dans le but de contrôler les circulations de l'eau et l'état du rideau d'étanchéité un dispositif de réseau piézométrique a été établi sur le terrain et qui comprend :

Un réseau de piézomètres: décrits comme suit:

Une ligne de piézomètres amont parallèle à l'écran d'étanchéité et située à 20 m à l'amont son axe.

Elle a pour fonction d'indiquer le niveau des eaux souterraines dans le massif rocheux adjacent au barrage.

Une ligne de piézomètres à l'aval à peu près symétriques à la précédente par rapport à l'axe du rideau
 - Une série de piézomètres à l'Aval dispersées assez régulièrement, sur chaque rive dans la zone compris entre le voile et les résurgences.

Sur chaque rive, un piézomètre amont situé à quelques mètres de la cuvette.

Le réseau piézométrique de notre étude est constitué par une série de piézomètre dont en positionnement est étagé (Amont, Ecran, Aval) Rive Droite

Pour mieux expliquer, nous avons dressé le tableau qui inventorie l'état de fonctionnement et qu'on peut prendre en charge immédiatement jusqu'à la dernière mesure faite le : 01/01/2019.

Tableau III.1 : Profondeur et les cote d'orifice des quelque piézomètres.

Profond (m)	Piézo.	Cote d'orifice (m)	Inclinaison	Matière	Situation
60.00	<i>S 25</i>	<i>203,39</i>	/	Acier	<i>R G</i>
55.00	<i>S 26</i>	<i>206,91</i>	/	Acier	<i>R G</i>
60.00	<i>S 50</i>	<i>204,11</i>	/	Acier	<i>R G</i>
70.00	<i>S 27</i>	<i>200,51</i>	/	Acier	<i>R G</i>
50.00	<i>Dig A3</i>	<i>204,15</i>	/	/	<i>Sur voile</i>
45.00	<i>IN</i>	<i>204,15</i>	60/150	/	<i>Sur voile</i>
45.00	<i>S 8 N</i>	<i>204,25</i>	/	Acier	<i>Sur voile</i>
45.00	<i>RG 8 N</i>	<i>205,82</i>	/	/	<i>Sur voile</i>
30.50	<i>S 9 bis</i>	<i>186,32</i>	Vertical	/	<i>Aval voile</i>
5.50	<i>S 64</i>	<i>157,83</i>	/	/	<i>Aval voile</i>
70.00	<i>S 31</i>	<i>224,09</i>	/	Acier	<i>R D</i>
95.00	<i>S 32</i>	<i>227,67</i>	/	Acier	<i>R D</i>
95.00	<i>S 33</i>	<i>227,80</i>	/	Acier	<i>R D</i>
100.00	<i>S 34</i>	<i>230,80</i>	/	Acier	<i>R D</i>
100.00	<i>S 35</i>	<i>233,60</i>	/	Acier	<i>R D</i>
100.00	<i>S 36</i>	<i>228,89</i>	/	Acier	<i>R D</i>
120.00	<i>S 39</i>	<i>248,52</i>	/	Acier	<i>R D</i>

Profond (m)	Piézo.	Cote d'orifice (m)	Inclinaison	Matière	Situation
120.00	<i>S 40</i>	<i>237,64</i>	/	Acier	<i>R D</i>
120.00	<i>S 41</i>	<i>253,08</i>	/	Acier	<i>R D</i>
120.00	<i>S 42</i>	<i>253,65</i>	/	Acier	<i>R D</i>
90.00	<i>RD 18 N</i>	<i>221,10</i>	/	PVC	<i>R D</i>
95.00	<i>RD 21 N</i>	<i>226,83</i>	/	PVC	<i>R D</i>
95.00	<i>RD 45 N</i>	<i>226,32</i>	/	PVC	<i>R D</i>

III-5 Historique des piézomètres :

Les archives anciennes établies après la mise en eau du barrage présentent différents aperçus sur la circulation de l'eau à travers le voile d'étanchéité

Nous avons constaté une régression dans le nombre de piézomètres observées :

Tableau III.2 : Historique des nombres piézomètre au niveau du barrage Foum El Gherza :

Année	Nombres piézomètre
1966	13
1968	8
1969	8
1971	6
1983	5
1994	5
2019	18

Tableau III.3 : Les mesures des piézomètres :

Date de Mesures		13/02/19	22/02/19	09/03/19	24/03/19	11/04/19	29/04/19	
Cote du lac		197,08	196,90	196,60	196,38	198,80	198,82	
N° PIEZ	C.D	Prof						
<i>S 25</i>	203,39	60.00	190,64	190,46	190,33	189,57	193,66	192,99
<i>S 26</i>	206,91	55.00	190,96	190,67	190,35	189,81	195,43	194,99
<i>S 50</i>	204,11	60.00	187,12	186,11	184,29	182,69	196,34	195,61
<i>S 27</i>	200,51	70.00	184,13	183,67	183,30	182,82	186,93	186,42
<i>Dig A3</i>	204,15	50.00	172,50	172,31	185,79	171,71	186,33	174,16
<i>I N</i>	204,15	45.00	185,80	185,82	172,04	185,66	174,38	186,24
<i>S 8 N</i>	204,25	45.00	171,60	171,51	171,29	170,77	171,97	172,01
<i>RG 8 N</i>	205,82	45.00	176,47	176,47	176,47	176,47	176,47	176,47
<i>S 9 bis</i>	186,32	30.50	161,70	161,70	161,70	161,70	161,70	161,70
<i>S 64</i>	157,83	5.50	153,81	153,81	153,81	153,81	153,81	153,81
<i>S 31</i>	224,09	70.00	192,06	191,85	191,63	191,37	196,84	196,20
<i>S 32</i>	227,67	95.00	197,47	197,47	197,47	197,47	197,47	197,47
<i>S 33</i>	227,80	95.00	194,70	194,70	194,70	194,70	195,56	195,00
<i>S 34</i>	230,80	100.00	189,44	188,98	188,03	187,65	196,26	195,79
<i>S 35</i>	233,60	100.00	192,98	192,80	192,41	192,11	195,09	195,17
<i>S 36</i>	228,89	100.00	194,79	194,61	194,32	193,98	197,19	197,17
<i>S 39</i>	248,52	120.00	194,56	194,40	194,07	193,81	196,59	196,71
<i>S 40</i>	237,64	120.00	179,41	179,34	179,13	178,73	181,34	181,28
<i>S 41</i>	253,08	120.00	189,08	189,08	189,08	189,08	195,92	195,98
<i>S 42</i>	253,65	120.00	235,65	235,65	235,65	235,65	235,65	235,65

III-5-1 présentation et interprétation des résultats :

Pour interpréter et analyser les mesures piézométriques il est important d'avoir recours aux données piézométriques prises en années hydrologiques :

1994-1995-1995-1996 et 1996-1997 concernant les piézomètres de la rive droite (Objet de notre étude): RD18, S31, RD21, RD38, RD38, RD45, S32, S33, S34, S35, S36. (tableau III.3).

Il ressort d'une première étude de ces données que certaines années sont entachées de lacunes et que la courte longueur de la sonde électrique rend toute information sur le niveau des basses eaux complètement impossible.

Tout ceci nous a obligés à prendre en considération un nombre limité de mesures piézométriques (Mensuellement), qui vient s'ajouter à la restriction du champ d'observation.

III -6 Les fuites:**III-6.1 Historique des fuites**

La mise en eau du barrage de Foum El Gherza a débuté dans la deuxième quinzaine du mois de février 1950. Le volume total des fuites de la cuvette semble plus important que celui escompté après les derniers travaux d'étanchement, soit 250 l/s pour la cote de retenue à 195m.

Les débits de fuite ont commencé à apparaître pour la cote 154 et ont passé une valeur maximum de 310 L/s à la cote 164m. Par la suite, à la cote 168 les fuites ont vu leurs débits croître très rapidement pour atteindre la valeur de 330L/s à la cote 173 m.

Une étude dans les années 60 a estimé les pertes par fuites entre 2 Millions et 10 Millions de m³ a mis en évidence une relation en puissance entre la cote du lac et les débits des fuites (figure.III.7). 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 par an.

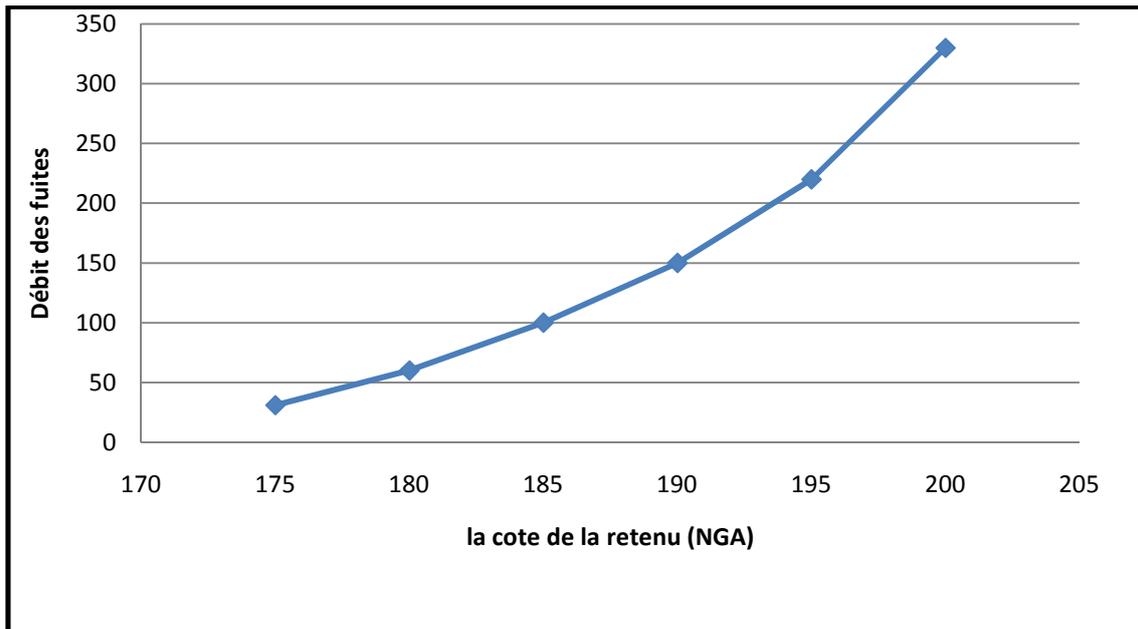


Figure III.7: Courbe de variation des niveaux du la cuvette et du débit des fuites

III -6.2. Les différentes nature des fuites :

III -6.2.1. Fuites à travers le béton et la voûte :

Ce sont des fuites qui se produisent au niveau de certaines reprises de bétonnage et de certains joints de construction. Ces fuites ne posent aucun problème quant à la sécurité de l'ouvrage.

III -6.2. 2 Fuites de la vanne de fond

Après chaque utilisation des vannes de fond, il se produit des fuites d'importance variable mais jamais particulières. Ces fuites finissent par se colmater au bout de quelques jours, soit naturellement par envasement, soit après l'intervention de l'équipe chargée de l'exploitation du barrage.

III -6.2.3 Fuites à Travers le massif calcaire :

Le barrage étant construit sur des formations carbonatées fissurées, donc perméables, on s'est efforcé dès le début à traiter par injection les niveaux les plus perméables (voir écran d'étanchéité). Les eaux de la retenue et après passage dans le massif, réapparaissent dans l'oued par une multitude de sources d'importance variable.

III.7 Les drains

Il n'a pas été prévu de dispositif important de drainage à l'aval du rideau d'étanchéité :

- En rive gauche : trois drains de l'appui rive gauche débouchent dans la galerie de visite;

- Sur la rive droite la galerie de départ des irrigations court parallèlement à l'oued à une cote voisine de celui-ci jusqu'à la sortie des gorges. Des résurgences apparaissent tout au long de cette galerie qui constitue le drain principal de l'écoulement rive droite.

D'autres drains de moindre importance existent sur les deux rives et au niveau de l'oued.

III-8. Le réseau de jaugeage

Sur la rive droite, la galerie d'amenée (canal) est munie d'un déversoir triangulaire pour la mesure des débits. Les autres points comprennent (figure III.8):

- Un jaugeur pour chaque résurgence notable,
- Un bassin avec déversoir triangulaire pour chaque groupe de résurgence,
- Un réseau de canaux collecteurs courant sur chaque berge et collectant les débits des groupes de résurgences,
- Deux déversoirs à la sortie des gorges mesurant sur chaque rive le débit total drainé par l'oued.

Actuellement, la majeure partie des points de mesures sont envasés ou ont été emportés par les dernières crues et il ne subsiste que le canal d'irrigation de la rive droite.

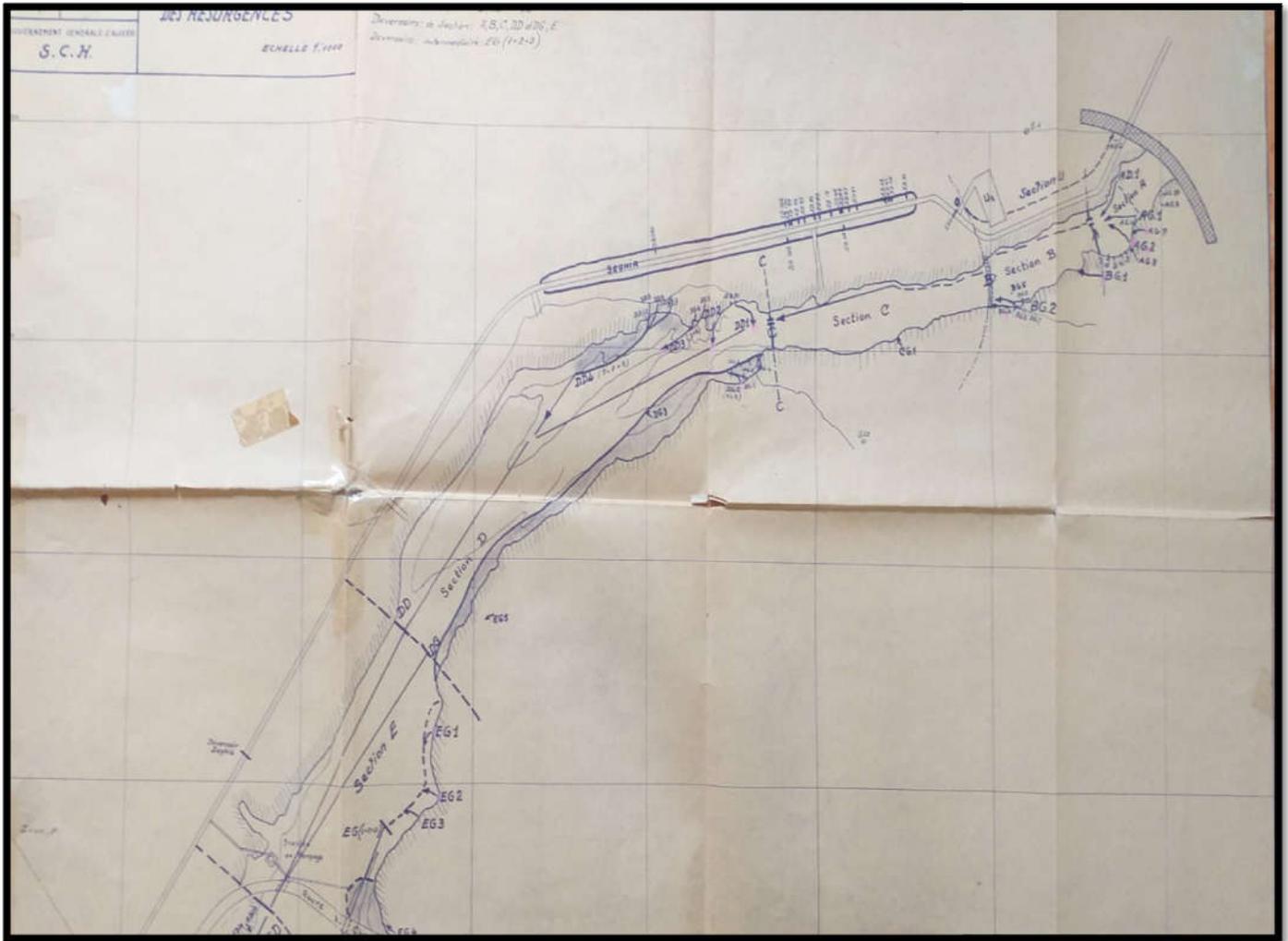


Figure III.8 : Plan de répartition des résurgences

III-9 Mesures de fuite :

Les mesures de fuite long de la galerie d’irrigation aval du barrage rive droite, se font à la sortie avec un déversoir calibré.

Des résurgences apparaissent tout au long de cette galerie qui constitue le drain principal de l’écoulement rive droite.

Accès difficile aux seuils situés dans le lit de l’oued qui mesurent les débits de fuites et de résurgences de la rive droite et de la rive gauche.(Figure III.9 et figure III.10)



Figure III.9 : Déversoir triangulaire pour la mesure du débit du canal rive droite



Figure III.10: Mesure des fuites au niveau de la galerie d'irrigation

Tableau III.4. : L'état et récapitulation des équipements et matériels d'auscultation :

Type d'équipement d'auscultation	Quantité	Etat	Etat des équipements de mesure	Obs.
Piézomètre ouverts	199	20 exploitations 179 inexploitables	Moyen	A curer et équiper
Piézomètre avec manomètre	02	Inexploitables	Mauvais	A reformer à équiper
Cellule de pression interstitielle	Néant	-	-	-
Cellule de pression total	Néant	-	-	-
Drains	235	29 exploitables 204 inexploitables	Mauvais	A curer à reformer
Extensomètre	2	-	-	-
Inclino-tassomètre	Néant	-	-	-
Inclinomètre	Néant	-	-	-
Pendule direct ou inverse	1	Inexploitable	Mauvais non fonctionnel	A changer
Joint-mètre ou borne vinchon	Néant	-	-	-
Echelle limnimétrique	1	Exploitable	Moyen	Etat dégradé
Canevas géodésique : tout le réseau de surveillance est en bon état				
Piliers de triangulaire		11		
Repères d'intersection X ,Y ,Z		26		
Repère de nivellement crête		21		
Repère de référence		8		

III-10 PERIODICITE DES MESURES D'AUSCULTATION

Pour les mesures de piézométrie, de pression et de débit, l'ordre de grandeur raisonnable est la lecture mensuelle. Pour les barrages n'intéressant pas la sécurité publique, des mesures écartées de deux ou trois mois sont tolérées.

En ce qui concerne le barrage de Foum El Gherza, nous avons constaté que depuis le début des années 90 les mesures ont été faites hebdomadairement.

Pour les mesures de déformation par pendules, extensomètres, fissuromètres, vinchon, la périodicité habituelle est d'une mesure tous les quinze jours. Elle ne devrait pas dépasser une mesure tous les deux mois dans le cas des barrages n'intéressant pas la sécurité publique.

Les mesures topographiques doivent être effectuées deux fois par an pour les barrages intéressant la sécurité publique.

Bien entendu, il est recommandé de resserrer le rythme des mesures en cas de problème particulier (évolution des débits de fuite non liée à une variation de niveau de la retenue.) (figure III.11)



Figure III.11 : Nettoyage des bassins de mesure des fuites

Tableau III.5 Mesures des Fuites en Hm3 au niveau du barrage Foum El Gherza :

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout	Total
50/51	0,142	0,370	0,414	0,399	0,418	0,482	0,681	0,602	0,715	0,626	0,536	0,460	5,845
51/52	0,410	0,596	0,754	0,726	0,382	0,354	0,294	0,139	0,055	0,131	0,030	0,003	3,875
52/53	0,060	0,109	0,086	0,040	0,039	0,030	0,084	0,284	0,283	0,310	0,221	0,122	1,668
53/54	0,258	0,265	0,209	0,119	0,082	0,085	0,123	0,147	0,272	0,190	0,121	0,105	1,977
54/55	0,069	0,057	0,055	0,046	0,026	0,046	0,027	0,019	0,453	0,494	0,407	0,337	2,038
55/56	0,324	0,586	0,607	0,485	0,367	0,296	0,340	0,425	0,417	0,437	0,403	0,332	5,019
56/57	0,264	0,209	0,210	0,200	0,188	0,121	0,136	0,125	0,130	0,119	0,091	0,060	1,853
57/58	0,043	0,137	0,222	0,310	0,495	0,570	0,708	0,791	0,679	0,702	0,618	0,608	5,883
58/59	0,583	0,624	0,669	0,629	0,874	0,573	0,659	0,682	0,870	1,008	0,954	0,991	9,115
59/60	0,842	1,037	0,954	0,723	0,824	0,689	0,725	0,775	0,710	0,902	1,113	1,147	10,441
60/61	0,889	0,718	0,594	0,508	0,557	0,474	0,495	0,477	0,516	0,597	0,439	0,397	6,660
61/62	0,389	0,388	0,332	0,277	0,291	0,246	0,259	0,231	0,247	0,203	0,209	0,208	3,281
62/63	0,170	0,144	0,143	0,142	0,143	0,151	0,192	0,207	0,214	0,225	0,231	0,227	2,189
63/64	0,248	0,252	0,233	0,270	0,508	0,648	0,795	0,645	0,623	0,596	0,606	0,576	6,000
64/65	0,542	0,548	0,499	0,524	0,619	0,625	0,688	0,644	0,424	0,207	0,214	0,214	5,748
65/66	0,207	0,214	0,207	0,214	0,214	0,194	0,214	0,207	0,214	0,207	0,214	0,214	2,523
66/67	0,254	0,716	0,746	0,713	0,713	0,611	0,501	0,480	0,394	0,222	0,145	0,113	5,608
67/68	0,182	0,221	0,219	0,235	0,248	0,240	0,243	0,291	0,310	0,261	0,279	0,292	3,021
68/69	0,195	0,196	0,180	0,133	0,124	0,112	0,146	0,143	0,201	0,123	0,070	0,031	1,654
69/70	0,075	0,605	0,960	0,827	0,706	0,655	0,588	0,491	0,551	0,487	0,422	0,528	6,895
70/71	0,385	0,326	0,330	0,312	0,310	0,280	0,302	0,199	0,203	0,185	0,168	0,156	3,156
71/72	0,112	0,149	0,150	0,144	0,217	0,277	0,253	0,340	0,405	0,334	0,302	0,311	2,994
72/73	0,476	0,404	0,510	0,420	0,497	0,482	0,414	0,653	0,576	0,581	0,495	0,460	5,968
73/74	0,398	0,398	0,252	0,222	0,314	0,354	0,279	0,224	0,256	0,200	0,154	0,169	3,220
74/75	0,115	0,109	0,090	0,060	0,031	0,039	0,067	0,081	0,118	0,072	0,046	0,031	0,859
75/76	0,060	0,186	0,116	0,060	0,062	0,078	0,143	0,217	0,222	0,154	0,294	0,280	1,872
76/77	0,281	0,374	0,370	0,303	0,577	0,644	0,540	0,573	0,584	0,622	0,555	0,572	5,995
77/78	0,479	0,491	0,462	0,356	0,361	0,308	0,236	0,229	0,196	0,128	0,114	0,104	3,464
78/79	0,180	0,145	0,210	0,204	0,112	0,088	0,107	0,074	0,119	0,052	0,007	0	1,298
79/80	0,119	0,215	0,233	0,199	0,126	0,145	0,179	0,099	0,124	0,095	0,077	0,032	1,643
80/81	0,062	0,140	0,198	0,232	0,187	0,227	0,269	0,226	0,199	0,164	0,250	0,209	2,363
81/82	0,194	0,238	0,300	0,248	0,195	0,145	0,122	0,094	0,127	0,112	0,100	0,077	1,952
82/83	0,077	0,117	0,664	0,889	0,719	0,635	0,817	0,472	0,740	0,540	0,486	0,440	6,596
83/84	0,600	0,387	0,528	0,380	0,434	0,451	0,495	0,346	0,337	0,273	0,177	0,112	4,520
84/85	0,147	0,148	0,284	0,259	0,231	0,275	0,423	0,350	0,596	0,588	0,470	0,297	4,068
85/86	0,272	0,210	0,224	0,177	0,100	0,045	0,157	0,354	0,375	0,252	0,214	0,093	2,473
86/87	0,095	0,248	0,420	0,376	0,380	0,392	0,344	0,301	0,295	0,115	0,124	0,100	3,190
87/88	0,090	0,093	0,090	0,093	0,093	0,087	0,093	0,090	0,079	0,090	0,093	0,098	1,089
88/89	0,162	0,186	0,168	0,199	0,181	0,147	0,207	0,121	0,168	0,171	0,283	0,214	2,207
89/90	0,860	1,054	0,548	0,793	0,571	0,637	0,578	0,695	1,007	0,505	0,606	0,864	8,718
90/91	0,716	0,805	0,508	0,868	0,647	0,536	0,555	0,788	0,794	0,395	0,379	0,360	7,351

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout	Total
91/92	0,546	0,456	0,677	0,635	0,421	0,522	0,612	0,411	0,416	0,327	0,315	0,367	5,705
92/93	0,298	0,403	0,394	0,269	0,279	0,297	0,411	0,323	0,442	0,108	0,143	0,137	3,504
93/94	0,120	0,106	0,046	0,062	0,062	0,053	0,076	0,106	0,075	0,033	0,008	0	0,747
95/96	0,154	0,254	0,228	0,209	0,266	0,393	0,572	0,525	0,639	0,491	0,595	0,381	4,707
96/97	0,442	0,252	0,278	0,219	0,130	0,154	0,183	0,169	0,157	0,130	0,100	0,094	2,308
97/98	0,218	0,223	0,297	0,379	0,240	0,271	0,314	0,286	0,222	0,286	0,205	0,179	3,120
98/99	0,154	0,115	0,090	0,093	0,102	0,135	0,136	0,099	0,161	0,146	0,054	0,037	1,322
99/00	0,043	0,062	0,060	0,139	0,233	0,198	0,128	0,103	0,148	0,227	0,201	0,136	1,678
00/01	0,167	0,087	0,105	0,093	0,098	0,055	0,053	0,060	0,081	0,040	0,048	0,031	0,918
01/02	0,043	0,137	0,114	0,217	0,190	0,168	0,071	0,146	0,110	0,072	0,026	0,024	1,318
02/03	0,162	0,192	0,042	0,217	0,243	0,308	0,385	0,134	0,404	0,237	0,205	0,279	2,808
03/04	0,294	0,115	0,480	0,496	0,286	0,261	0,437	0,030	0,031	0,030	0,031	0,031	2,522
04/05	0,030	0,031	0,465	0,503	0,496	0,448	0,496	0,480	0,496	0,467	0,171	0,193	4,276
05/06	0,166	0,155	0,150	0,053	0,103	0,123	0,155	0,118	0,087	0,240	0,127	0,113	1,590
06/07	0,097	0,111	0,191	0,171	0,099	0,076	0,124	0,120	0,049	0,120	0,073	0,031	1,262
07/08	0,039	0,107	0,090	0,083	0,089	0,087	0,063	0,060	0,062	0,050	0,071	0,057	0,858
08/09	0,101	0,131	0,150	0,167	0,142	0,028	0,031	0,030	0,061	0,072	0,181	0,106	1,200
09/10	0,189	0,230	0,232	0,205	0,071	0,196	0,122	0,110	0,217	0,078	0,187	0,084	1,921
10/11	0,120	0,124	0,099	0,052	0,124	0,112	0,157	0,054	0,121	0,030	0,109	0,073	1,175
11/12	0,120	0,052	0,090	0,151	0,217	0,125	0,196	0,300	0,130	0,150	0,054	0,093	1,678
12/13	0,090	0,093	0,090	0,093	0,083	0,056	0,062	0,093	0,238	0,144	0,110	0,031	1,183
13/14	0,091	0,062	0,158	0,181	0,155	0,138	0,124	0,120	0,124	0,096	0,062	0,062	1,373
14/15	0,060	0,043	0,000	0,000	0,000	0,000	0,045	0,163	0,216	0,180	0,186	0,186	1,079
15/16	0,210	0,265	0,100	0,185	0,248	0,232	0,248	0,288	0,310	0,100	0,288	0,237	2,711
16/17	0,190	0,129	0,098	0,093	0,093	0,084	0,080	0,080	0,037	0,036	0,085	0,057	1,062
17/18	0,087	0,124	0,120	0,109	0,074	0,056	0,060	0,061	0,102	0,147	0,016	0,019	0,975

Max	0,889	1,054	0,960	0,889	0,874	0,689	0,817	0,791	1,007	1,008	1,113	1,147	10,441
Min	0,030	0,031	0,000	0,000	0,000	0,000	0,027	0,019	0,031	0,030	0,007	0,000	0,747
Moy	0,241	0,278	0,299	0,290	0,281	0,271	0,297	0,282	0,312	0,266	0,244	0,224	3,285
Total	16,41	18,90	20,31	19,71	19,11	18,39	20,22	19,16	21,23	18,10	16,62	15,19	223,41

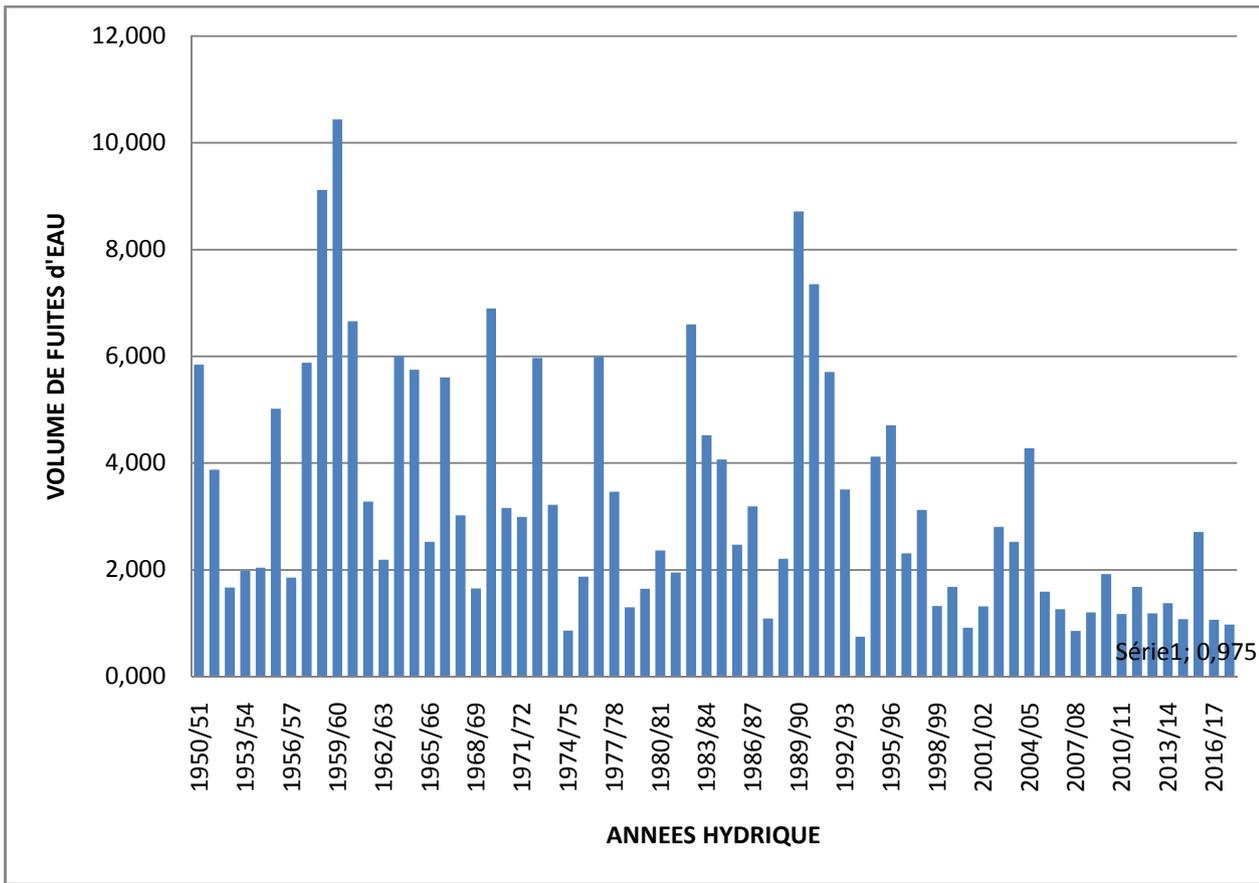


Figure III.12: Variation du volume de fuites en fonction du temps

Les quantités de fuites sont très importantes. D’après le diagramme de variation du volume de fuites en fonction du temps, le volume totale de fuites est égale à 4.707 Hm³ ,pour les années 1995/1996 et 1989/1990, dépasse sept 7 million m³ et pour l’année hydrologique1963/1964, ce volume atteint 6.000Hm³. Pour les années 1974/1975 et 1993/1994 correspondant à une période de sécheresse, les volumes de fuites sont estimés respectivement à 0.747 et 0.859 hm³.

En même temps, les débits de fuites sont proportionnels à l’apport d’eau et atteignent des valeurs extrêmes à la cote maximale du niveau d’eau de la retenue. Ce qui montre que l’origine des fuites est bien le barrage.

III-11 Les fuites mensuelles pour les années 2017, 2007 et 1997 :

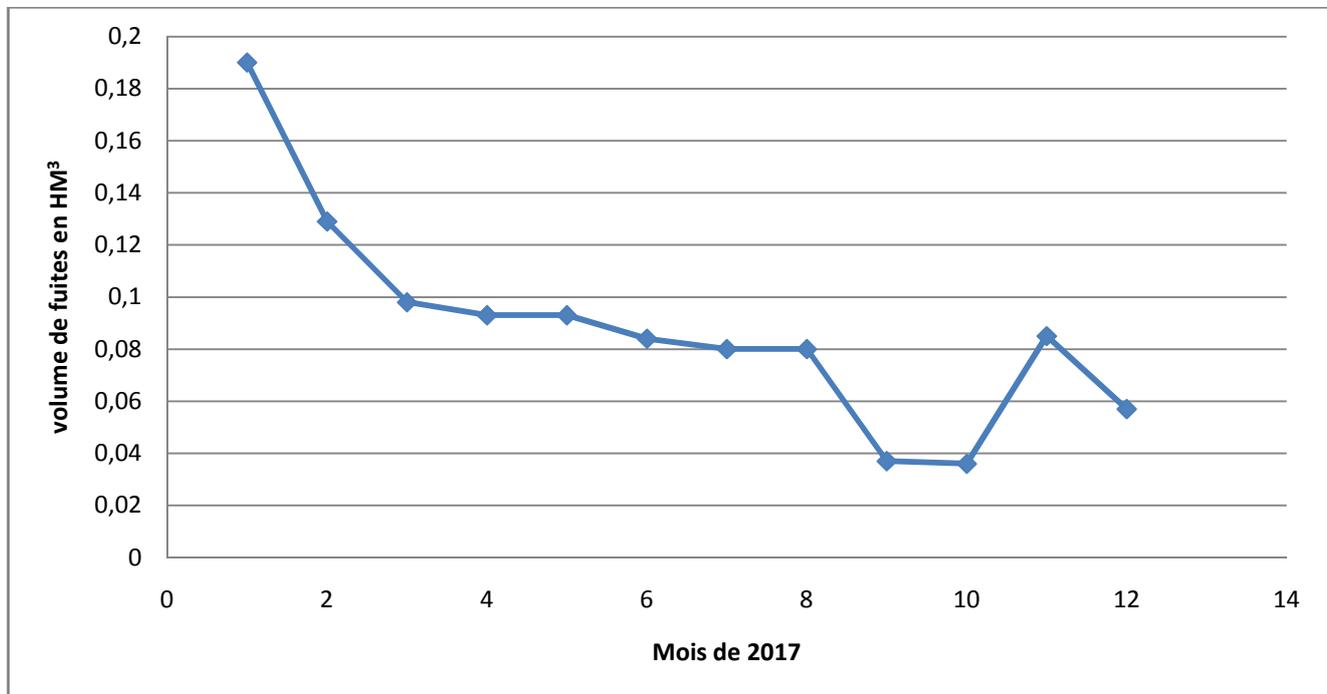


Figure III.13: Variation du volume de fuites en fonction du temps (2017)

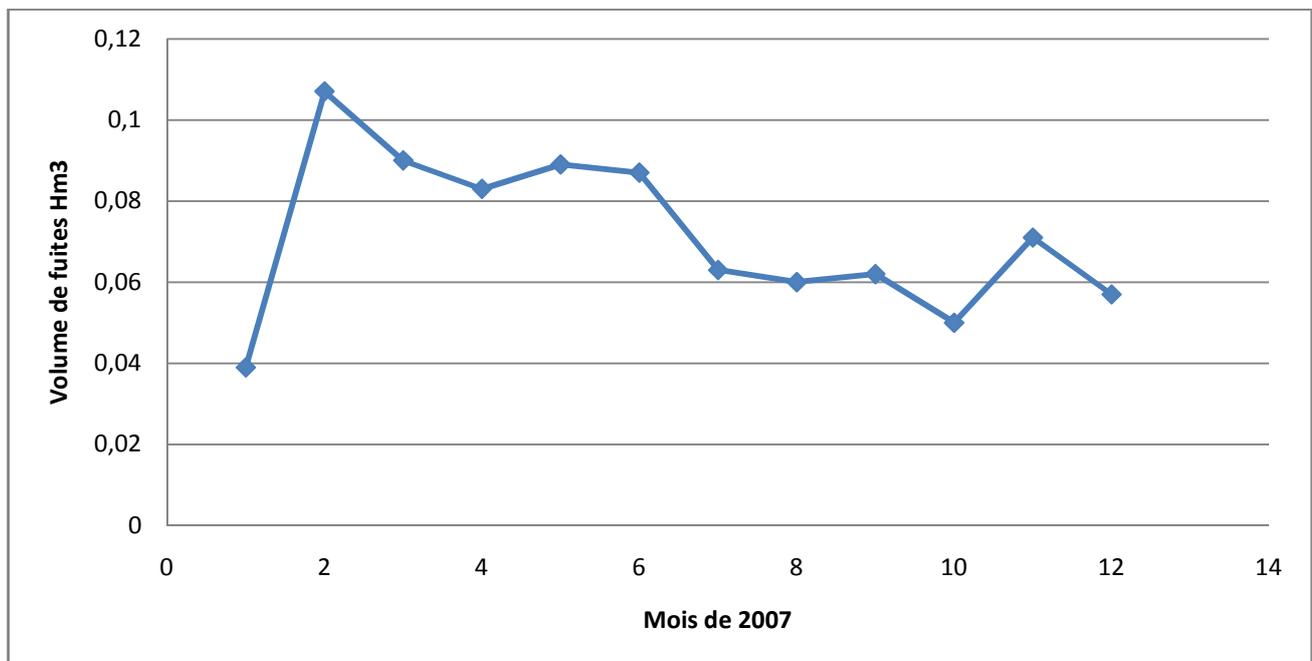


Figure III.14: Variation du volume de fuites en fonction du temps(2007)



Figure III.15 : Variation du volume de fuites en fonction du temps (1997)

III-11-1 Présentation et interprétation des résultats :

Nous remarquons après l’analyse des données de fuites à travers le barrage de Foum El Gherza pour les années 2007, 2017 et 1997, la même variation de volume et toujours une correspondance entre le volume d’eau de la retenu et le volume de fuites. Pendant les mois de Mars et Avril qui présentent des apports de crues importants, le volume de fuite augmente et atteint deux cent mille mètre cube.

III-11 -2 Bilan Hydraulique Annuel année (2012/ 2013)

Pour l’année hydrique 2012 -2013 nous avons remarquons le volume de fuite égale 1/3 de volume lâché pendant cette année et malgré pas de vidange de fond et volume lâché par déversoir

Tableau III.6 : Bilan hydrique (2012/2013)

Désignation	Volume (Hm3)
Fuites	1.186
Vidange de fond	0,300
Déversoir	0,000
Dévasement	0,000
Evaporation	2,991
Défluent	4,477

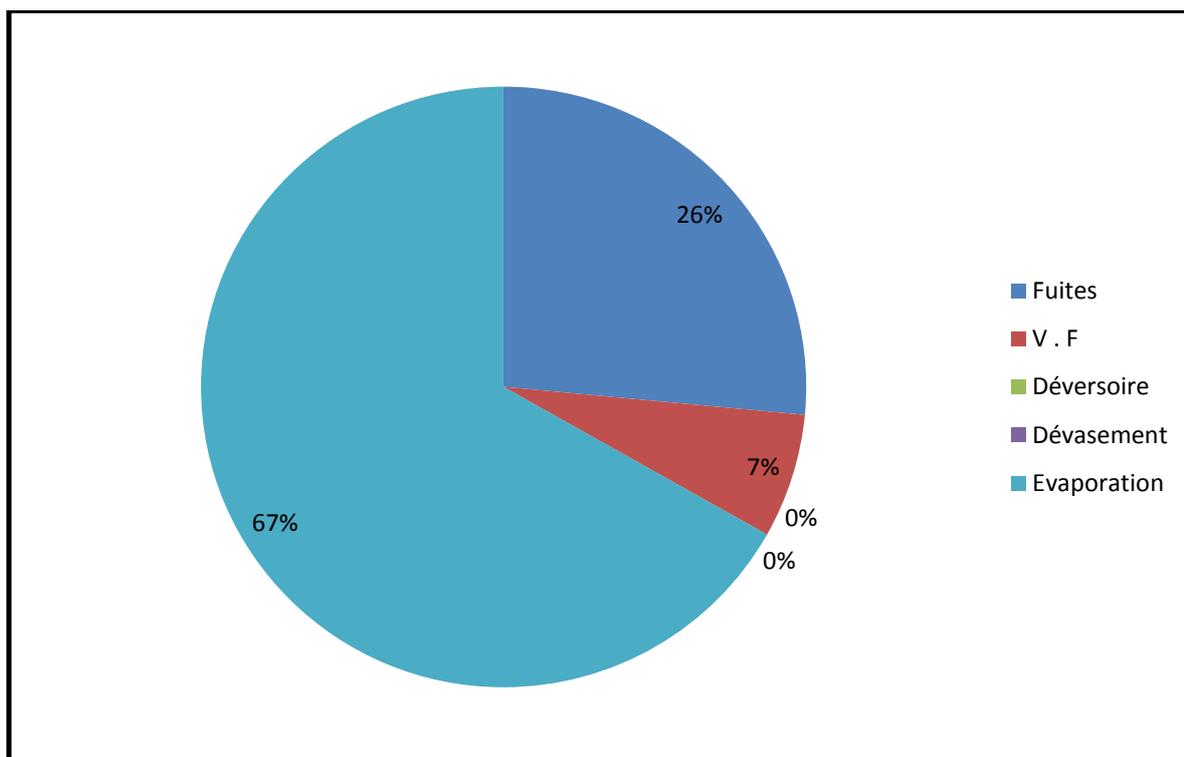


Figure III.16 : Répartition des volumes défluent pour l'année 2012-2013

III-11 -3 Bilan Hydraulique Annuel (année 2009/ 2010) :

Pour l'année hydrique 2009 -2010, on a tracé un graphe à secteur pour vérifier les répartitions quantitatives du volume de fuites par rapport au volume de défluant et nous avons remarqué que le volume de fuite est égal à 1/3 du volume le plus important et les données de cette année sont dressées dans le tableau ci-dessous suivant à titre indicatif :

Tableau III.7 : Bilan hydrique 2009/2010

Désignation	Volume (Hm3)
Fuites	1,837
Vidange de fond	0,054
Déversoir	0,493
Dévasement	0,000
Evaporation	4,060
Défluent	6.437

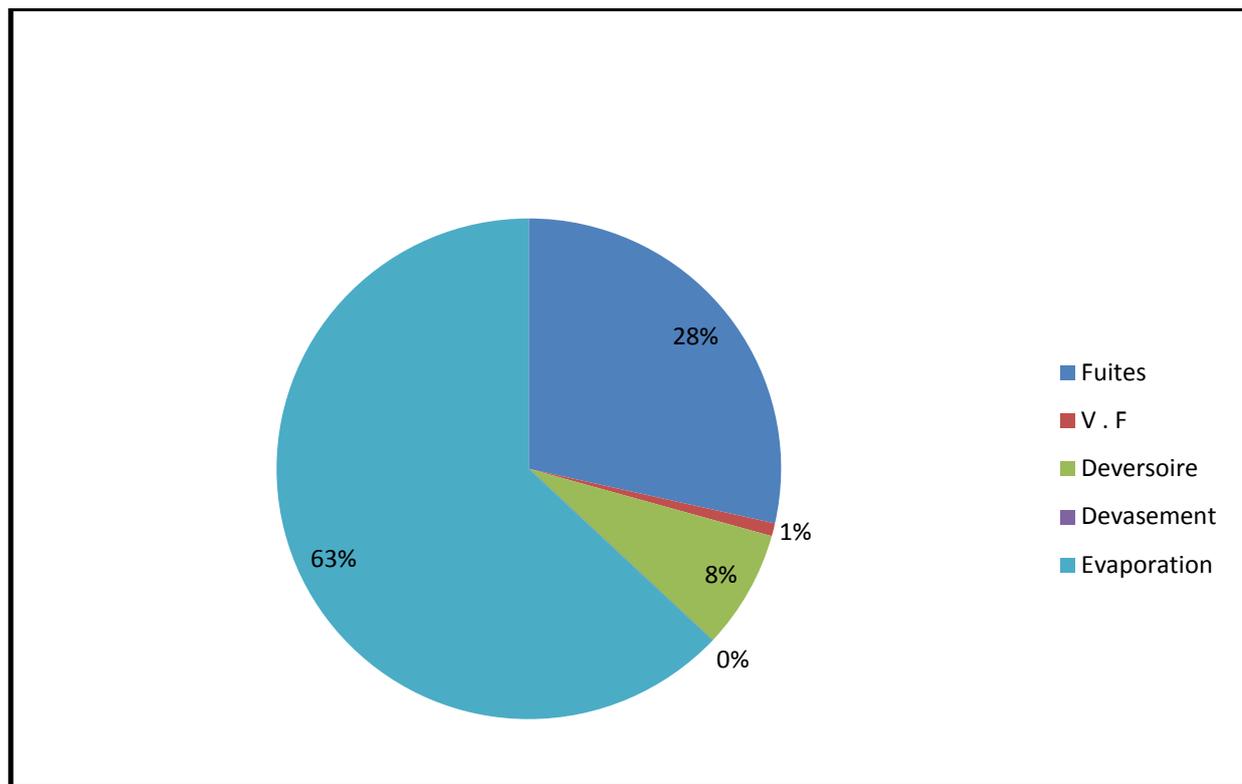


Figure III.16 : Répartition des volumes défluent pour l'année 2009-2010

On remarque d'après cette répartition que le volume des fuites est de l'ordre de 28%. Ce qui est énorme et doit être traité. Ce problème persiste encore jusqu'à nos jours.

III-12. CONCLUSION

Le type de barrage de Foum El Gherza Voute a été le siège d'importantes fuites d'eau à travers la rive gauche et droite et à proximité de la centrale souterraine.

Un volume très important et considérable est perdu par jour à travers les fondations dépassant un million de mètre cube par an.

Suite à la courbe de variation des volumes du la retenu d'eau et les diagrammes de fuites depuis la mise en eau du barrage Foum El Gherza, on a remarqué que le barrage a un grand problème de fuites et qu'une grande quantité importante d'eau a été dégagé vers l'oued et non utilisée (non récupérable)

Ce problème de fuites d'eau est très complexe, et la majorité des fuites à travers le barrage se trouve au niveau des rives gauche et droite.

Les fuites à travers les rochés en rive droite et en rive gauche du barrage sont très importantes et augmentent en parallèle la cote d'eau de la retenue.

Pour les périodes humides et depuis la mise en eau du barrage de Foum El Gherza, l'augmentation de volume de fuites a toujours été variable et correspondant à la variation de la cote d'eau du lac.

Pendant les années de sécheresse, les fuites sont basses de volume et leur débit est négligeable par rapport au volume de la retenu.

Après l'étude, ce phénomène s'avère d'une très grande importance, car il peut mettre en danger la stabilité du barrage et réduire sa capacité utile, c'est le cas particulier du barrage de Foum El Gherza.

CHAPITRE 1

Surveillance des barrages

Chapitre : II

Présentation du Barrage Foum El Gherza

Chapitre : II

Analyse des Fuites du Barrage Foum El Gherza

CONCLUSION

GENERALE

INTRODUCTION

GENERALE

Conclusion générale

Le barrage de Foum El Gherza est implanté sur l'oued Abiod depuis mille neuf cent cinquante, sur un site faillé et fissuré.

Cette fissuration est beaucoup plus remarquée sur les roches calcaires mais elle est de moindre importance sur les dépôts de poudingues.

Les fuites d'eau sont peu probables à partir de la rive droite puisque les failles observées sont pratiquement parallèles.

Une discontinuité importante est visible des couches à l'axe du barrage de Foum El Gherza, sur les falaises de la rive gauche et en aval du barrage. Elle favorise les pertes d'eau à partir de la retenue.

Les moyens d'auscultation utilisés dans la surveillance du barrage (Tassomètre magnétique, Tassomètres à butée, Tassomètres hydrostatiques, Clinomètre à corps vibrantes, pendule, pendule inverse..) ont un but de prévoir les dangers possibles qui peuvent compromettre notre barrage et sa stabilité.

De l'analyse des résultats d'auscultation obtenus et l'état des lieux du barrage, on propose les recommandations suivantes:

- Récupérer les fuites et utiliser des chemins dans le l'oued et profiter de la quantité d'eau de fuites pour l'utiliser dans l'irrigation.
- Faire un pompage pour le retour d'eau au barrage malgré la consommation de l'énergie.
- Le béton des ouvrages présente un bon état en général, mais toujours les travaux d'entretien, de nettoyage et de réparation sont nécessaires.
- Des travaux de réhabilitation des dispositifs d'auscultation sont indispensables. Concernent les entrées des galeries, les escaliers doivent être équipés de gardes de corps pour assurer le déplacement des personnels du barrage en toute sécurité.
- Le dispositif d'auscultation est fortement réduit par rapport à l'état initial et ne permet pas de suivre de manière efficace le comportement du barrage. Il est alors indispensable de remplacer les appareils endommagés.
- Sécuriser l'accès au pied de la culée rive gauche.
- Prévoir un étanchement de la rive gauche pour minimiser le débit de fuites.

Référence

Bibliographie

Référence bibliographique

- Monographie des grands Barrages 1967 page 3.4.5.6 et 22
- Les archives de la direction hydraulique Biskra
- ANBT : Données d'Exploitation du barrage Foum El Gherza.
- Pierre CUNAT, 2012, Détection et évaluation des fuites à travers les ouvrages hydraulique en remblai
- Remini b. 2005 problématique d'eau en Algérie : office des publications
- Reviens : Sécheresse N°19 juillet, Aout et septembre 2008.
- LARHYSS journal, 31 (2017)

Mémoires d'ingénieur

- DJEGHLAF SALAH, 2005, Surveillance et auscultation du barrage Foum El Gherza page (3.4.5.6.7.8et9).
- Mémoire anonyme, page (41,42).
- MERARHEMI Salah, 1995, contrôle et Auscultation des Barrages(Cas du Barrage Foum El Gherza).
- ANBT : Données d'Exploitation du barrage Foum El Gherza.

Les sites d'internet

- www.Wikhydro.com
- G. Degoutte - Irstea -G2DR.com
- CFMS_Briancon.com
- www. sisgeo.com
- Google.Earth.com