



Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique



Université Saad DAHLAB – Blida 1

Faculté de Technologie

Département des Sciences de l'Eau et Environnement

Mémoire de fin d'études de

**MASTER**

**Filière : Hydraulique**

**Spécialité : Sciences de l'Eau**

**Titre :**

**ETUDE DES FUITES D'EAU A TRAVERS LES RIVES DU  
BARRAGE DE FOUM EL GHERZA**

**Préparé par :**

**MERZOUG Housseem Eddine**

**RAIS Mohamed Amine**

**Devant le jury composé de :**

|                           |              |                    |                     |
|---------------------------|--------------|--------------------|---------------------|
| <b>M. KHOULI M.R.</b>     | <b>MAA</b>   | <b>USD Blida 1</b> | <b>Président</b>    |
| <b>Mme. HALLOUCHE O.</b>  | <b>MCB</b>   | <b>USD Blida 1</b> | <b>Examinatrice</b> |
| <b>Mme. BOUZOUIDJA S.</b> | <b>MAA</b>   | <b>USD Blida 1</b> | <b>Examinatrice</b> |
| <b>M.REMINI B.</b>        | <b>Prof.</b> | <b>USD Blida 1</b> | <b>Promoteur</b>    |

**Année Universitaire 2016/2017**

# Dédicace

*Je dédie ce travail*

*A*

*Mes parents*

*Ma sœur*

*« Ihcen »*

*Mes frères*

*« Ibrahim et Karim et Amdjed »*

*A mon très cher binôme et ami Houssem.*

*Mes chères amies*

*Mohamed*

*« Malik, Aymen et Houssem »*

*Mon cher enseignant*

*« Mr. REMINI »*

*A monsieur FATEH*

*Les mots ne suffisent guère pour exprimer*

*l'attachement, l'amour*

*et l'affection que je porte pour vous.*

# *Dédicace*

Je dédie ce modeste travail à :

Celle qui m'a appris les belles choses de la vie, le symbole de la bonté et de la tendresse, l'exemple du dévouement ma chère grande mère je suis très reconnaissante d'avoir été toujours là pour moi.

A mes parents.

Ma sœur : Lydia

Mes frères : Ayoub, Amine

A mon très cher binôme et amie : Amine

A tous mes ami(e)s en plus particuliers à : Abdo (présidant), Karim (stam),  
Rahim (bv),

Mes sincères gratitudes à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Sans oublier bien sûr, mon professeur et mon exemple Mr **Remini B.**, et notre chef de département Dr **.Bensafia D.**, pour leur présence et leurs encouragements durant toute la période

*Merzoug Houssein Eddine (2017)*

## ملخص

تتناول هذه الدراسة ظاهرة تسرب المياه في سد فم الغرزة. قد قمنا ببعثتين من التحقيقات في موقع السد خلال شهر ماي 2017، واستخدمنا مجموعة من المعطيات حول التسربات التي تم قياسها من طرف الوكالة الوطنية للسدود خلال مدة نصف قرن. اظهرت النتائج ان السد انجز على موقع متصدع ونفاذي، بالإضافة الى ذلك فان طبقات الحجر Karstique الجيري مودعة بزواوية قدرها 30 درجة في اتجاه جريان المياه، ورغم انشاء حاجز عازل في بداية عمل السد الا انه لم يحل المشكلة لان التسربات لم تنقص مع الوقت. خلال المدة 1950-2017، بلغ حجم المياه الضائعة من خلال مصب نهر السد 220 مليون متر مكعب، وعلى الرغم من استرداد كميات المياه الضائعة واستغلالها في الري الا ان استقرار هيكل السد لا يزال يمثل مصدر قلق لقطاعات الري .

**مفتاح الكلمات:** سد فم الغرزة- تسرب المياه -Karstique- حاجز العزل

## Résumé

La présente étude examine le phénomène des infiltrations des eaux du lac du barrage de Foug El Gherza. Deux missions d'investigations ont été effectuées sur le site du barrage durant le mois de Mai 2017. Nous avons utilisé une série des fuites d'eau d'une durée d'un demi-siècle mesurées par l'Agence Nationale des Barrages. Les résultats obtenus ont montré que le barrage a été réalisé sur un site karstique fissuré donc perméable. En plus, la stratification des couches de calcaire sont déposées avec une pente de 30° dans le sens de l'écoulement. Malgré la réalisation d'un voile d'étanchéité au début de la mise en service du barrage n'a pas résolu le problème, puisque les fuites n'ont pas diminué dans le temps. Durant la période : 1950-2017, un volume de 220 millions de m<sup>3</sup> a perdues dans le cours d'eau à l'aval du barrage. Même si cette quantité d'eau a été récupéré et a été utilisée dans l'irrigation la stabilité de l'ouvrage reste un souci pour les services d'hydraulique.

**Mots clés :** Barrage Foug Gherza – Fuites d'eau – Karstique – Voile d'étanchéité -

## Abstract

This study examines the phenomenon of infiltration of the waters of the Foug El Gherza dam. Two investigative missions were carried out at the dam site during the month of May 2017. We used a series of half-century water leaks measured by the national agency of the dams.

The results obtained showed that the dam was carried out on a cracked karstic site which is therefore permeable. In addition, the stratification of the layers of limestone is deposited with a slope of 30° in the direction of flow. Despite the realization of a sealing web at the beginning of the commissioning of the dam did not solve the problem, since the leaks did not decrease in time. During the period: 1950-2017, a volume of 220 million m<sup>3</sup> was lost in the stream downstream of the dam. Even if this quantity of water has been recovered and has been used in irrigation the stability of the structure remains a concern for the hydraulic services.

**Keywords:** Fom Gherza dam - Water leaks - Karstic - Waterproofing –

# SOMMAIRE

|                                    |   |
|------------------------------------|---|
| <b>INTRODUCTION GENERALE</b> ..... | 1 |
|------------------------------------|---|

## **Chapitre 1 RECHERCHES BIBLIOGRAPHIQUES ET TRAVAUX ANTERIEURS SUR LES FUITES AU NIVEAU DES BARRAGES**

|  |    |
|--|----|
| <b>Introduction</b> .....  | 2  |
| 1.1. Problème des infiltrations au niveau des barrages .....                     | 2  |
| 1.2. Travaux antérieurs sur le phénomène des fuites d'eau dans les barrages..... | 8  |
| 1.2.1. Travaux de Remini et Benfetta(2008) cas de barrage ouzret .....           | 9  |
| 1.2.2. Travaux de Remini et Toumi (2006) cas de barrage Hammam Grouz .....       | 9  |
| 1.2.3. Travaux de Remini et Toumi (2004) cas du barrage Foug el Gherza .....     | 10 |
| <b>Conclusion</b> .....  | 11 |

## **Chapitre 2 REGION D'ETUDE ET DONNEES UTILISEES**

|  |    |
|--|----|
| <b>Introduction</b> .....  | 12 |
| 2-1. Situation et caractéristiques de barrage de Foug el Gherza..... | 12 |
| 2-1-1. Situation géographique du barrage .....                       | 12 |
| 2-1-2. Géologie du site .....  | 14 |
| 2-1-3. Climatologie .....  | 14 |
| 2-1-4. L'évaporation.....  | 15 |
| 2.2. Un aperçu historique sur le barrage de Foug El Gherza .....     | 16 |
| 2.3. Bassin versant à l'amont du barrage .....                       | 16 |
| 2.4. Investigation, enquêtes et données utilisées.....               | 18 |
| <b>Conclusion</b> .....  | 18 |

## Chapitre 3 RESULTATS ET DISCUSSION

|   |    |
|---|----|
| <b>Introduction</b> .....   | 19 |
| 3.1. Phénomène des fuites au niveau du barrage .....  | 19 |
| 3.2. Typologie de fuites .....  | 20 |
| 3.2.1. Les fuites à travers le massif.....  | 21 |
| 3.2.2. Fuites à travers la digue .....  | 21 |
| 3.2.3. Fuites à travers les vannes de fond.....   | 23 |
| 3.3. Quelques valeurs sur les fuites dans les barrages algériens.....   | 23 |
| 3.4. Observations et quantifications du phénomène de fuites .....   | 24 |
| 3.5. Le rôle du voile d'étanchéité .....  | 25 |
| 3.6. La nature de la roche, les crues et les fuites .....   | 28 |
| 3.7. Relation entre les apports et les fuites au barrage Foug el Gherza.....  | 34 |
| 3.8. Variation mensuelles des fuites d'eau .....  | 35 |
| 3.9. Relation entre le lac et le piézomètre .....   | 37 |
| 3.10. Relation entre le volume d'eau de la retenue et le volume des fuites d'eau du<br>barrage de Foug El Gherza..... | 42 |
| <b>Conclusion</b> .....   | 47 |
| <b>CONCLUSION GENERALE</b> .....  | 48 |

## LISTE DES FIGURES

|   |    |
|---|----|
| <b>Figure 2.1.</b> Situation géographique du barrage de Foug El Gherza.....   | 13 |
| <b>Figure 2.2.</b> Une vue sur la voute du barrage de Foug El Gherza.....   | 13 |
| <b>Figure 2.3.</b> Une vue sur le lac du barrage de Foug El Gherza (Mai,2017).....  | 14 |
| <b>Figure 2.4.</b> La pluviométrie moyenne enregistrée à Foug el Gherza.....  | 15 |
| <b>Figure 2.5.</b> Variation mensuel de l'évaporation (1950-2017).....  | 15 |
| <b>Figure 2.6.</b> Les limites du bassin versant d'Oued El Abiod .....  | 17 |
| <b>Figure 3.1.</b> Phénomène des fuites au niveau du barrage.....   | 19 |
| <b>Figure 3.2.</b> Un schéma probable de la circulation d'eau à travers la roche .....  | 20 |
| <b>Figure 3.3.</b> Ruissèlement des eaux de fuites sur sur le massif de la rive droit du barrage de Foug El Gherza (photo.2005).....                              | 21 |
| <b>Figure 3.4.</b> Une vue des fuites par la digue de la rive gauche du barrage de Foug El Gherza (Mai.2017).....   | 22 |
| <b>Figure 3.5.</b> Une fuite d'eau bien visible bien que le lac est au niveau le plus bas (Mai.2017).....   | 22 |
| <b>Figure 3.6.</b> Vanne de fond du barrage de Foug El Gherza Souvent bloquée par les palmiers arrachés par les crues (Photo. Mai 2016).....                      | 23 |
| <b>Figure 3.7.</b> Variation des fuites d'eau dans les barrages algériens (donnée ANBT).....  | 24 |
| <b>Figure 3.8.</b> Vue montagnueuse et rocheuse de type calcaire (Photo.Mai 2017).....  | 25 |
| <b>Figure 3.9.</b> Traces du rideau d'étanchéité sur la rive droite du barrage (Photo.Mai2017).....   | 26 |
| <b>Figure 3.10.</b> Piézomètre fonctionnel de la rive gauche RG 8N (photo. Mai 2017).....   | 26 |
| <b>Figure 3.11.</b> Piézomètre fonctionnel de la rive droite RD 21N (photo. Mai 2017).....  | 26 |
| <b>Figure 3.12.</b> Piézomètre fonctionnel de la rive gauche Piézomètre S32 (photo. Mai 2017).....  | 27 |
| <b>Figure 3.13.</b> Piézomètre obturé non Utilisable (photo. Mai 2017).....   | 27 |
| <b>Figure 3.14.</b> Evolution du nombre des piézomètres le long du voile.....   | 27 |
| <b>Figure 3.15.</b> Un exemple sur la gestion des eaux de fuites (Photo.Mai 2017). .....  | 28 |
| <b>Figure 3.16.</b> Une vue générale de l'évacuateur de crues du barrage de Foug El Gherza d'un débit d'évacuation de 730 m <sup>3</sup> /s (Photo.Mai 2017)..... | 29 |



|  |    |
|--|----|
| <b>Figure 3.17.</b> Fonctionnement de l'évacuateur du barrage, synonyme de l'ampleur de la crue de 2008 (Photo.ANBT) .....                   | 29 |
| <b>Figure 3.18.</b> Schéma synoptique du mécanisme des infiltrations dans Un milieu karstique.....   | 30 |
| <b>Figure 3.19.</b> Trous et fissures dans la rive droite (roche calcaire) de la retenue de barrage (Photo.Aout 1998).....                   | 31 |
| <b>Figure 3.20.</b> Traces de ruissèlements des eaux de fuites en période de hautes eaux (Photo.1998).....                                   | 31 |
| <b>Figure 3.21.</b> Un chenal tracé par les écoulements des eaux de fuites en période hivernal au niveau de la rive droite (Photo.1998)..... | 32 |
| <b>Figure 3.22.</b> Formation d'un lac d'eau à l'aval du barrage, suite aux infiltrations dans la roche des deux rives (Photo.1998).....     | 32 |
| <b>Figure 3.23.</b> Une vue générale sur la stratification de la roche, Inclinaison dans le sens de l'écoulement (Photo.2017) .....          | 33 |
| <b>Figure 3.24.</b> Grande ouverture au niveau de la roche de la rive droite (Photo.2017).....   | 33 |
| <b>Figure 3.25.</b> Les apports interannuels au niveau du barrage de Foum El Gherza (Données ANBT) .....                                     | 34 |
| <b>Figure 3.26.</b> Les fuites d'eau interannuelle au niveau du barrage de Foum El Gherza (données ANBT).....                                | 35 |
| <b>Figure 3.27.</b> Variations mensuelles des apports (1950-2017) (données ANBT) .....   | 36 |
| <b>Figure 3.28.</b> Variation mensuelles des fuites (1950-2017) (données ANBT).....  | 36 |
| <b>Figure 3.29.</b> Variations interannuelles des fuites en fonction des apports (Période : 1950-2017).....                                  | 37 |
| <b>Figure 3.30.</b> Piézomètre S25 (Rive gauche amont voile) .....   | 38 |
| <b>Figure 3.31.</b> Piézomètre S26 (Rive gauche amont voile) .....   | 38 |
| <b>Figure 3.32.</b> Piézomètre S50 (Rive gauche amont voile) .....   | 39 |
| <b>Figure 3.33.</b> Piézomètre S32 (Rive droite amont voile) .....   | 39 |
| <b>Figure 3.34.</b> Piézomètre S64 (Rive gauche avale voile) .....   | 40 |
| <b>Figure 3.35.</b> Piézomètre RD21N (Rive droite sur voile) .....   | 40 |
| <b>Figure 3.36.</b> Variation de la cote de lac (rive droite) .....  | 41 |
| <b>Figure 3.37.</b> Variation de la cote de lac (rive gauche) .....  | 41 |
| <b>Figure 3.38.</b> Le volume des fuites en fonction du volume de la retenue .....   | 46 |
| <b>Figure 3.39.</b> Variation du coefficient de la pente de la droite.....   | 47 |



## **LISTE DES TABLEAUX**

|  |    |
|--|----|
| <b>Tableau 1.1.</b> les barrages Algériens fortement sujets aux fuites. (Données A.N.B.T). ..... | 8  |
| <b>Tableau 3.1.</b> Quelques valeurs du debit des crues drains par l'oued .....                  | 29 |

# INTRODUCTION GENERALE

La construction d'un barrage réservoir sur un cours d'eau provoque un changement de l'écosystème. C'est ainsi que les sédiments transitait régulièrement dans le cours d'eau avant le barrage, se retrouvent au fond de la retenue auprès le barrage.

La montée du niveau d'eau du lac provoquée par la réalisation de la digue induit une augmentation rapide de la force hydrostatique sur les parties de la cuvette. Cette nouvelle situation engendre l'apparition des écoulements à travers les fissures existants dans la roche. La variation du niveau des lacs provoqués par les apports et les manœuvres des pertuis de vidange engendrent l'accroissement des couloirs de circulation de l'eau. Ceci peut avoir des effets néfastes sur la stabilité de l'ouvrage lui-même. Sans parler des quantités énormes en eau qui s'infiltrent et s'écoulent à l'aval du barrage. Il est à noter que quel que soit la nature et le lieu de réalisation d'un barrage, celui-ci est soumis à des pertes en eau par infiltration. Cependant, il existe des barrages qui enregistrent des fuites d'eau très élevés. Ceci nécessite un suivi et des études approfondi pour remédier à ce phénomène. Notre étude examine le phénomène de perte d'eau par infiltration à travers les berges du barrage de Foum el Gherza. Pour atteindre un tel objectif notre travail est subdivise en trois parties :

- Travaux anciennes sur le phénomène des fuites d'eau dans les barrages.
- Situation et caractéristiques du barrage Foum el Gherza.
- Résultats et discussions et on termine notre étude par une conclusion et des recommandations.

# Chapitre 1

## RECHERCHES BIBLIOGRAPHIQUES ET TRAVAUX ANTERIEURS SUR LES FUITES AU NIVEAU DES BARRAGES

### Introduction

Nous traitons dans ce chapitre, une recherche bibliographique sur les infiltrations à travers les rives et les fondations. Les travaux antérieurs des différents auteurs sur les fuites d'eau feront l'objet de ce chapitre.

#### 1.1. Problème des infiltrations au niveau des barrages

Le phénomène des infiltrations dans les barrages notamment, les barrages en béton, est un problème crucial. En effet, il engendre une inquiétude concernant leur stabilité. Nous citons quelques exemples à travers la planète.

**Le barrage poids de CAMARASA** est situé en Espagne sur la Noguera Pallasera, affluent SEGRE, il a une hauteur de 92 m et une capacité de 157 millions m<sup>3</sup>. En 1920, la mise en eau partielle de la retenue s'accompagna des pertes supérieures à 10 m<sup>3</sup>/s, par conséquent un voile d'étanchéité de 1100 m de développement descendant jusqu'au marnes a été réalisé entre 1927 et 1931, il a fallu injecter plus de 190.000 t de produits secs pour réduire les fuites de 80%. (Thérond, 1980).

**Le barrage poids de BOUVANTE** est situé sur la Lyonne au cœur du massif montagneux de Vercors (Alpes Françaises du NORD). Lors de sa mise en eau, en 1926, les fuites ont été évaluées à 1100 l/s, les eaux infiltrées dans les calcaires Urgoniens et crétacés rejoignaient la source des FREYDIERES. Entre 1927 et 1958, de nombreux traitements (tapis, injection...) ont permis de réduire les fuites à moins de 300 l/s. (Thérond, 1980).

**Le barrage voûte de MONTEJAQUE** édifié sur le RIO GADUARES (Espagne du sud) à l'aval d'une vallée karstique dont l'exutoire naturel est une rivière souterraine, il a une hauteur de 73.5 m et un volume utile de 34 millions m<sup>3</sup>. La mise en eau de la retenue devait s'accompagner de fuites importantes qui ont atteint 4 m<sup>3</sup>/s pour 0.8 m<sup>3</sup>/s d'apport interannuel

moyen au barrage. Les infiltrations se faisaient par des fissures (diaclasses) et par des puits absorbants incomplètement bouchés par des colmatages peu résistants. La majeure partie des eaux infiltrées réapparaissait dans la rivière souterraine. Les travaux d'étanchement (colmatage de surface) n'ont pas permis de réduire suffisamment les fuites pour permettre une exploitation économique de la retenue. (Thérond, 1980).

**Le barrage poids de GENISSIAT** est édifié sur le RHONE (France), dans une gorge creusée dans les calcaires massifs très peu fissurés de L'Urgonien. Les eaux de la retenue mouillent ces mêmes calcaires sur une très grande surface. Un voile d'injection, d'extension réduite, a été réalisé avec des consommations très faibles (30 à 50 kg de produits secs par mètre de forage) confirmant la faible fissuration du rocher. La mise en eau n'a été accompagnée d'aucune fuite. (Thérond, 1980).

**Le barrage poids de CHARMINE-MOUX** est situé sur l'OIGNIN, affluent de l'AIN, dans le JURA FRANÇAIS ; il a été réalisé entre 1947 et 1950. Il a une hauteur de 18 m et une capacité de 5 millions de m<sup>3</sup>. Dans la région, de nombreux réseaux karstiques de grande taille ont été découverts entraînant des fuites considérables. Les travaux d'étanchéité nécessités par l'importance des fuites ont été réalisés à partir d'un sondage en liaison directe avec le réseau karstique. Par ce sondage, plusieurs milliers de tonnes de matériaux à forte granulométrie ont pu être injectés. Parallèlement, sur les affleurements calcaires, des traitements de surface ont été réalisés par injection sur plus de 3.000 m<sup>2</sup>. Finalement, en Novembre 1950 la mise en eau totale a pu être réalisée sans être accompagnée de fuites notables, mettant ainsi en évidence l'efficacité du traitement. (Thérond, 1980).

**Le barrage voûte de CASTILLON** est construit sur le VERDON (affluent de la DURANCE, Alpes du Sud France) à l'entrée d'une gorge creusée par l'érosion fluviale dans les calcaires du Jurassique supérieur, il a été terminé en 1948 et mis en eau en 1949 ; il a une capacité de 149 millions m<sup>3</sup> et une hauteur de 100 m sur la fondation. Après une mise en eau partielle en 1948, des cheminements de fuites ont été observés, non seulement à proximité de l'ouvrage mais également à travers la rive droite à moyenne distance. L'étanchéité des appuis a été améliorée par un voile d'injection de 46.000 m<sup>2</sup> (5.000 tonnes de produits secs ont été injectés). La mise en eau, en 1949, ne devait donner lieu à aucune fuite notable (débit maximum enregistré estimé à 100 l/s). (Thérond, 1980).

**Le barrage voûte de la CHAUDANNE** est situé à 4 km à l'aval du barrage de CASTILLON; il a une hauteur de 70 m et une capacité de 16 millions m<sup>3</sup>, il prend appui sur

les calcaires purs du Jurassique supérieur qui sont entaillés en gorges étroites par le VERDON. La continuité de ces calcaires et leur karsticité les rendent suspects sur la rive droite et la rive gauche. Des fuites pouvaient être envisagées compte tenu de la longueur réduite des cheminements possibles et de la fracturation importante des masses calcaires. L'étanchéité naturelle des appuis a été améliorée par un voile d'injection de 26.000 m<sup>2</sup>, les consommations de coulis ont été faibles. La plupart des accidents ont été colmatés par de l'argile. La mise en eau en 1952 n'a donné lieu à aucune fuite. (Thérond, 1980).

**Le barrage voûte de CANELLES** est construit sur la NOGUERA RIBAGORZANA, affluent de l'ERBE (Espagne), il a une hauteur de 148m et une capacité utile de 543 millions de m<sup>3</sup>. Il est situé à la sortie d'une gorge creusée par la rivière dans une série calcaire traverses à la vallée. La mise en eau en 1958 devait s'accompagner de fuites importantes en rive gauche. Dès le début de la mise en eau, les premières fuites apparurent en rive gauche à proximité de la centrale souterraine. Le débit atteignit 1600 l/s pour un plan d'eau à + 75m. La montée du plan d'eau au-dessus de cette côte provoqua des déboussages importants. Pour la côte +85m, les débits de fuites atteignirent 8 m<sup>3</sup>/s, interdisant la poursuite du remplissage. L'importance de ces fuites devait motiver des travaux d'étanchement considérables. (Thérond, 1980).

**Le barrage en enrochements de KARAOUN** est construit sur le LITANI qui est la principale rivière du LIBAN. Il a une hauteur de 60 m et une capacité de 220 millions de m<sup>3</sup>. La retenue se développe sur des formations diverses (calcaires, dolomies, marnes, marno-calcaires) plus anciennes que les calcaires karstiques. La mise en eau s'est achevée en 1967. Le débit de fuites a été estimé à 300 l/s. (Thérond, 1980).

**Le barrage en enrochement du NEBAANA** est édifié sur l'oued NEBAABA (TUNISIE), il a une hauteur de 62.5 m et une capacité de 86 millions m<sup>3</sup>. En 1965, une mise en eau partielle a été réalisée; des fuites étaient décelées dans l'Oued OHEICHE en rive droite (10 l/s environ) ; pour ces circulations, le rôle joué par les diaclases à remplissage de calcite était évident. En rive gauche le débit de fuites augmentait (quelques dizaines de litres / seconde). Malgré le faible débit des fuites, en raison de la valeur de l'eau, des traitements de surface étaient réalisés en rive droite permettant de réduire, sur cette rive, le débit des fuites. (Thérond, 1980).

**Le barrage en enrochement de GREOUX** est situé sur le VERDON, affluent de la DURANCE (Alpes du sud – France), il a une hauteur de 64 m et une capacité de 80 millions

de m<sup>3</sup>. Il est construite dans une gorge creusée dans les calcaires tabulaires du CRETACE inférieur. Ces calcaires bien stratifiés, épais de 150 m environ, présentent une altération caractéristique qui souligne les épontes des cassures. Des fuites par des cheminements courts pouvaient être envisagées sur les deux rives à travers les calcaires karstiques du CRETACE ; l'hypothèse de circulations à grande distance à partir des calcaires jurassiques pouvait également être faite. L'étanchéité du rocher a été renforcée par un voile d'injection qui, sous le barrage, atteint les marnes et se poursuit sur 150 m environ dans chaque rive, les consommations de coulis ont été faibles au-delà des 20 premiers mètres de profondeur. La mise en eau en 1967 n'a provoqué aucune fuite notable (quelques litres/seconde dans les galeries de drainage). (Thérond, 1980).

**Le barrage voûte de VOUGLANS** est situé sur l'AIN (JURA FRANÇAIS), il a une hauteur de 130 m et une capacité de 600 millions m<sup>3</sup>. Il est situé à la sortie aval d'une gorge sinueuse creusée dans une puissante série horizontale, de calcaires et de dolomies d'âge jurassique. Le voile d'injection du barrage a une extension réduite; les absorptions ont été inférieures à 105 kg par mètre linéaire de forage, ce qui confirme la faible fissuration du terrain. En rive droite, l'existence du réseau actif de la CABORNE présentait un risque de fuite important en réduisant considérablement la longueur des lignes de fuites. En rive gauche, la nature des terrains ne permettait pas d'éliminer tout risque de fuite, malgré la présence de placages morainiques étanches masquant en partie les calcaires dans la cuvette. La mise en eau en 1968-1969 n'a pas donné lieu à des fuites importantes. On peut évaluer à 300 l/s l'augmentation maximale du débit aux sources de la PORCHERIE. En rive gauche aucune résurgence n'a été signalée. (Thérond, 1980).

**Les barrages de CEYRAC** sur le RIEUMASSEL, affluent du VIDOURLE, et de **CONQUEYRAC** sur le VIDOURLE sont des ouvrages destinés à éviter les crues catastrophiques du VIDOURLE qui est une des principales rivières des Causses Nord-Montpelliérains. Situées à quelques kilomètres l'une de l'autre, ces retenues se développent dans le même cadre géologique et hydrogéologique qui est celui du bassin d'alimentation de la grande source karstique de SAUVE, située à quelques kilomètres à l'aval. Cette source est l'une des cinq plus importantes sources des Causses Nord-montpelliérains. A l'amont de cette source, le VIDOURLE et le RIEUMASSEL ne sont pas des rivières pérennes. (Thérond, 1980).



**Le barrage poids de CEYRAC** est construit sur le RIEUMASSEL, affluent rive droite du VIDOURLE, il a une hauteur de 20 m, avec une longueur en crête de 390 m et une capacité de 7 millions de m<sup>3</sup>. L'ouvrage prend appui sur le sommet des calcaires du JURASSIQUE supérieur (PORTLANDIEN). A l'aval, la rivière coule dans une gorge sinueuse creusée dans les calcaires et les marno-calcaires du crétacé inférieur. A la hauteur de l'ouvrage, la nappe de fissures est située à 30 m au-dessous du lit de la rivière. Sauf en période de crue, les eaux du RIEUMASSEL disparaissent avant d'atteindre la retenue pour rejoindre la source de SAUVE ; la vitesse des circulations souterraines est de 450 m/h environ. (Thérond, 1980).

**Le barrage de CONQUEYRAC** a une hauteur de 17 m et une longueur en crête de 570 m, il prend appui sur les calcaires karstiques du Portlandien (Jurassique supérieur). A l'aval, la rivière coule dans une gorge très sinueuse creusée dans le Portlandien. A l'amont immédiat de l'ouvrage, la retenue se développe sur les derniers affleurements de calcaires Jurassiques puis sur les calcaires et les marno-calcaires du crétacé inférieur. Durant les périodes de sécheresse, les eaux du VIDOURLE se perdent en queue de retenue pour rejoindre la source de SAUVE par les réseaux karstiques.

Le niveau des écoulements souterrains se situe à quelques mètres au-dessous du niveau du bed-rock. En période de pluie, le niveau remonte jusqu'à la surface. (Thérond, 1980).

**Le barrage voûte de QUINSON** de 54,5 m de hauteur est édifié sur le VERDON, affluent rive gauche de la DURANCE -Alpes du sud- France, il remplace un barrage de 15 m de hauteur construit il y a un siècle.

Le VERDON constitue le niveau de restitution des écoulements souterrains. Très en amont, dans la retenue, quelques sources karstiques à faible débit sont connues. Malgré l'absence d'un voile d'injection, la mise en eau du barrage actuel n'avait été accompagnée d'aucune fuite au rocher. (Thérond, 1980).

**Le barrage voûte de SAINTE-CROIX** est situé sur le VERDON (Alpes du sud- France), il a une hauteur de 95 m et une capacité de 767 millions m<sup>3</sup>. Le site du barrage est situé 600 m à l'aval de l'entrée d'une gorge creusée dans un anticlinal calcaire, traverse au VERDON. Cet anticlinal dissymétrique plonge rapidement à l'amont; il ferme une vaste plaine creusée dans des marnes et des conglomérats. C'est dans cette plaine que se développera la majeure partie de la retenue. Les eaux de la retenue mouilleront, à l'amont immédiat de l'ouvrage, les parois calcaires du Canyon et sur les deux rives, la retombée amont de l'anticlinal. Plus à l'amont en rive gauche, les eaux mouilleront d'autres structures calcaires, dégagées de leur

couverture marneuse et parallèles à l'anticlinal de BAUDINARD. Les résultats de la mise en eau partielle dans ce barrage conduisent à envisager des débits de fuite voisins de  $1\text{ m}^3/\text{s}$ , ces fuites pourraient ressortir soit à proximité de l'ouvrage (250m) soit au niveau des sources qui se trouvent à l'exutoire. (Thérond1980).

**Le barrage voûte de Wujiangdu** de la province de Guizhou en république populaire de Chine, est situé dans la roche de Yulongshon, il a une épaisseur de 230 m et une hauteur de 165 m. Les fuites à travers sa fondation sont de l'ordre de  $10\text{ m}^3/\text{jour}$  depuis sa construction. (L D C.1987).

**Le barrage a noyau de Guanting** de hauteur 50 m est situé en Beijing en république populaire de chine a été fondé sur des calcaires et de la dolomie. Dès sa première mise en eau en 1955 les fuites ont atteint  $1\text{ m}^3/\text{s}$ . Les traitements effectués ont réduit le débit de fuites jusqu'à  $0,1\text{ m}^3/\text{s}$ . (L D C.1987).

**Le barrage d'Andi** de hauteur 29,8 m est situé en province de Shandong en république populaire de chine, le débit de fuites à travers sa rive droite est de l'ordre de  $0,6\text{ m}^3/\text{s}$  après traitement de la fondation les fuites sont devenues moins de  $0,08\text{ m}^3/\text{s}$ . (L D C.1987).

**Le barrage d'Ouizert** situé au Sud-Ouest de la ville de Mascara est l'un des barrages fortement sujet à ce problème et sa perte de capacité est en évolution à cause de l'augmentation des fuites d'eau. D'après les travaux de reconnaissances géologiques, la couche de calcaire dont l'épaisseur est estimée à 5 m environ est très fissurée représentant ainsi l'écoulement privilégié aux eaux souterraines. Malgré le voile d'étanchéité qui a été réalisé le long de l'axe de la digue et qui a permis la suppression des fuites d'eau en rive droite, le problème des pertes d'eau à travers la rive gauche du barrage vers l'aval demeure toujours. (Benfetta et Remini, 2008).

**Le barrage de Djorf Torba** est situé à une cinquantaine de kilomètres (65Km) à l'ouest de la ville de Béchar, contrôle un vaste bassin versant subsaharien en tête de la vallée de la Saoura. Le site du barrage est situé sur l'oued Guir, verrouille une très vaste cuvette, dans un environnement particulièrement plat, à l'entrée de la cluse par laquelle l'oued Guir traverse les reliefs du Chebket Mennouna.

Il est destiné à l'alimentation en eau des périmètres agricoles d'Abadla par l'intermédiaire de lâchures au fil de l'eau reprise en tête des périmètres après 58 Km de parcours naturel, et une alimentation en eau potable de la région de Béchar et de Kenadsa ( $15\text{ hm}^3/\text{an}$ ), depuis 1985.

Le barrage de Djorf El Torba, de capacité de 350 millions de m<sup>3</sup>. Le débit de fuites reste énorme, soit un volume de 600 millions de m<sup>3</sup> perdu durant la période 1994-2002 suite aux fuites. (Données A.N.B.T).

**Tableau 1.1. Les barrages Algériens fortement sujets aux fuites. (Données A.N.B.T).**

| N° | Barrage          | Volume perdu (millions m <sup>3</sup> ) | L'année |
|----|------------------|---|---------|
| 1  | Gargar           | 31.705                                  | 97/98   |
| 2  | Ouizert          | 24.895                                  | 96/97   |
| 3  | Djorf-Torba      | 20.891                                  | 90/91   |
| 4  | Foum-el-Gherza   | 20.70                                   | 80/81   |
| 5  | Ain Dalia        | 7.00                                    | 90/91   |
| 6  | Cheffia          | 5.250                                   | 01/02   |
| 7  | Ghrib            | 3.69                                    | 93/94   |
| 8  | K'sob            | 3.237                                   | 94/95   |
| 9  | Cheurfa II       | 3.237                                   | 97/98   |
| 10 | Beni Bahdal      | 1.289                                   | 95/96   |
| 11 | Mardja Sidi Abed | 1.219                                   | 95/96   |
| 12 | Hammam Debagh    | 1.126                                   | 01/02   |
| 13 | Bouhanifia       | 1.098                                   | 96/97   |
| 14 | Sidi Abdelli     | 1.09                                    | 93/94   |

Ce tableau nous indique que le débit de fuites varie d'un barrage à un autre, et cela selon les conditions et la situation géographique de chaque site.

## **1.2. Travaux antérieurs sur le phénomène des fuites d'eau dans les barrages**

Dans ce qui suite on a met en relief les différents travaux qui ont été déjà menés sur les fuites des barrages. L'objectif est de mettre en valeur :

- La quantité d'eau perdue.
- Les causes du phénomène.
- Les solutions proposées par différents auteurs.

### **1.2.1. Travaux de Remini et Benfetta (2008) cas de barrage ouzret**

Le barrage de ouzret est situé à 35 km au sud-ouest de la ville de Mascara, d'une capacité de 100 millions de m<sup>3</sup>. Cependant ce barrage est menacé par des fuites d'eau à travers ses rives, le débit de fuites a été estimé à 1 m<sup>3</sup>/s.

Pour traiter le problème des fuites d'eau dans ce barrage, M. Remini et M. Benfetta ont faites une étude comporté trois parties.

- La première partie à concerner l'étude des paramètres hydrauliques mesurer plus particulièrement la cote du lac et la cote piézométrique, qui indique clairement une bonne corrélation entre les deux paramètres, donc ils ont conclure une forte circulation d'eau entre les différents piézomètres et le retenue.
- La deuxième partie à concerner l'étude des paramètres physico-chimiques .Ils ont faites des mesures qui lui permettent d'établir la relation entre différentes masses d'eau, cette étude est montrée qu'il existe deux types d'écoulements :  
Ecoulement verticale descendent représenter par les valeurs de la température et la conductivité.  
Ecoulement horizontale provenant de la retenue.
- La troisième partie est intéressée à l'analyse de débit de fuites, tout en examinant leurs variations à la fois au court du temps et en fonction du niveau du lac.

Le barrage de ouzret est implanté sur un site constitué par un complexe rocheux assez fissurés et faillé, et les fuites d'eau se manifestent au niveau de la rive gauche à l'aval du barrage .Ils ont favorisés par la présence de fissures de direction parallèle et perpendiculaire au niveau de l'oued. (Benfetta, Remini, 2008).

### **1.2.2. Travaux de Remini et Toumi (2006) cas de barrage Hammam Grouz**

Le barrage Hammam Grouz est situé à 50 km à l'ouest de la ville de Constantine, à environ 2 km au sud de la ville d'oued El-Othmania. Ce barrage est destiné à l'alimentation de la ville de Constantine. Cependant, ce barrage rencontre de débit moyen de fuites d'eau à travers la rive droite à voisine les 50000 m<sup>3</sup>/jour. Depuis la mise en eau du barrage en 1987, l'évacuateur de crue n'a jamais fonctionnée à cause de la faible quantité d'eau reçue au niveau du barrage.

Durant la période allant du 28/06/2002 au 27/04/2003, la cote du lac était supérieure à celui de l'évacuateur en raison de la forte pluviométrie enregistré dans la région. Celui-ci a créé une force de pression sur les appuis de barrage ceci a provoqué des pertes au niveau de la rive droite. Pour cela M. Remini et M. Toumi ont faites :

- Une étude de variation de couple cote-volume d'eau dans le lac en fonction du temps, les résultats obtenus précisent aussi que les fuites sont à travers la rive droite. Une perte de 30 millions de m<sup>3</sup> du volume total de barrage a été perdue.
- Une étude de variation de la cote piézométrique en fonction de la cote du lac.

Cette étude permet de déduire les anomalies qui se produisent au niveau de la zone traversée par le piézomètre. (Toumi et Remini, 2006).

### **1.2.3. Travaux de Remini et Toumi (2004) cas du barrage Foug el Gherza**

Le barrage de Foug-el-Gherza est situé à 20 km à l'est de la ville de Biskra. Il a été réalisé durant la période 1948 -1950 sur le site le plus approprié dans la région. Cet ouvrage d'art a permis à la région de Sidi Okba de garder sa vocation économique basée sur l'agriculture durant un demi-siècle, du fait qu'il a aidé à contrer la sécheresse qui sévit dans la région depuis une vingtaine d'années. Ce barrage a permis en outre l'extension des palmeraies.

Le barrage de Foug-el-Gherza est l'un des barrages algériens fortement sujets aux fuites (Toumi et Remini, 2003). Dans le but de lutter contre ce dernier ils ont fait une étude appliquée à ce barrage, afin de déterminer les endroits idéaux où des travaux d'étanchéité devront être effectués.

Les résultats obtenus témoignent de la complexité du problème. Malgré cela, ils permettent d'une part de dresser une méthodologie ils permettent d'entreprendre l'étude de ce genre de phénomène. D'autre part ils permettent aussi d'ouvrir d'autres axes de recherche sur ce domaine.

Ils ont fait une campagne de mesure des paramètres physico-chimiques durant le mois de février et mars 2003 ; à savoir le niveau d'eau dans les piézomètres, la température et la conductivité électrique au niveau du lac et des piézomètres selon des profils en fonction de la profondeur. A cet effet, ils ont utilisés le matériel suivant :

1. Un multi paramètre
2. Une embarcation
3. Un préleveur d'échantillonnage
4. Une éprouvette graduée
5. Un Becher
6. Une sonde à signal sonore
7. Une échelle limnimétriques,
8. Un appareil photographique

Les premiers résultats à tirer de cette étude montrent que le problème de fuites menace ce patrimoine hydrique. En effet, le débit de fuites s'amplifie avec l'augmentation de la cote du lac. Toutefois, l'augmentation de ce débit au cours du temps et pour la même cote du lac indique la détérioration du massif rocheux constituant les appuis du barrage. (Toumi et Remini, 2004).

## **Conclusion**

Le problème de fuites d'eau est caractérisé par sa complexité. Il touche la majorité des barrages à travers le monde qui ne peut être étudié de la même façon. Les travaux qui ont été élaborés par les différents auteurs démontrent les difficultés d'aboutir à un résultat final. Cependant, nous avons ressenti une maîtrise dans la détection des écoulements dans la roche et leur destination. Quant aux solutions proposées par les chercheurs, le voile d'injection reste l'unique remède au problème des infiltrations à travers les berges.

## Chapitre 2

### REGION D'ETUDE ET DONNEES UTILISEES

#### Introduction

Ce chapitre comporte une présentation de la région d'étude. On a mis en exergue la situation géographique du barrage et ses caractéristiques, ainsi un aperçu historique du barrage et l'investigation et l'enquête qui nous avons faites sur le site du barrage.

#### 2-1. Situation et caractéristiques de barrage de Foum el Gherza

##### 2-1-1. Situation géographique du barrage

Le barrage de Foum El Gherza est situé à 450 km au sud-est d'Alger, au pied du massif des Aurès dans la plaine saharienne, à 18km à l'est de la ville de Biskra (fig. 2.1). L'Aménagement s'établi sur l'oued l'Abiod, ce dernier prend naissance au centre du massif de l'Aurès, il est formé par la réunion de plusieurs torrents descendant les pentes du mont Chélia à 2328 m et Mont Ichmoul à 2071 m. Le barrage Foum El Gherza est de type mixte en béton (voute avec une culée en rive gauche), il est réalisé par l'entreprise française «**Batignolles** » en 1947 le début de travaux et mise en eau en 1950.

D'une capacité initiale de 47 millions de m<sup>3</sup> mais maintenant est 14.8 millions de m<sup>3</sup>. Le barrage régule environ 13 millions de m<sup>3</sup> d'eau véhiculée par oued L'Abiod, rivière qui couvre un bassin versant de 1300 km<sup>2</sup>. Cet aménagement permet d'irriguer les périmètres de Sidi Okba, Seriana, Thouda et Garta (300.000 palmiers) et accessoirement de fournir de l'électricité à Biskra.

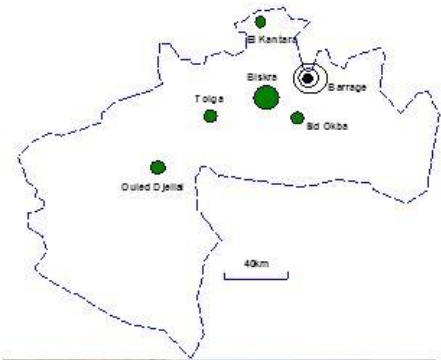
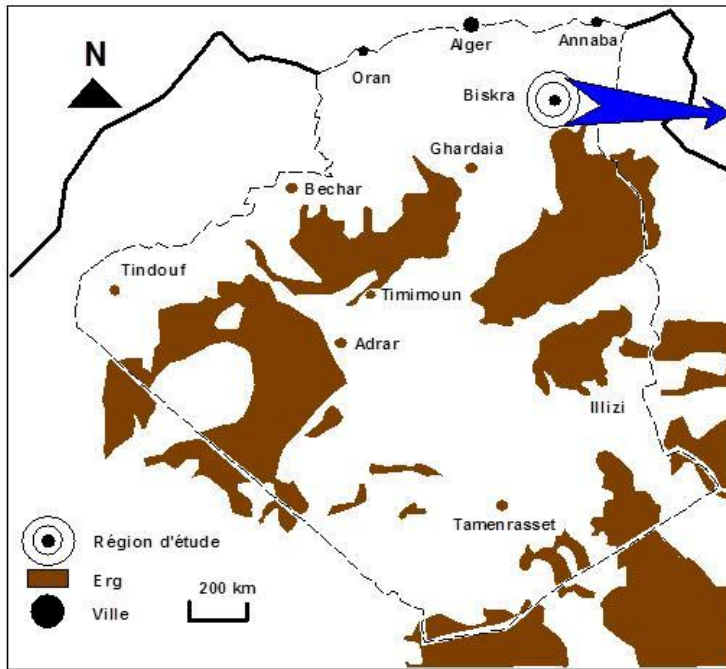
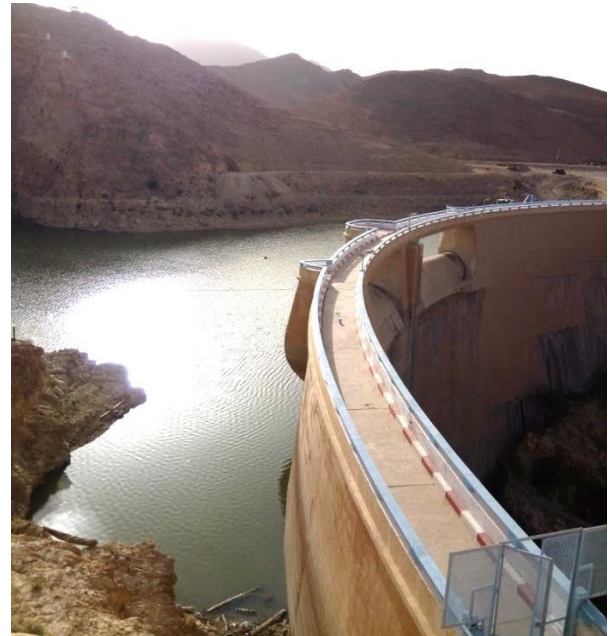


Photo. ANBT

**Fig. 2.1. Situation géographique du barrage de Fom El Gherza**



**Fig. 2.2. Une vue sur la route du barrage de Fom El Gherza (Mai. 2017)**





**Fig. 2.3. Une vue sur le lac du barrage de Fom El Gherza (Mai.2017)**

### **2-1-2. Géologie du site**

Le site du barrage est caractérisé par différentes couches géologiques :

- Le Campanien inférieur, composé d'alternance de dalles de calcaire et de marne.
- Le Campanien supérieur, composé de marne schisteuse entre 100 et 150 m.
- Le Maëstrichien composé de calcaire cristallin fortement fissuré de 200 m.
- Le barrage est directement fondé sur les calcaires cristallins du Maëstrichien dont la résistance mécanique permet une excellente assise à la voûte mais dont la perméabilité a nécessité d'importants travaux d'injection. (données ANBT).

### **2.1.3. Climatologie**

Du fait de la très importante dénivelée du bassin versant, le climat y est très variable. La température moyenne annuelle sur ce bassin est de 22.32 c°. Au niveau du barrage de Fom el Gherza, la température est plus élevée, elle doit être à peu près la même qu'à Biskra. La pluviométrie varie bien entendu en fonction de l'altitude, la moyenne enregistrée à Fom el Gherza a et de 126.63 mm.

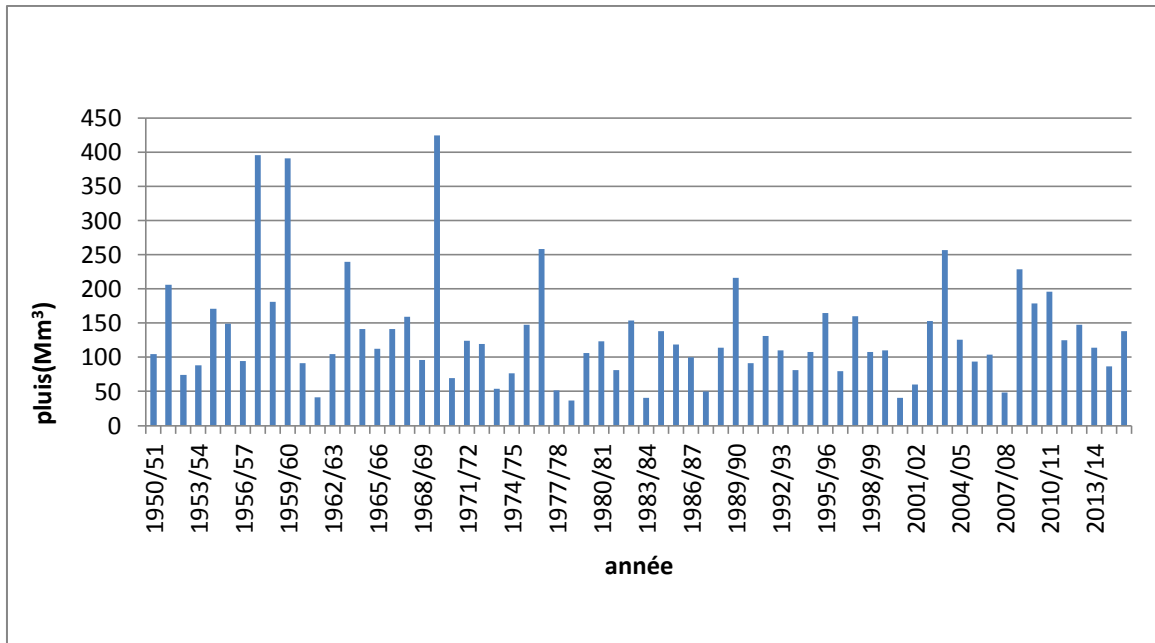


Fig. 2.4. La pluviométrie moyenne enregistrée à Foum el Gherza

#### 2.1.4. L'évaporation

L'évaporation constitue le transfert de l'eau de la terre vers l'atmosphère par évaporation des eaux de surface et des sols. L'évaporation moyenne annuelle à Foum el Gherza est égale à 2260 mm

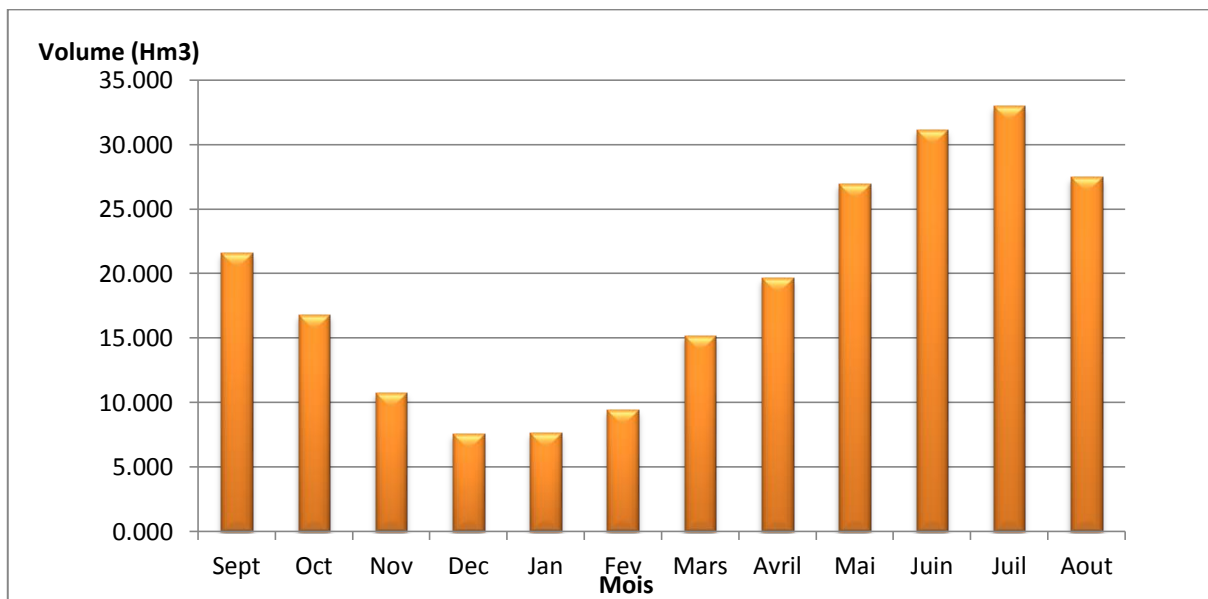


Fig. 2.5. Variation mensuel de l'évaporation (1950-2017)

## 2.2. Un aperçu historique sur le barrage de Foum El Gherza

Les gorges de Foum-el-Gherza, creusées par l'oued el Abiod dans les Monts de l'Aurès, ont depuis longtemps attiré l'attention des techniciens ; étroites et profondes, elles permettent d'établir un barrage important par la construction d'une digue haute et de longueur réduite. En amont, parcourue par l'oued, s'étend une dépression où un volume d'eau considérable peut être accumulé ; à l'aval, dans la plaine saharienne, aux environs de l'oasis de sidi Okba, des terres alluvionnaires de bonne qualité justifient une mise en valeur rationnelle par le moyen des irrigations.

Ces avantages du site de Foum-el-Gherza, ont conduit les services de l'hydraulique à cette époque de réaliser pas mal d'ouvrages jusqu'à la réalisation du barrage de Foum el-Gherza comme il est à son état actuel.

Le barrage a fait l'objet d'études et de travaux de confortement (Donnée ANBT) :

- 1952 à 1957 : Travaux de renforcement du rideau d'étanchéité.
- 1970 : Travaux de canalisation et de jaugeage des eaux de fuites.
- 1982 : Expertise sur le Barrage de Foum El Gherza par Lahmeyer International.
- 1984 : Etudes APD du confortement du voile d'étanchéité par Lahmeyer International.
- 1986 : Levé bathymétrique de la retenue par Geokart.

Réaménagement des équipements hydromécaniques et des bâtiments de service

- 1988 : Réhabilitation du réseau de piézomètres et drains par Energo Project – Belgrade
- 1993 : Rapport de caractérisation et d'inspection - Auscultation et Expertise des barrages par COBA / COYNE & BELIER / TRACTEBEL / IRIRI
- 1996 : Réhabilitation du réseau de piézomètres et drains par USFI

Rénovation des organes de prise d'eau et de vidange de fond par ENCC

Assainissement des bétons du corps du barrage par TRAVOMED.

- 2003 : Réhabilitation du réseau topographique ; études par EDF.

## 2.3. Bassin versant à l'amont du barrage

Le bassin versant de l'oued l'Abiod couvre une superficie de 1300 km<sup>2</sup> pour un périmètre de 200 km. Il se trouve dans le versant sud de la partie orientale de l'atlas-saharien. Le découpage hydrographique assigne celui-ci au bassin versant du CHOTTE-MELGHIR. Il est constitué de terres dénudées à fort coefficient de ruissellement. Son réseau est formé de plusieurs affluents descendant des pentes des Monts-Chelia (2328m)

et du Djebel Echmoul (2071m), les principaux affluents sont oued Zellatou et oued Thniet el Abed sur la rive gauche et oued el Atrous sur la rive droite.

Le bassin versant de L'Oued l'Abiod se subdivise en deux parties :

- la partie comprise entre djebel Chelia jusqu'au gorges de Tighanimine est occupé par les formations suivantes : Cénomaniens, Albien, Barrémien, Sénonien et Turonien qui contiennent généralement des marnes, gypses, calcaires et grès.
- La partie inférieure qui s'étale de Tighanimine jusqu'à les gorges de Foug el Gherza contient les formations suivantes : Maestrichtien, Pliocène, Oligocène, Miocène inférieur. Ces formations contiennent des marnes blancs et rouges, des calcaires, des sables et des grès.

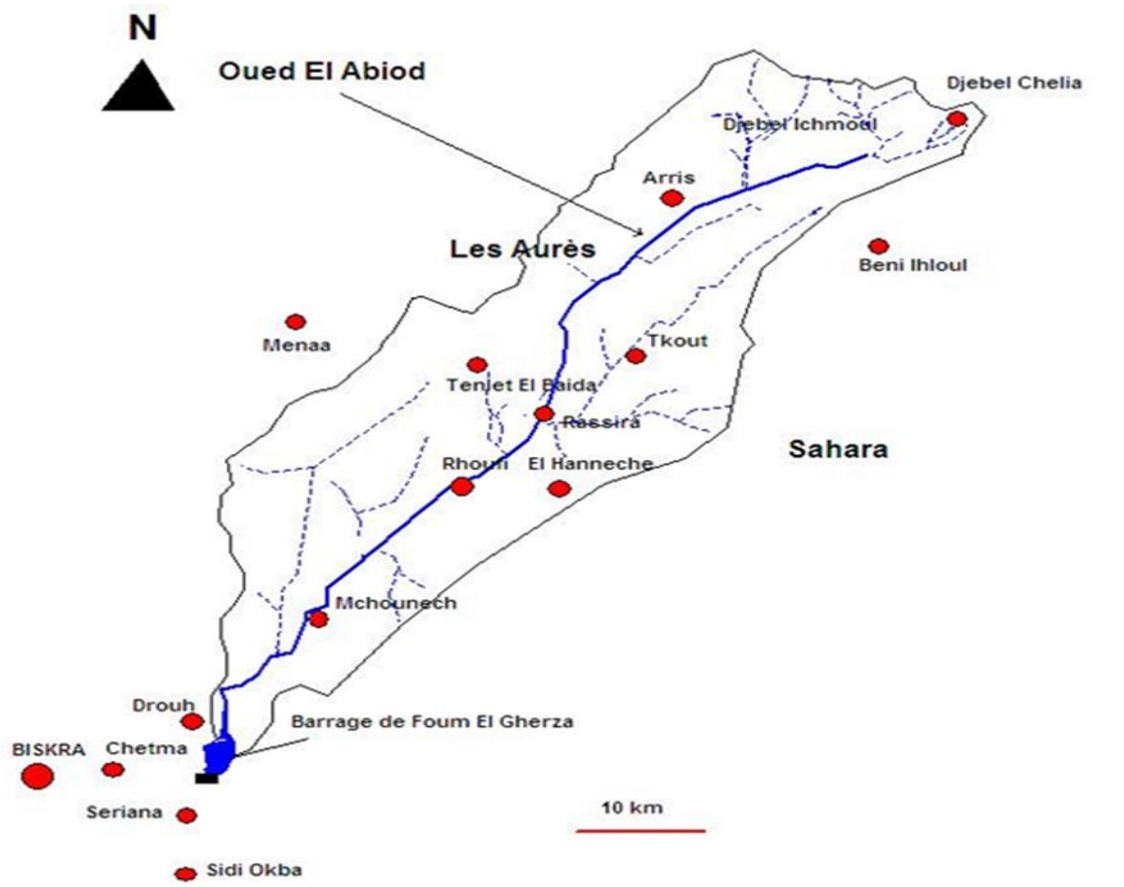


Fig. 2.6. Les limites du bassin versant d'Oued El Abiod

## **2.4. Investigation, enquêtes et données utilisées**

Durant le mois de février 2017, nous avons effectué une mission sur le site du barrage. Nous avons été impressionnés par des fuites d'eau au niveau de la rive gauche. Ceci nous a encouragés à mener des investigations approfondi au niveau des deux rives du barrage. Des enquêtes ont été menées auprès des techniciens du barrage pour mieux comprendre l'historique du phénomène.

Des données très utiles nous ont été fournis par les services du barrage, et au niveau de l'Agence National des Barrage et Transfert. Ces données s'étalant sur la période 1950-2016 sont de grande importance pour notre étude.

## **Conclusion**

Le but de l'étude est de déterminer quels sont les caractéristiques du barrage de Foum el Gherza qui doivent être pris en considération pour mieux comprendre le phénomène de fuite d'eau.

## Chapitre 3

### Les fuites du barrage

#### Introduction

Dans le présent chapitre, nous examinons les différentes relations et corrélations pour comprendre le phénomène des pertes d'eau par infiltration. Nous mettons en valeur les résultats obtenus par les données mesurés par l'ANBT, pendant plus d'un demi-siècle (1950-2016).

#### 3.1. Phénomène des fuites au niveau du barrage

Les fuites à travers les berges du barrage Foum el Gherza sont visibles à l'œil nu. Elles s'écoulent à travers les fissures de la roche en traversant même l'écran d'étanchéité (fig. 3.1). Pour remédier aux fuites d'eau au sein des berges du barrage (fig. 3.2.A), un rideau d'étanchéité a été mis en place (fig. 3.2.B), ce qui a diminué largement les fuites sans les supprimer totalement.

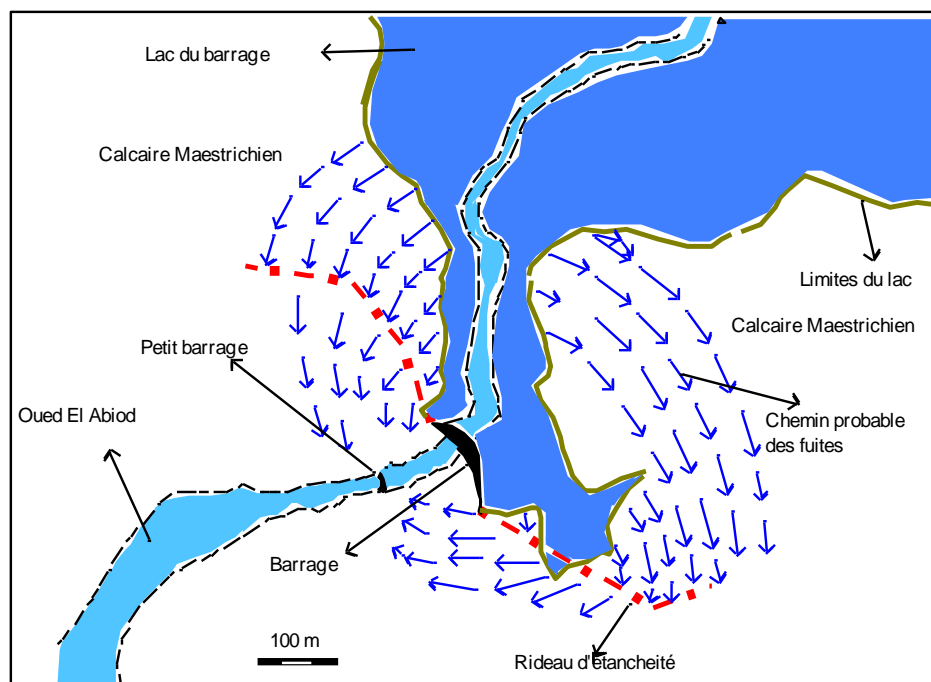
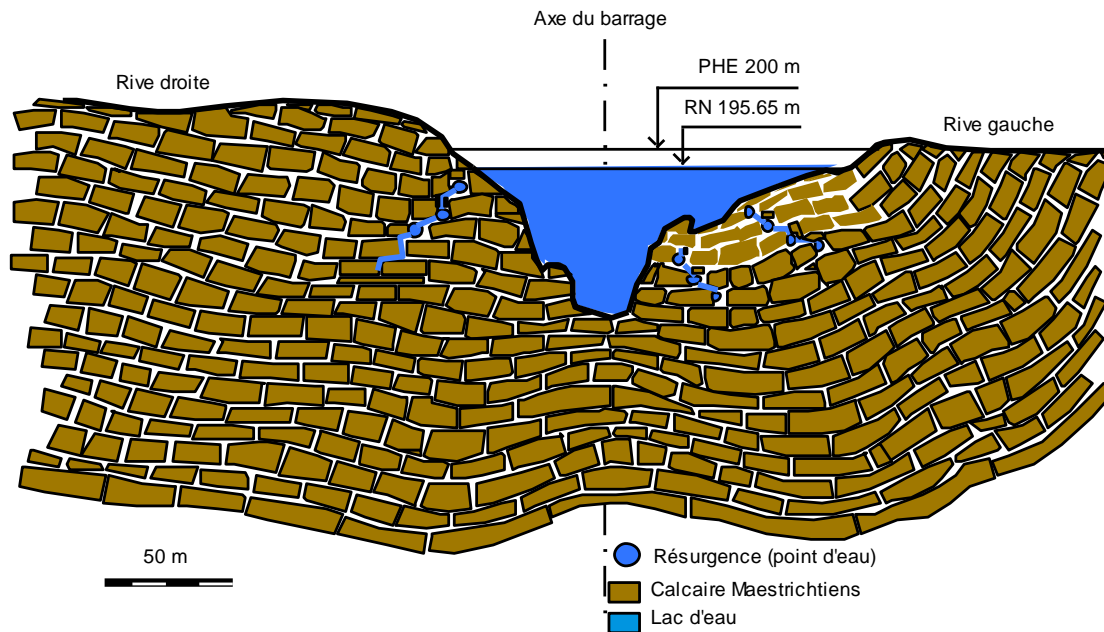
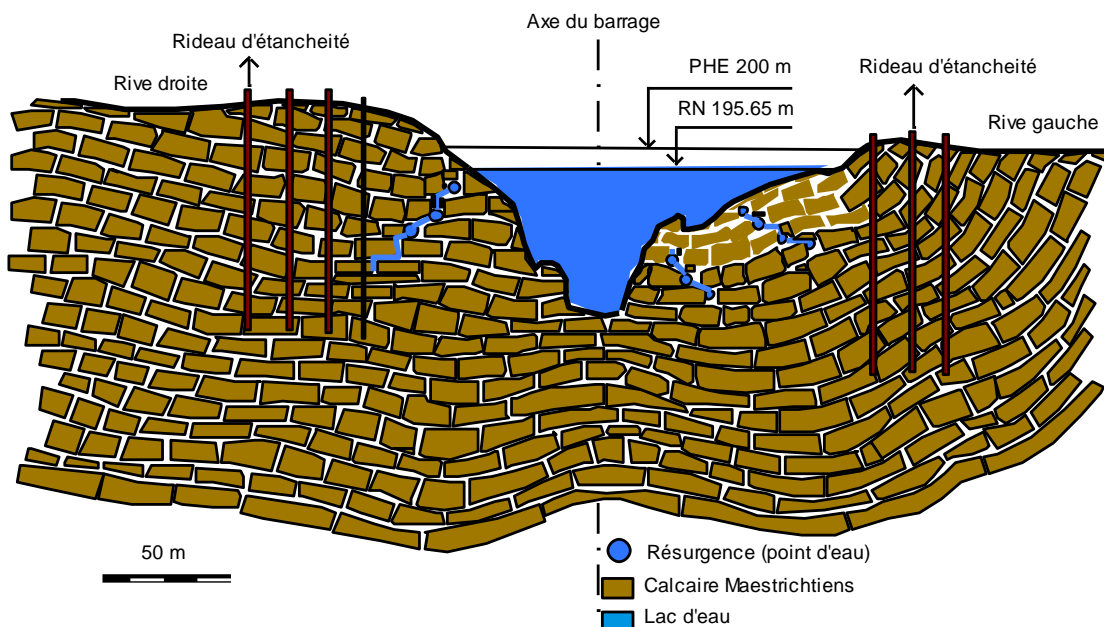


Fig. 3.1. Phénomène des fuites au niveau du barrage



**A) Sans le rideau d'étanchéité**



**B) avec le rideau d'étanchéité**

**Fig. 3.2. Un schéma probable de la circulation d'eau à travers la roche**

### 3.2. Typologie de fuites

Un barrage de stockage des eaux n'est jamais à l'abri des fuites d'eau. Plus la hauteur du lac d'eau est grande, plus la pression est grande sur toutes les parties qui forme le réservoir : fond, les rives, la digue et les vannes de fond. On distingue 3 types de fuites.

### 3.2.1. Les fuites à travers le massif

Quel que soit le barrage bâti sur un site karstique donc perméable, les eaux s'écoulent à l'intérieur du massif rocheux par des fissures pour se retrouver dans l'oued à l'aval du barrage (fig. 3.3). Les quantités d'eau perdues varient d'une région à l'autre. Ces fuites d'eau peuvent être récupérées pour l'irrigation ou pour la recharge de la nappe. Cependant avec le temps, ces écoulements à l'intérieur de la roche peuvent être un danger pour la stabilité de l'ouvrage. En effet, l'élargissement de la section du couloir de circulation peut engendrer des écoulements.

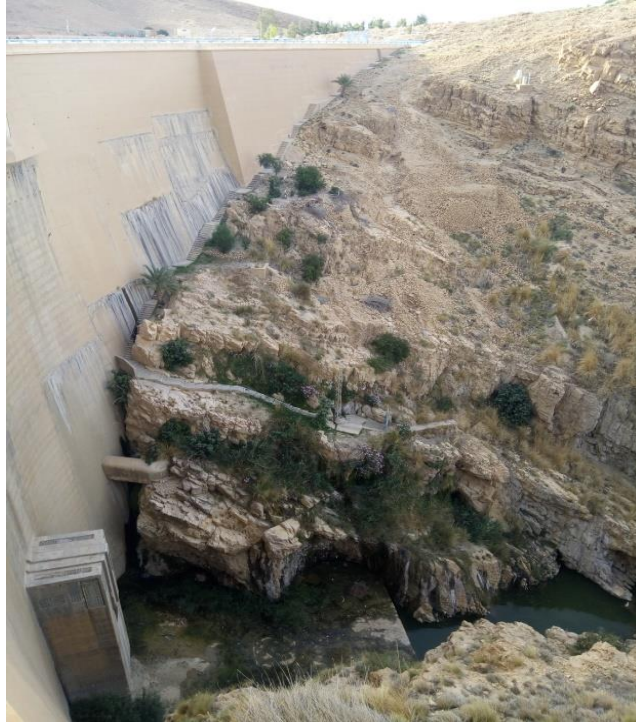


**Fig. 3.3. Ruissèlement des eaux de fuites sur le massif de la rive droite du barrage de Foum El Gherza (photo. 2005)**

### 3.2.2. Fuites à travers la digue

Généralement, ils peuvent apparaître des petites fissures dans certains endroits d'une digue en béton et à certains joints de construction et qui peuvent se colmater avec le temps. Ce type de fuite est visible à l'œil nu, mais son débit reste assez faible. Cependant, ces fuites peuvent nuire à la sécurité de l'ouvrage. Le suivi de l'évolution de ce type de fuites doit être suivi d'une façon continue. Les fuites sont visibles sur le barrage de Foum El Gherza (fig. 3.4 et fig. 3.5).





**Fig. 3.4. Une vue des fuites par la digue de la rive gauche du barrage de Foum El Gherza (Mai.2017)**



**Fig. 3.5. Une fuite d'eau bien visible bien que le lac est au niveau le plus bas (Mai.2017)**

### 3.2.3. Fuites à travers les vannes de fond

C'est un type un peu particulier. Après quelques années d'exploitation du barrage et les manœuvres périodiques des pertuis de vidange, des quantités d'eau de faible importance peuvent fuir à travers les joints. Cependant des cas particuliers peuvent avoir lieu comme le blocage de la vanne par un objet extérieur. A titre d'exemple, lors d'une opération de vidange, la vanne n'arrivait pas à se fermer. Elle se trouve coincé par un tronc de palmier. Elle est restée ouverte durant plus de 6 heures (fig. 3.6).



**Fig. 3.6. Vanne de fond du barrage de Foug El Gherza souvent bloquée par les palmiers arrachés par les crues (Photo. Mai 2016)**

### 3.3. Quelques valeurs sur les fuites dans les barrages algériens

L'Agence National des Barrages et Transferts (ANBT) a procédé depuis les années 2000 au jaugeage des fuites d'eau à travers les berges et les fondations de l'ensemble des barrages en exploitation. Les eaux fuites sont canalisées par un réseau réalisé spécialement pour la récupération des eaux. Le suivi et les mesures des volumes d'eau se font régulièrement. Les données collectées au niveau d'ANBT concernant les débits des fuites des barrages en exploitation sur une période de 12 ans (de 2001-2012). Nous avons représentés par la figure (3.7) les variations du volume des pertes d'eau des barrages en service. Il est intéressant de constater que le volume total croit depuis 2001 pour atteindre la valeur de 118 millions m<sup>3</sup> en

2012. Cette augmentation est due à la mise en eau de nouveau barrages durant la période 2001-2012.

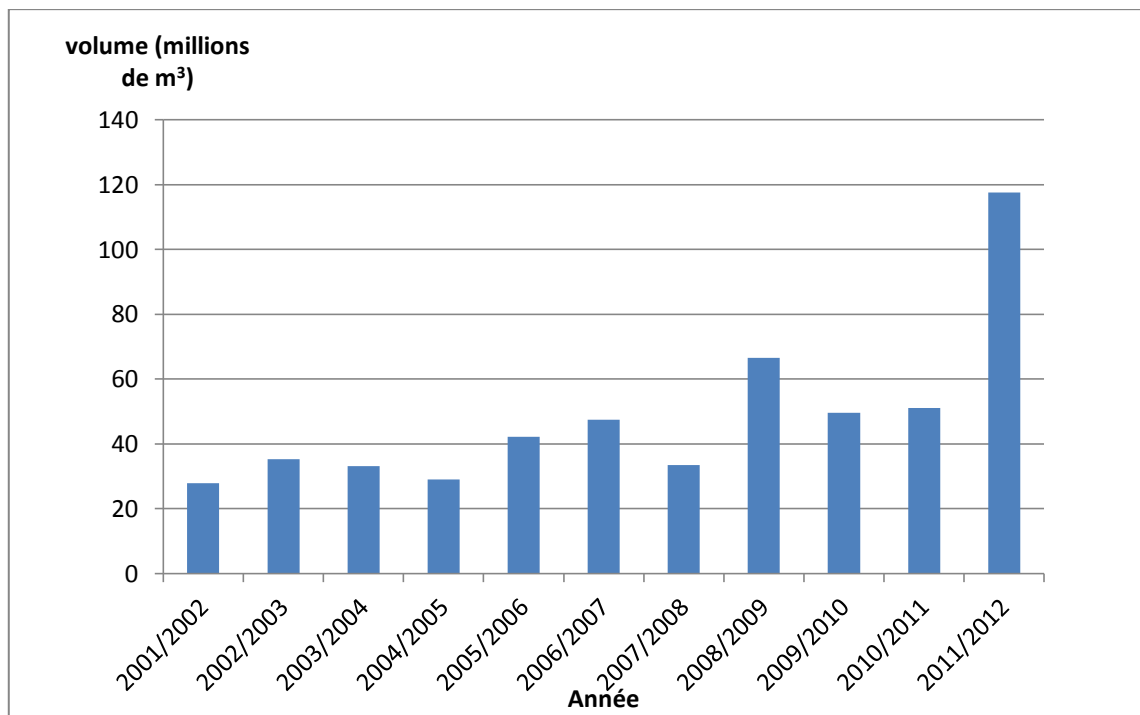
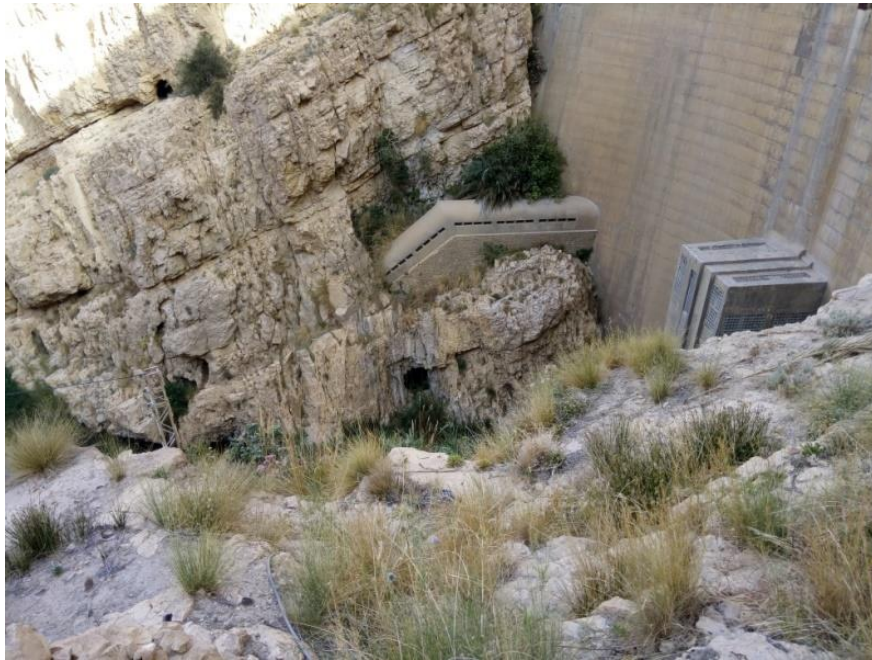


Fig. 3.7. Variation des fuites d'eau dans les barrages algériens (donnée ANBT)

### 3.4. Observations et quantifications du phénomène de fuites

Durant les mois février- mai (2017), deux missions sur le site de barrage de Foum el Gherza ont été effectuées. La première remarque qu'on peut tirer concerne le site du barrage qui est constitué par une stratification de la roche de type calcaire fissuré incliné dans le sens de l'écoulement de l'oued (d'un angle de 30°) (fig. 3.8). En plus, nous avons observé des fissures et des ouvertures qui peuvent atteindre 10 cm dans certains endroits. Le réservoir formé par la digue en voute possède toutes les caractéristiques pour favoriser les écoulements à l'intérieur des roches et par conséquent, le barrage se vide dans le temps. C'était le seul lieu favorable à la réalisation d'un barrage d'une capacité de 47 millions de m<sup>3</sup>, afin d'irriguer les palmeraies avoisinantes. La réalisation du barrage en 1950 a permis au niveau d'eau de dépasser une hauteur de 30 m, ce qui a engendré une pression de 300000 N/m<sup>2</sup> qui a permis à l'eau de s'introduire et de s'écouler à travers les fissures de la roche. Des quantités d'eau énormes fuient le barrage. Diverses résurgences et sources d'eau ont fait leur apparition dans les deux rives à l'aval du barrage. Une telle situation a poussé les services d'hydraulique à procéder à la réalisation en 1950 à 1957 d'un rideau d'étanchéité pour minimiser les pertes d'eau.

Un voile d'étanchéité d'une longueur de 2 km et équipé de 107 piézomètres a été réalisé à partir des années 50 sur les deux rives. A partir de 1970, un réseau de jaugeage des eaux de fuites ont été réalisés.



**Fig. 3.8. Vue montagnaise et rocheuse de type calcaire**

(Photo. Mai 2017)

### **3.5. Le rôle du voile d'étanchéité**

Le barrage de Foum El Gherza est réalisé sur le calcaire cristallin du Maestrichtien qui présente sur toute son épaisseur une multitude de trous et de fissures. Pour minimiser les pertes d'eau dans ce milieu perméable, juste après la mise en eau du barrage, un voile d'étanchéité a été construit durant la période : 1950-1957(fig. 3.9). Pour des raisons techniques, le voile d'étanchéité a rencontré des problèmes de fonctionnement. C'est ainsi que des essais de renforcement et de raccordement du voile d'étanchéité ont été effectués durant la période ; 1954-1957. D'une longueur totale de 2 km (1.5 km de la rive droite et 0.5 km de la rive gauche), l'écran d'étanchéité a été renforcé par un dispositif de piézomètres afin de contrôler la circulation des eaux et de l'état du rideau (fig. 3.10, 3.11 et 3.12). Au début des années soixante-dix, un réseau de canalisation des eaux de fuites a été réalisé dans le but de jauger et de récupérer ces eaux pour l'irrigation des palmeraies de Sid Okba, Thouda, Garta (fig. 3.15). En 1996, des travaux de réhabilitation du rideau d'étanchéité du réseau des piézomètres et des drains ont été effectués. Cependant, en 2017, le problème des infiltrations aux appuis latérales persistent toujours, ce qui démontre que cet ouvrage d'étanchéité n'a pas

solutionné le phénomène de fuites d'eau. Il est à noter que depuis un demi-siècle, le dispositif piézométrique n'a pas cessé de se dégrader d'une à l'autre. Plusieurs piézomètres sont devenus inutilisables par suite l'obturation par le sable et la boue (fig.3.13). C'est ainsi que le nombre de piézomètres fonctionnels qui était égal à 107 en 1958, a diminué pour se retrouver en 2017 égal uniquement à 17. Les 90 autres piézomètres ont été complètement abandonnés (fig.3.14).



**Fig. 3.9. Traces du rideau d'étanchéité sur la rive droite du barrage (photo. Mai 2017)**



**Fig. 3.10. Piézomètre fonctionnel de la rive gauche RG 8N (photo. Mai 2017)**



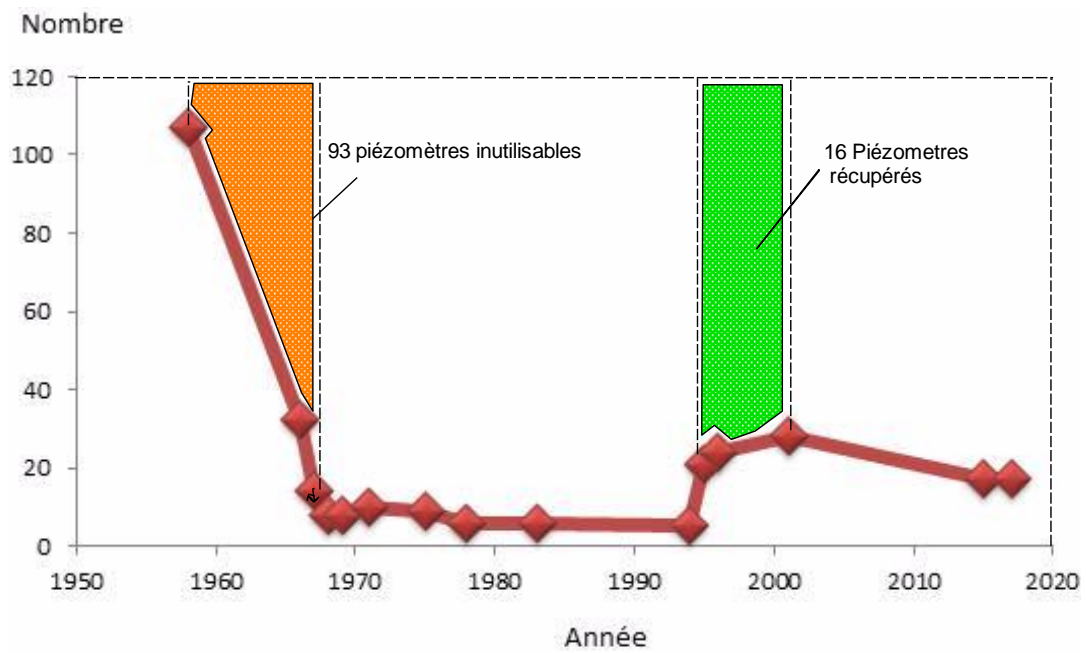
**Fig. 3.11. Piézomètre fonctionnel de la rive droite RD 21N (photo. Mai 2017)**



**Fig. 3.12. Piézomètre fonctionnel de la rive gauche Piézomètre S32 (photo. Mai 2017)**



**Fig. 3.13. Piézomètre obturé non utilisable (photo. Mai 2017)**



**Fig. 3.14. Evolution du nombre des piézomètres le long du voile**



**Fig. 3.15. Un exemple sur la gestion des eaux de fuites.**  
Un système de canalisation des eaux d'infiltration destiné  
à l'irrigation (photo. Mai 2017)

### **3.6. La nature de la roche, les crues et les fuites**

Le barrage de Foum El Gherza est bâti sur un massif formé par des roches de calcaires karstique maestrichtiens rigide et fissuré (fig. 3.19 et 3.24). Par contre les fondations sont composées de calcaire de bonne qualité. Donc c'est à travers les deux rives que les écoulements s'effectuent au vu de la forte perméabilité.

Les crues rapides et éclaires qui se manifestent occasionnellement dans l'oued Labiod drainent des apports d'eau appréciables comme le montre les exemples du tableau (3.1). Ces débits d'eau provoquent une montée rapide du niveau du lac (fig. 3.16 et 3.17). Une telle variation brusque engendré souvent l'accroissement des infiltrations à travers les ouvertures et les fissures (fig. 3.18 (a et b)). Après le passage dans le massif rocheux, l'eau s'écoule dans les couloirs de circulations, rejoint les cours d'eau à l'aval du barrage à travers une multitude de sources et de résurgences localisées dans les rochers des deux rives (fig.3.20 et 3.21). Après la fin d'une crues, apparition d'un lac des eaux de fuites à l'aval du barrage collectant l'ensemble des fuites non drainé par le réseau (fig. 3.22 et 3.23).

**Tablau 3.1. Quelques valeurs du debit des crues drains par l'oued (données ANBT)**

| <b>date</b>           | <b>Débit(m<sup>3</sup>/s)</b> |
|-----------------------|-------------------------------|
| La crue du 01/10/1959 | 243.15                        |
| La crue du 12/09/1963 | 308.43                        |
| La crue du 28/09/1986 | 344.54                        |
| La crue du 16/03/2011 | 83.81                         |

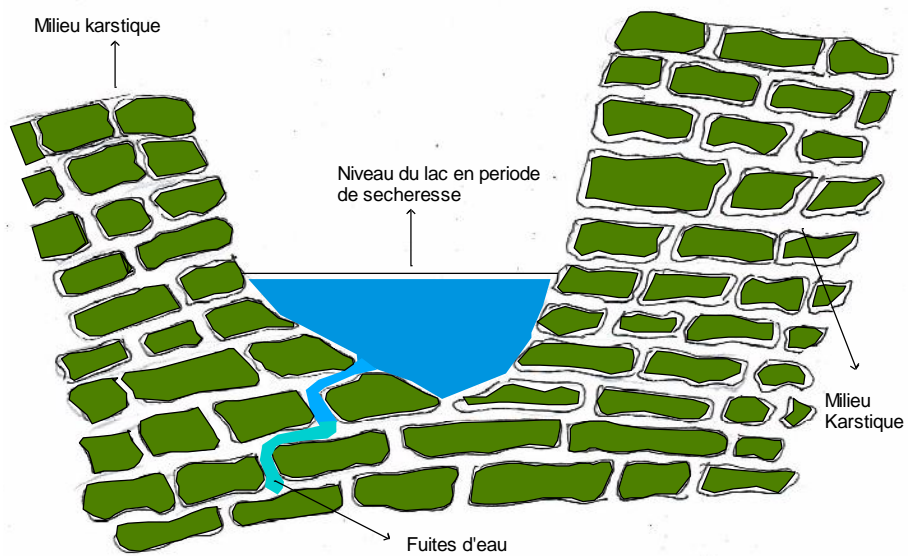


**Fig. 3.16. Une vue générale de l'évacuateur de crues du barrage de Fom El Gherza d'un débit d'évacuation de 730 m<sup>3</sup>/s (photo. Mai 2017)**

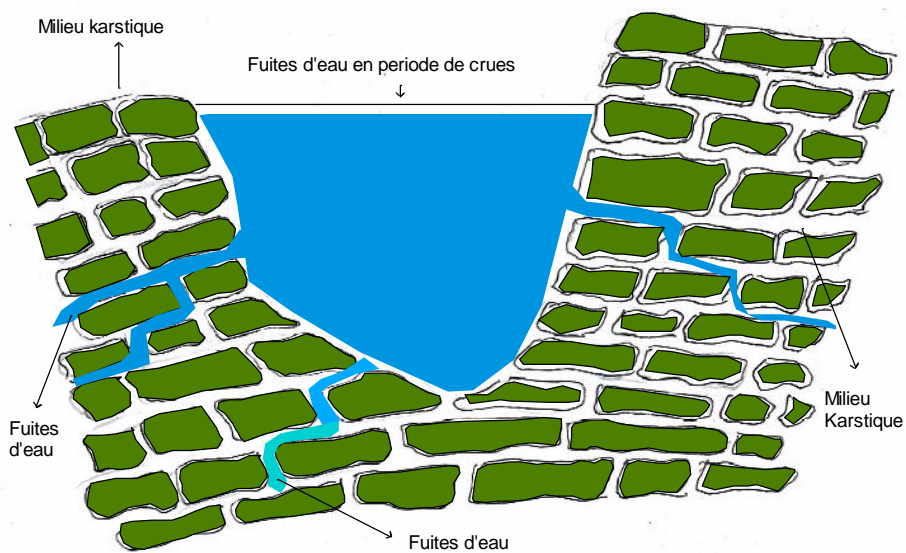


**Fig. 3.17. Fonctionnement de l'évacuateur du barrage, synonyme de l'ampleur de la crue de 2008 (photo. ANBT)**





**a. Infiltrations en période de sècheresse**



**b. Infiltrations en période de crue**

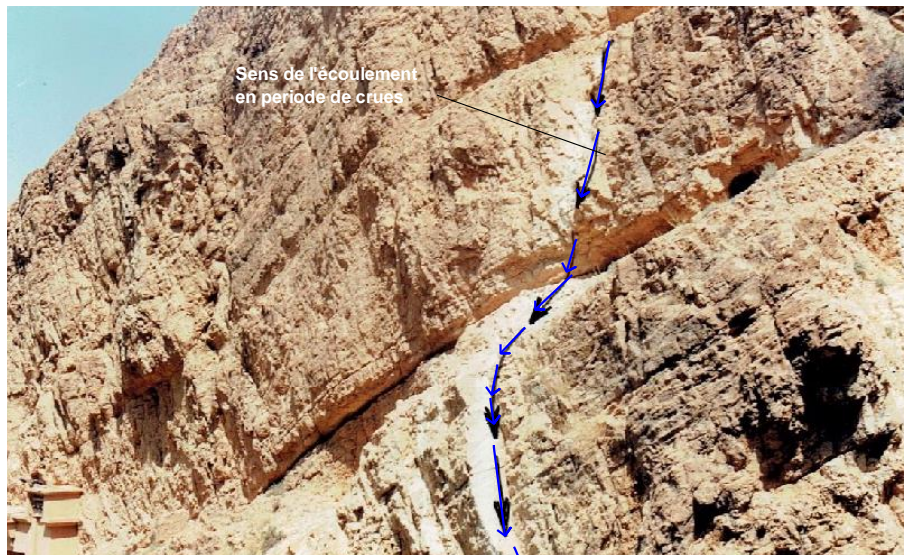
**Fig. 3.18. Schéma synoptique du mécanisme des infiltrations dans un milieu karstique**



**Fig. 3.19.** Trous et fissures dans la rive droite (roche calcaire) de la retenue de barrage : un lieu privilégié des fuites d'eau (photo. Aout 1998)



**Fig. 3.20.** Traces de ruissèlements des eaux de fuites en période de hautes eaux (photo. 1998)



**Fig. 3.21. Un chenal tracé par les écoulements des eaux de fuites en période hivernal au niveau de la rive droite (photo. 1998)**



**Fig. 3.22. Formation d'un lac d'eau à l'aval du barrage, suite aux infiltrations Dans la roche des deux rives (photo. 1998)**



**Fig. 3.23. Une vue générale sur la stratification de la roche, inclinaison dans le sens de l'écoulement (photo. 2017)**



**Fig. 3.24. Grande ouverture au niveau de la roche de la rive droite (photo. 2017)**

### 3.7. Relation entre les apports et les fuites au barrage Foum el Gherza

Pour illustrer cette relation, nous avons représenté sur les figures (3.25 et 3.26), les apports et les fuites. Il est intéressant de constater que durant la période 1950-2016, un volume d'eau égale à 2,1 milliards de m<sup>3</sup> a été apporté au barrage par les différentes crues. Cependant, pendant la même durée, un volume d'eau égale à 220 millions de m<sup>3</sup> a été perdu par les infiltrations à travers les fissures des roches des deux rives. Soit une perte de 10% des apports totaux. Un volume exceptionnel d'eau évalué à 227 millions m<sup>3</sup> a été apporté par la crue durant l'année 2011/2012. Cependant, une quantité d'eau égale à 1.7 millions m<sup>3</sup> s'est infiltrée dans les deux rives pour la même année.

Durant l'histoire du barrage, nous avons enregistré un volume de fuites de 10.5 millions m<sup>3</sup> en 1960, malgré le faible apport au barrage durant la même année qui est égale à 37.5 millions m<sup>3</sup>.

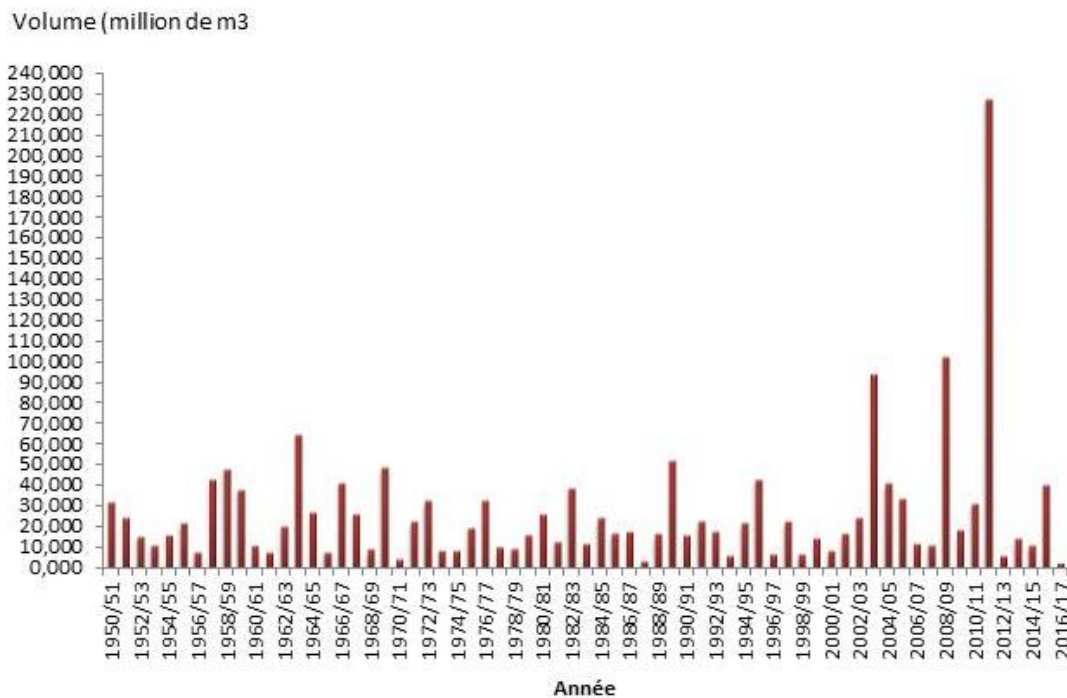


Fig. 3.25. Les apports interannuels au niveau du barrage de Foum El Gherza (données ANBT)

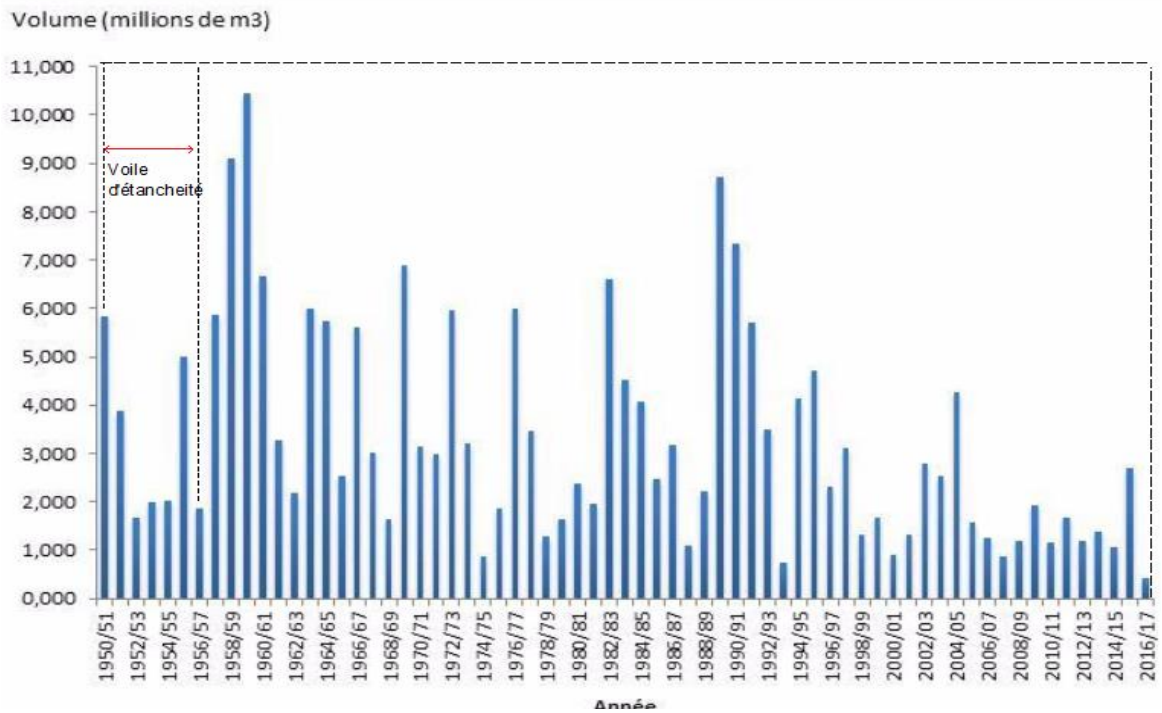
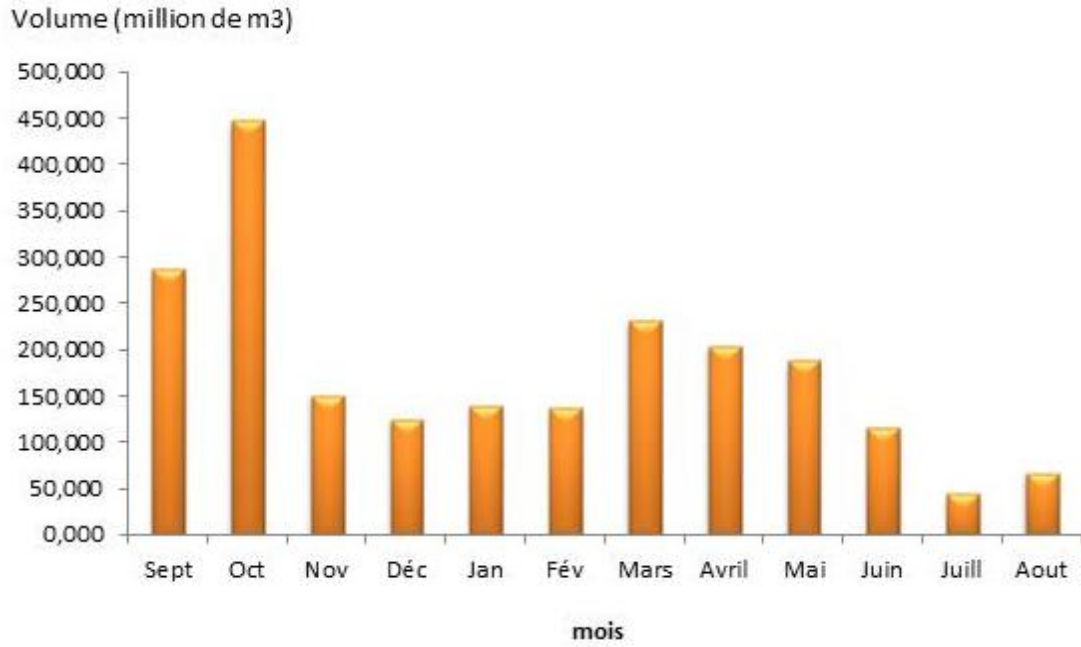


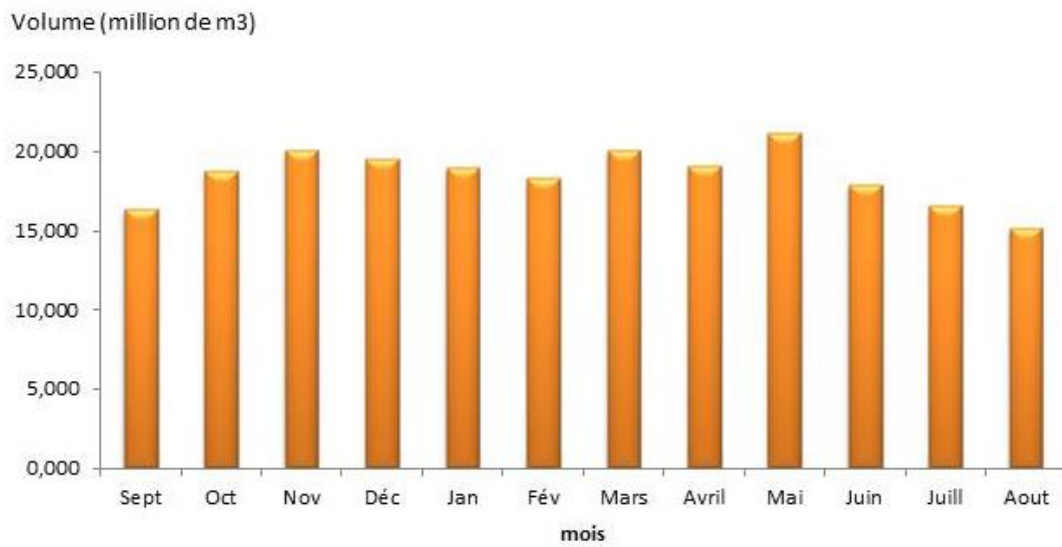
Fig. 3.26. Les fuites d'eau interannuelles au niveau du barrage de Foum El Gherza (données ANBT)

### 3.8. Variation mensuelles des fuites d'eau

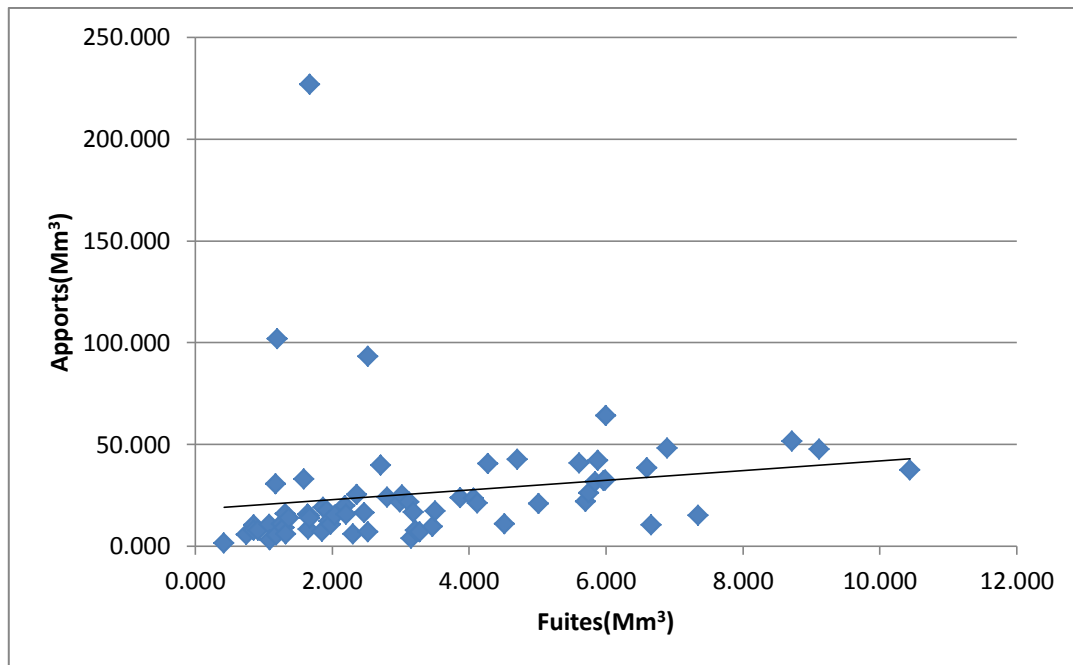
Pour comprendre l'effet des apports sur les infiltrations, nous avons représentés par les figures (3.27 et 3.28) Les variations mensuelles des apports et celles des fuites. Sur l'ensemble des années d'exploitations, les apports maximum ont été enregistrés vers les cinq dernières années (2011-2016). Par contre, le phénomène de fuites s'est inversé durant la même période. Ceci s'explique par l'absence d'une corrélation entre les deux paramètres. Les représentations mensuelles totales des apports et des fuites confirment le résultat ci-dessus. Malgré la variation des apports, les volumes de fuites enregistrent une faible variation (entre 15 et 21 Mm<sup>3</sup>).



**Fig. 3.27. Variations mensuelles des apports (1950-2017)  
(données ANBT)**



**Fig. 3.28. Variation mensuelles des fuites (1950-2017)  
(données ANBT)**



**Fig. 3.29. Variations interannuelles des fuites en fonction des apports (période : 1950-2017)**

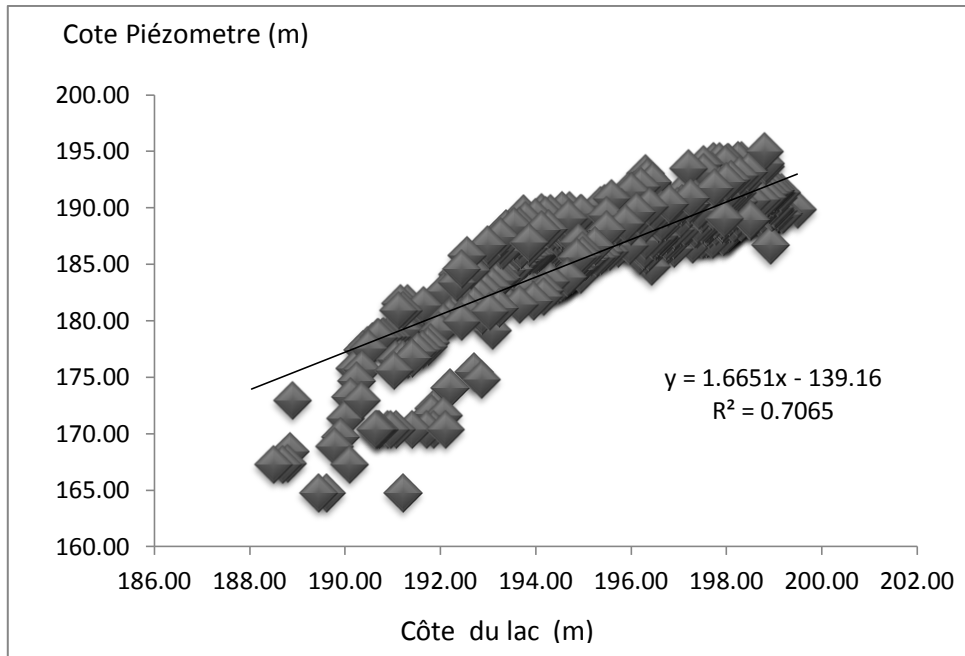
### 3.9. Relation entre le lac et le piézomètre

Le système des piézomètres installé le long du voile d'étanchéité est un indicateur de l'efficacité du rideau, le suivi périodique de la variation de la cote de l'eau dans les piézomètres nous donne des informations sur la perméabilité et les couloirs de circulation de l'eau dans le massif karstique. Nous avons représenté sur la figure (3.30) la variation du plan d'eau du lac et du piézomètre.

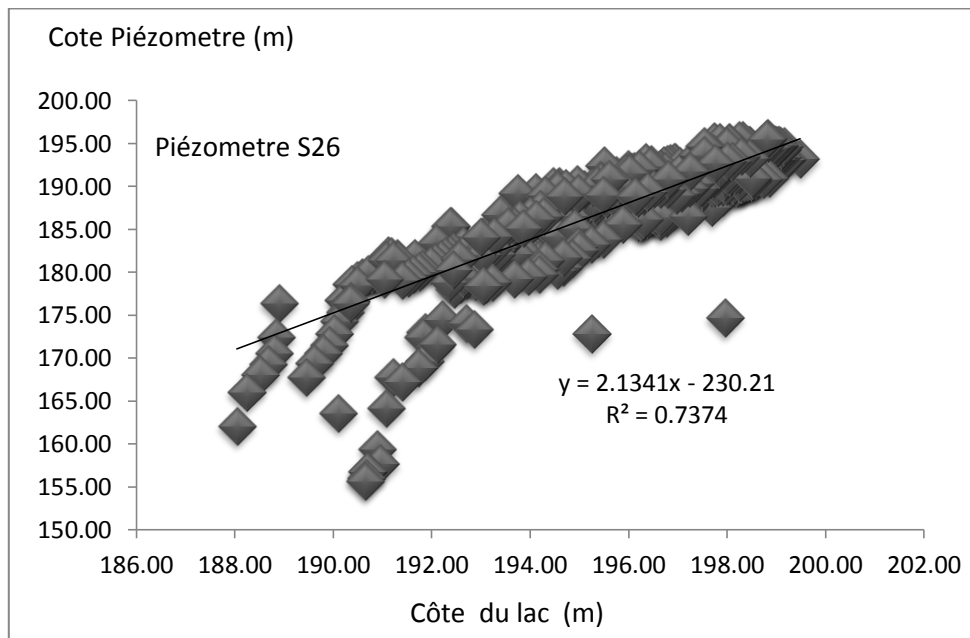
Une nette corrélation se dégage pour les piézomètres S21, S25, S26, S50 et S32, ce qui montre qu'il existe bien une relation linéaire entre les deux côtes (piézomètre et le lac d'eau). Cependant pour le piézomètre S32, la cote du lac croît linéaire avec celle du piézomètre jusqu'à la cote 175 m (seuil). Puis elle continue à augmenter mais avec une faible pente, ceci peut s'expliquer par la diminution des fissures dans la roche d'une manière croissante avec l'altitude. Par contre, la corrélation pour les piézomètres S25, S26, S50, RD21N montre une linéarité avec une seule pente. Cette situation peut être interpréter par l'homogénéité des fissures dans le massif.

Quant au piézomètre S64, l'absence d'une corrélation entre les deux niveaux d'eau est à signaler. Ceci ne peut être expliqué par l'hétérogénéité du massif.

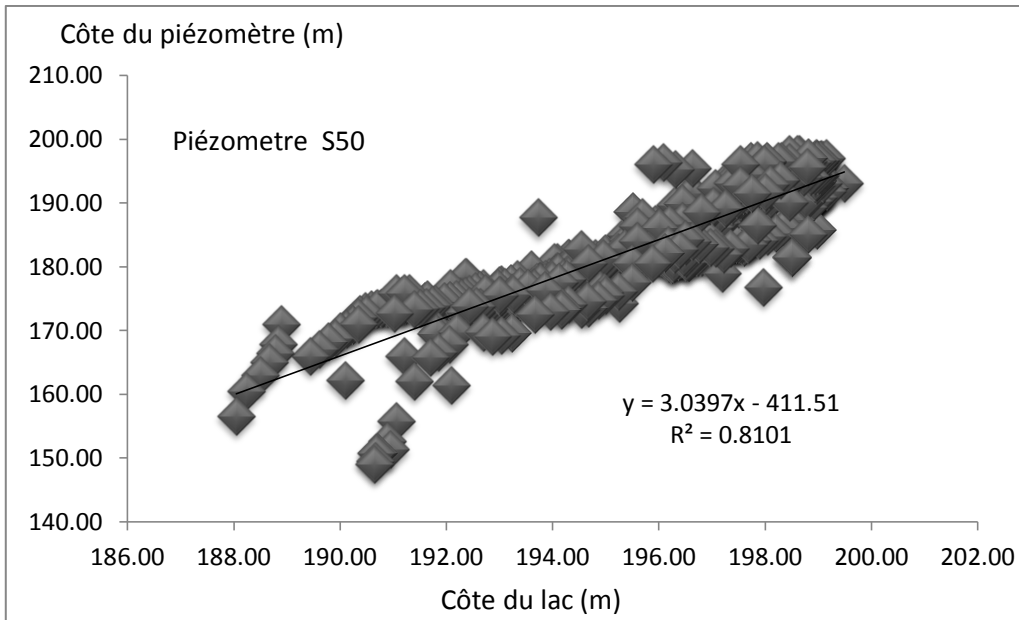




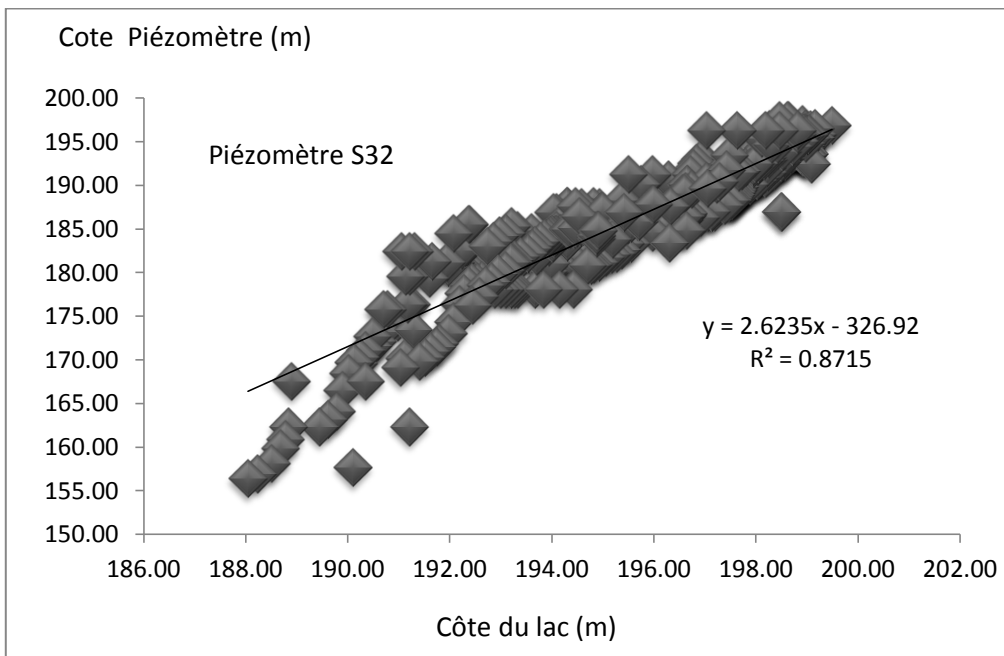
**Fig. 3.30. Piézomètre S25 (Rive gauche amont voile)**



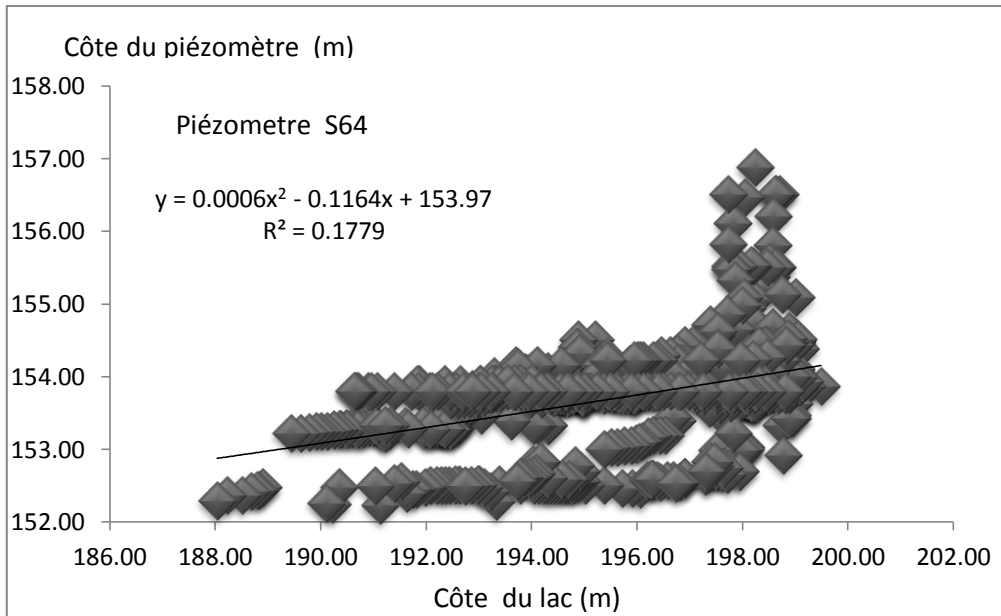
**Fig. 3.31. Piézomètre S26 (Rive gauche amont voile)**



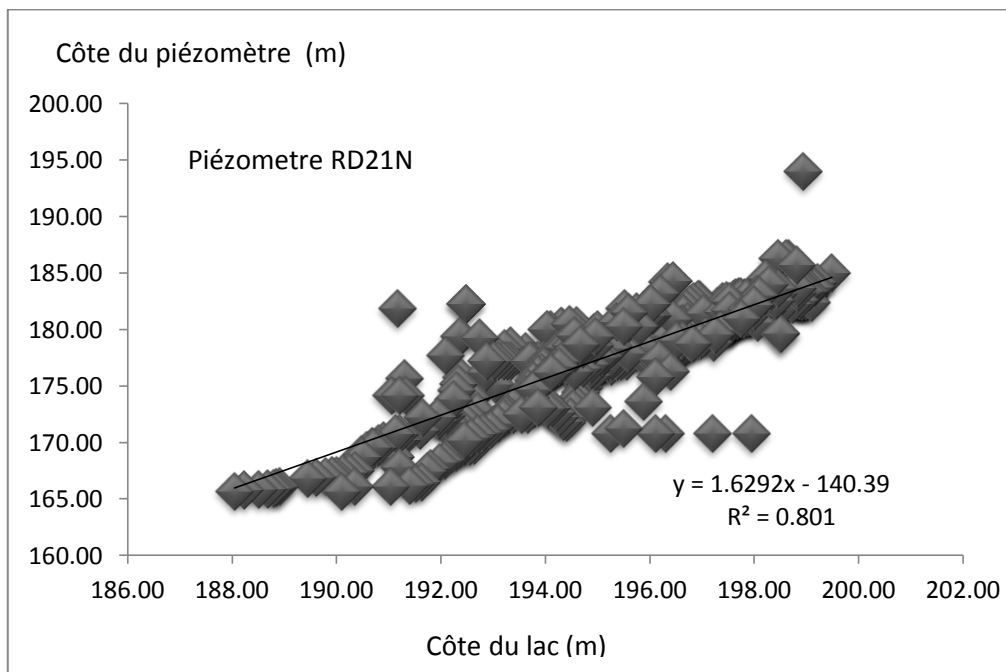
**Fig. 3.32. Piézomètre S50 (Rive gauche amont voile)**



**Fig. 3.33. Piézomètre S32 (Rive droite amont voile)**

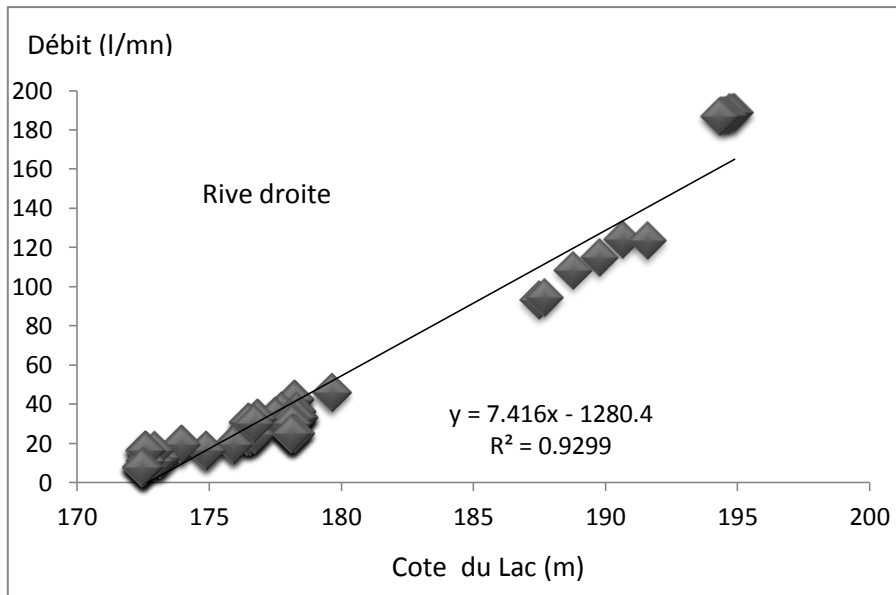


**Fig. 3.34. Piézomètre S64 (Rive gauche avale voile)**

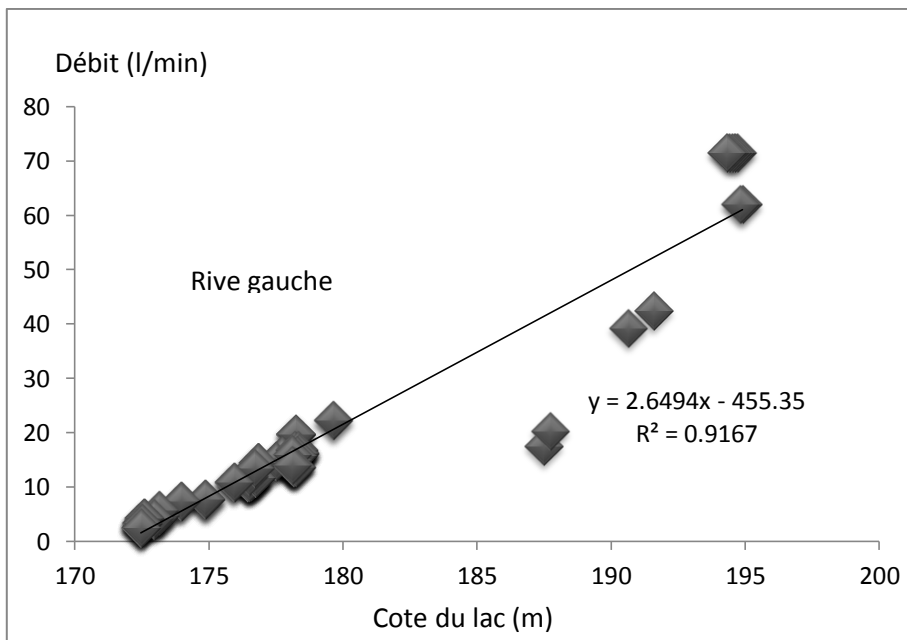


**Fig. 3.35. Piézomètre RD21N (Rive droite sur voile)**

Profitons de quelques données de débit de fuites disponibles au niveau du barrage, nous avons représenté sur les figures (3.36 et 3.37), l'évolution de débit de fuites en fonction de plan d'eau pour les deux rives. Une nette relation linéaire se dégage entre les deux paramètres. Cependant, la pente de la droite de la rive droite est beaucoup plus grande que celle de la rive gauche. Ceci confirme les constatations faites sur le terrain par les techniciens du barrage durant plus de 50 ans de service.



**Fig. 3.36. Variation de la cote de lac (rive droite)**



**Fig. 3.37. Variation de la cote de lac (rive gauche)**

### 3.10. Relation entre le volume d'eau de la retenue et le volume des fuites d'eau du barrage de Foug El Gherza

Pour avoir une idée sur le mécanisme des écoulements à l'intérieur de la roche, nous avons représenté sur la figure (3.38) le volume des fuites en fonction du volume de la retenue.

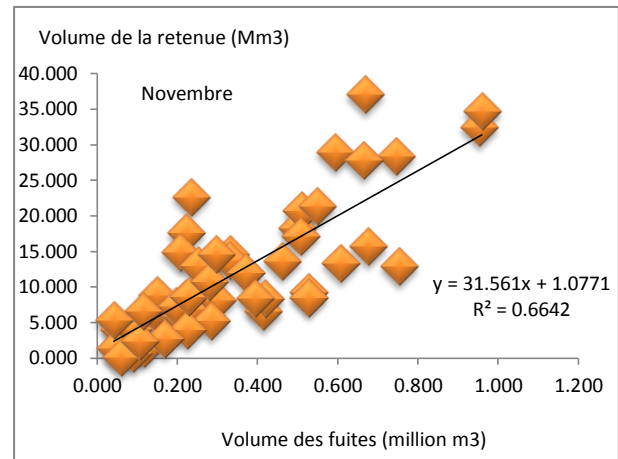
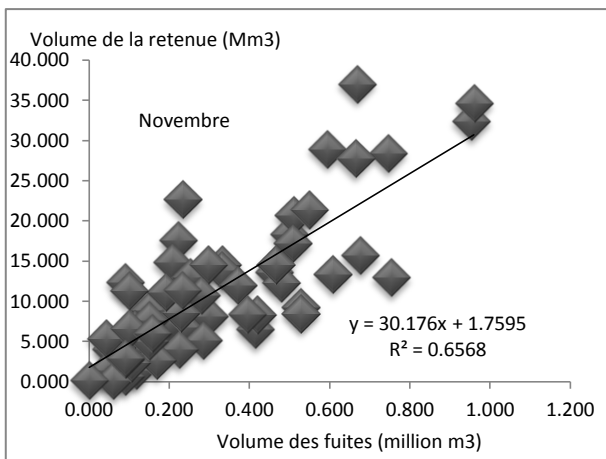
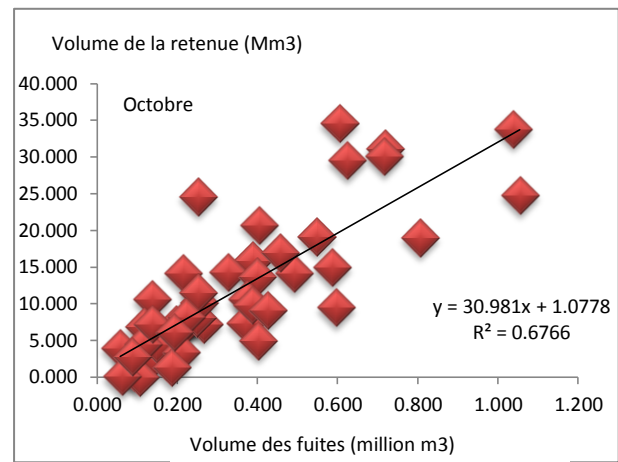
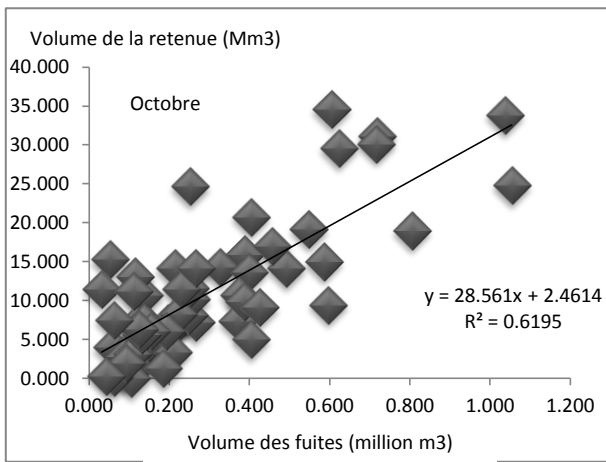
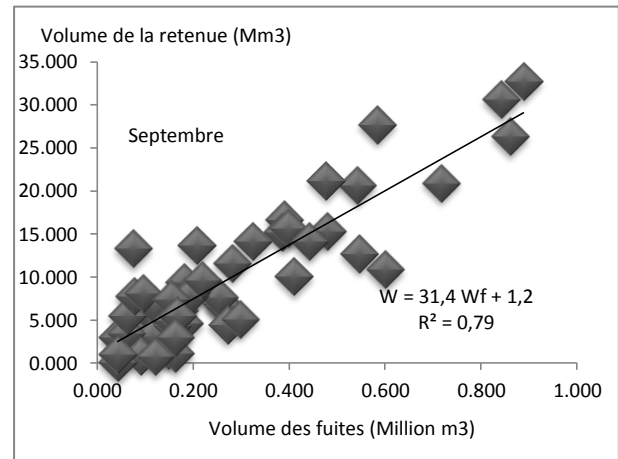
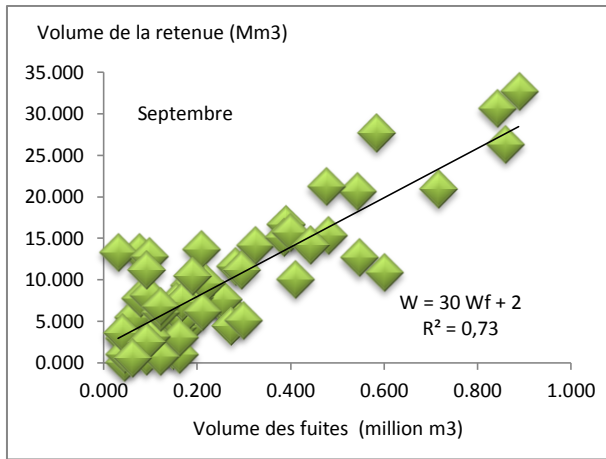
Nous observons pour la durée 1950-2003 qu'il existe une bonne corrélation linéaire entre les paramètres hydrauliques ( $w_f$  et  $w_R$ ) avec un coefficient de détermination qui varie entre ( $0.83 < R^2 < 0.57$ ) Selon les mois. Ceci ne peut être expliqué que par la montée du plan du lac, qui influe directement sur l'accroissement des infiltrations.

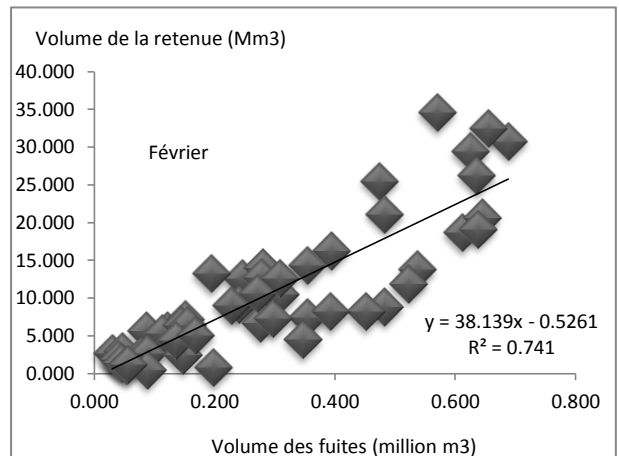
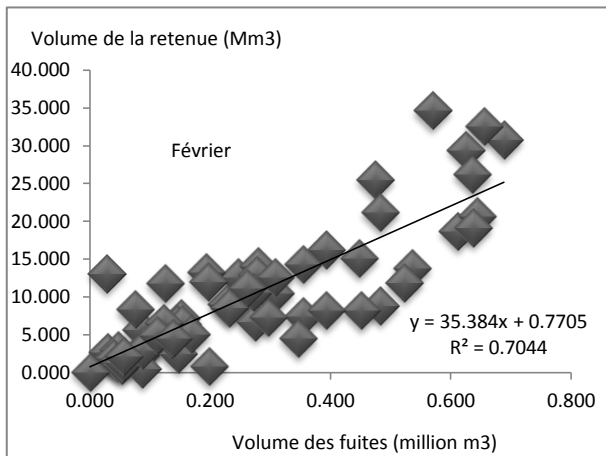
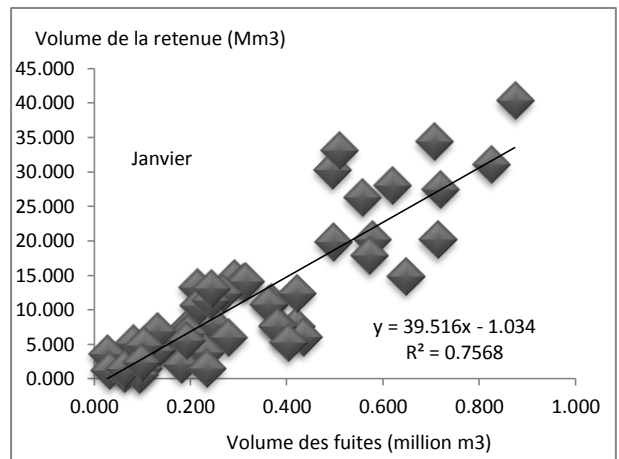
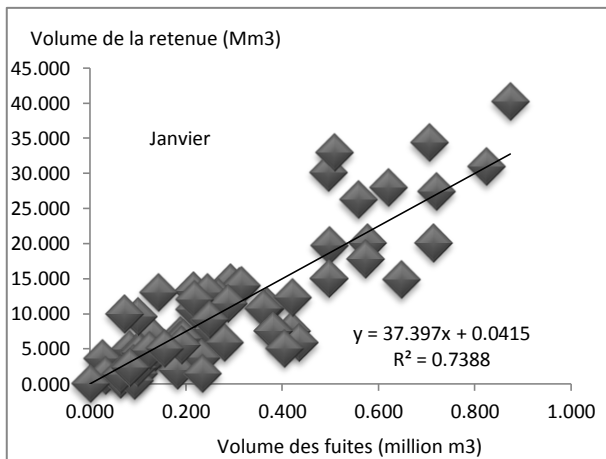
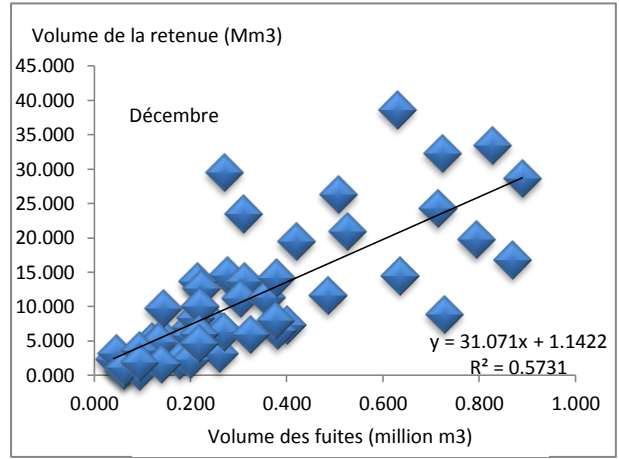
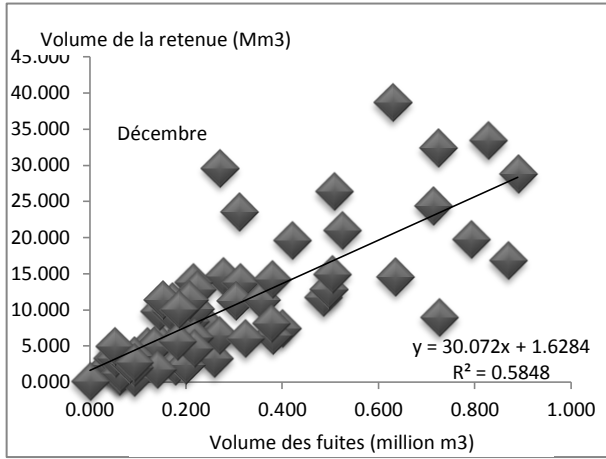
Sur les 12 graphes (12 mois), nous avons constaté une variation du coefficient de la pente de la droite. A cet effet, le graphe de la figure représente la variation de ce coefficient en fonction des mois (fig.3.39). Il est intéressant de noter que durant la période sèche le coefficient de pente est beaucoup plus grand qu'en période humide. Ceci s'explique que les infiltrations augmentent en période d'été, c'est-à-dire lorsque le niveau d'eau est au plus bas.

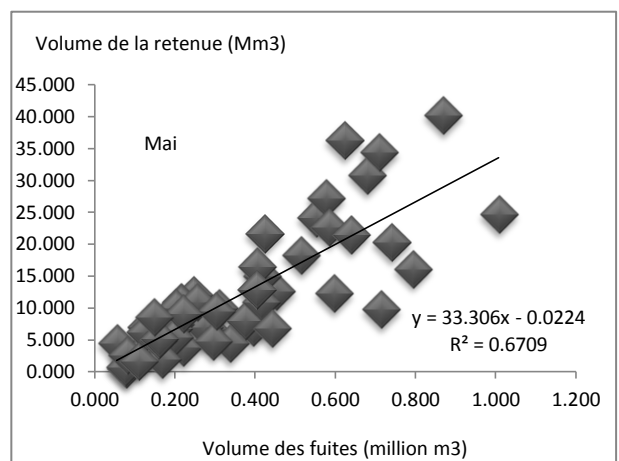
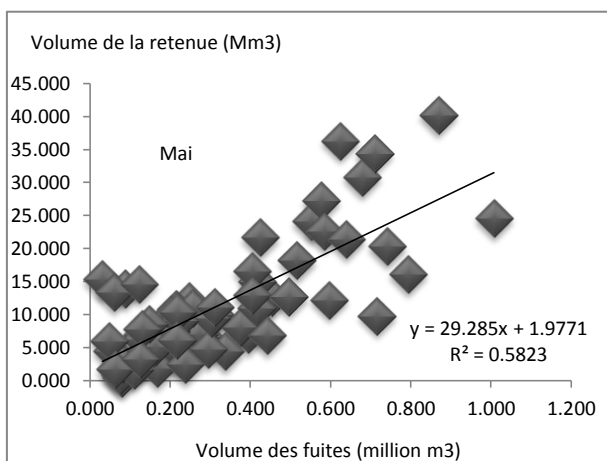
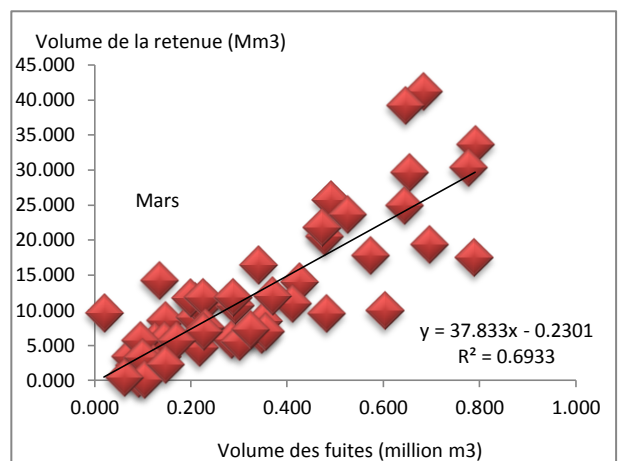
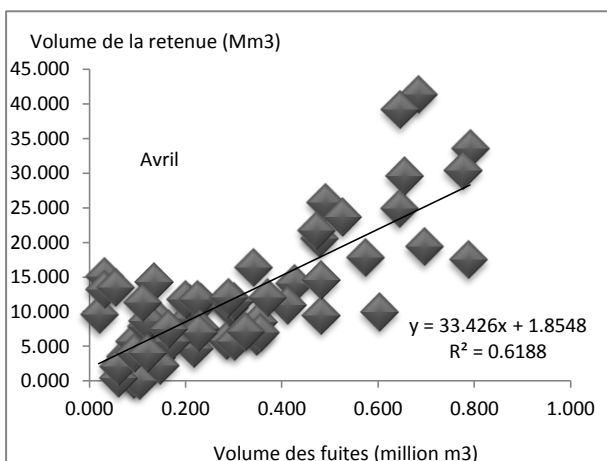
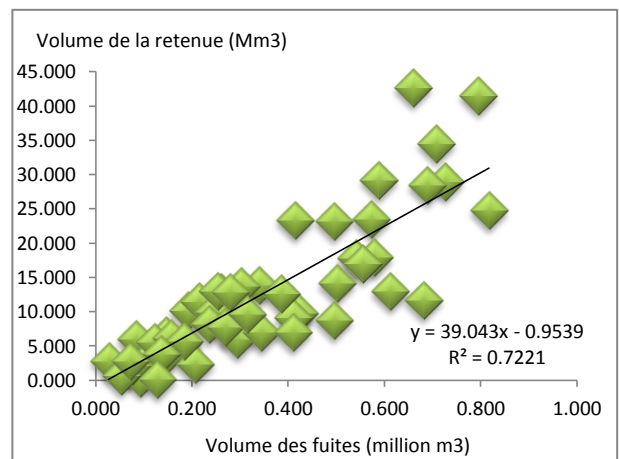
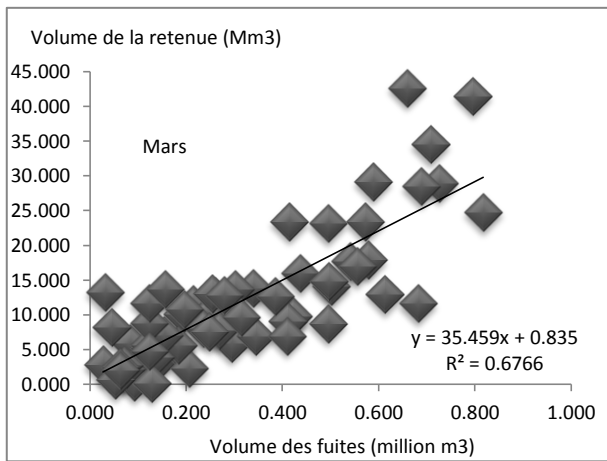
Par contre en hivers, lorsque le plan d'eau est au niveau maximum, les infiltrations sont moins importantes qu'en été.

Cette situation s'explique que la nature de la roche a un rôle très important de la variation des infiltrations.

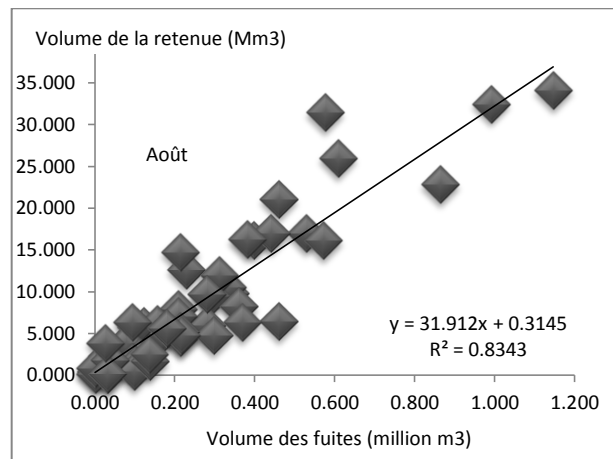
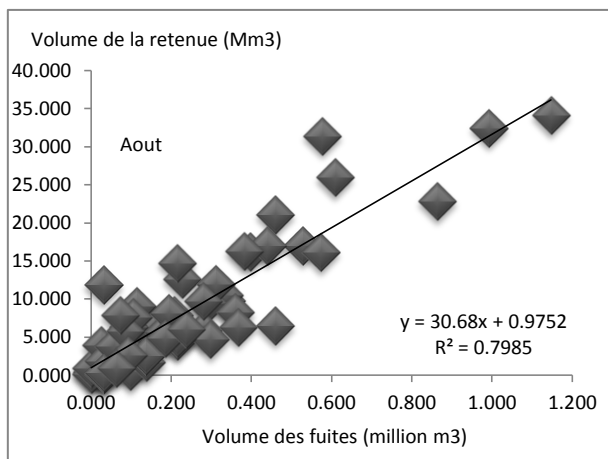
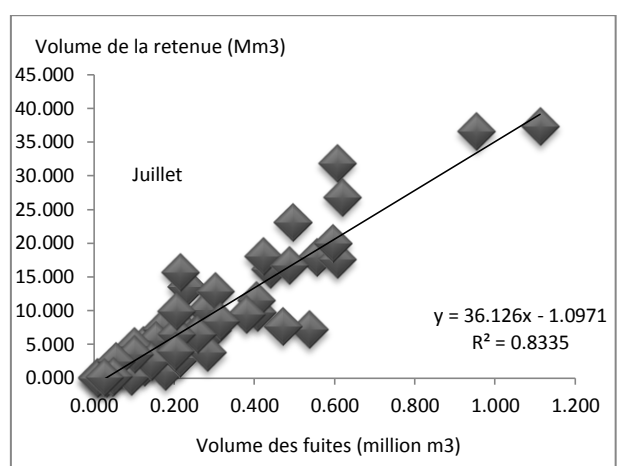
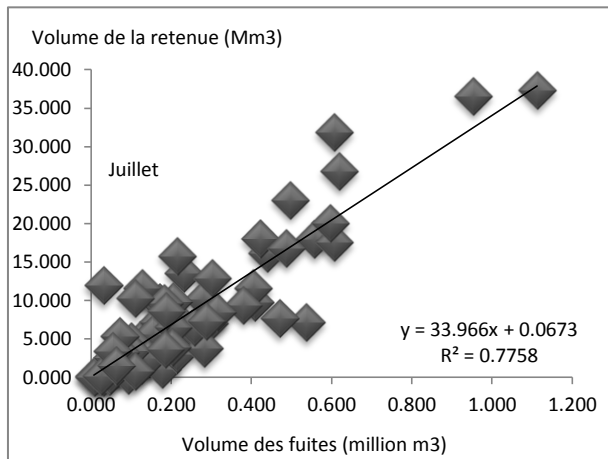
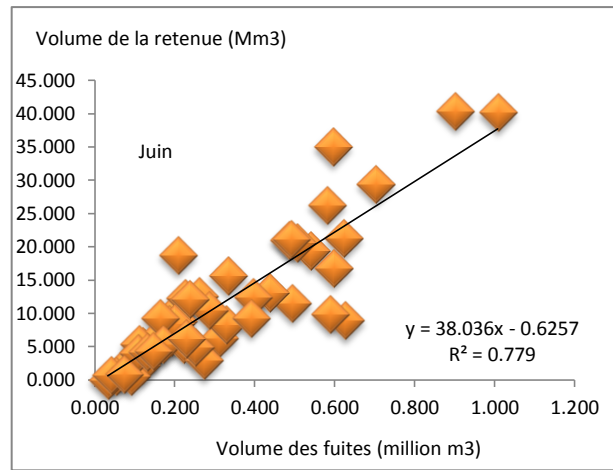
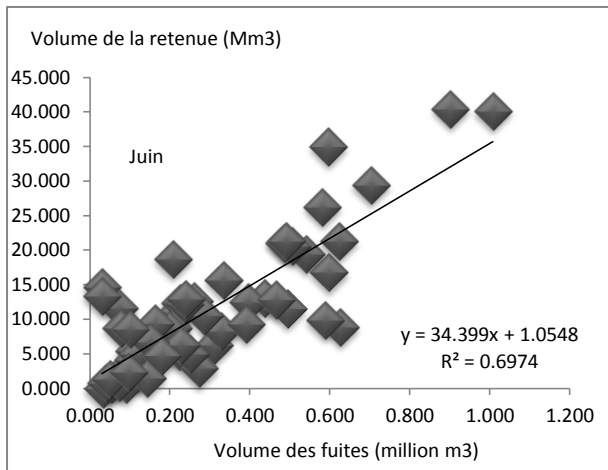
En effet durant l'été caractérisé par des températures élevées, il y a de nouvelles fissures qui se forment. En plus en hivers avec la multiplication des apports liquides et solides certaines fissures se colmatent.



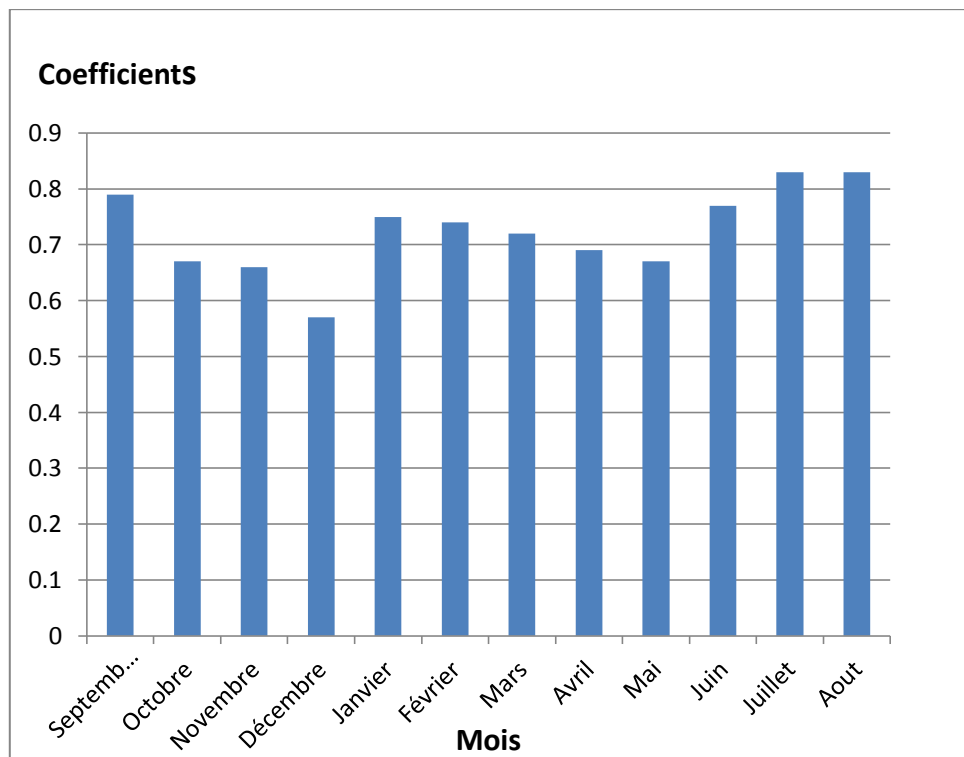








**Fig. 3.38. Le volume des fuites en fonction du volume de la retenue  
1950-2003**



**Fig. 3.39. Variation du coefficient de la pente de la droite**

## Conclusion

Le troisième chapitre a été consacré aux résultats et discussions. Il s'avère que les fuites s'effectuent au niveau des deux rives. Cependant les résultats obtenus confirment l'importance des fuites au niveau de la rive droite.

Malgré la réalisation d'un écran d'étanchéité, les fuites persistent toujours au niveau des deux rives, ce qui nous a poussés à étudier ce cas.

## CONCLUSION GENERALE

Comme nous l'avons montré au début de cette étude que le phénomène des fuites touche l'ensemble de barrages réservoirs Algériens, mais avec des volumes qui varient d'un site à l'autre. Un débit total égal 117.5229 millions de m<sup>3</sup> a été perdu durant uniquement l'année 2012. Une quantité assez importante qui montre la complexité de certaines régions comme le montre les sites des barrages d'Ouizert, Foum El Gherza, Bouhanifia et Djorf Torba qui sont les plus vulnérables aux infiltrations à travers les fissures existantes à l'intérieur des massifs rocheux. Cependant, le choix du barrage de Foum El Gherza pour notre étude est justifié par son importance économique régionale et surtout la richesse en informations et en données dont dispose cet ouvrage. Le barrage réservoir de Foum El Gherza a été bâti sur un massif karstique fissuré donc perméable. Une fois la mise en eau du barrage a eu lieu au début des années cinquante, des résurgences et des sources d'eau ont fait leur apparition sur les deux rives du barrage. Malgré la conception d'un rideau d'étanchéité d'une longueur de deux kilomètres (dont 0.5 km réalisé sur la rive gauche et 1.5 km réalisé sur la rive droite), les écoulements des eaux de fuites persistent toujours. La preuve est que juste après l'achèvement du mur d'étanchéité (en 1959), un débit de fuite égal à 10 millions de m<sup>3</sup> (la valeur la plus importante durant la période de l'exploitation du barrage) a été jaugé à l'aval du barrage. Cette valeur représente le ¼ de la capacité du barrage égal à 47 millions de m<sup>3</sup>. Durant plus de 65 ans de service (période : 1950-2017), le barrage enregistre un volume de fuites d'eau égal à 220 millions de m<sup>3</sup>. Cependant cette quantité d'eau aussi importante ne se perd pas dans la nature puisqu'elle est récupérée par un réseau de canalisations pour le réutiliser pour l'irrigation des palmeraies de Garta, Sidi Okba, Thouda qui renferme une forêt de 370000 palmiers dattiers. Cependant, nous avons enregistré une dégradation du système de surveillance (dispositif de piézomètres) du voile d'étanchéité. Composé de 107 piézomètres en 1958, aujourd'hui il reste uniquement 17 piézomètres fonctionnels. Cependant même si on a enregistré un débit de fuite assez important, la stabilité de l'ouvrage n'est pas menacée pour le moment. D'ailleurs, depuis l'année 1989, on enregistre une tendance décroissante des infiltrations aux deux rives.

### Recommandations

L'expérience acquise depuis plus de 50 ans par les services des barrages dans le domaine d'irrigation par les eaux de fuites est unique dans le monde. Nous recommander aux services d'hydraulique de réparer le foyer du réseau d'irrigation détruits par les dernières crues. Il est souhaitable de renforcer le rideau d'injection au niveau de la rive droite.

## REFERNCES BIBLIOGRAPHIQUES

Agence Nationale des Barrages et Transferts (A.N.B.T). « Bilan annuel des ressources en eau des barrages en exploitation de 1990 à 2002 »

Benfetta H., Remini B., Les fuites d'eau à travers le barrage algérien de Ouizert Article scientifique Sécheresse 2008 ; 19 (3) : 185-92.

D.M.C, A.N.B 'mission d'auscultation du barrage de Foum-el-Gherza', Juillet 1994.

Large dams in china. History achievement prospect Beijing 1987. Edited by chinese national committee on large dams. Published by china water resources and electric power press.

R, THÉRON D. Recherche sur l'étanchéité des lacs de barrage en pays karstique ' collection du centre de recherches et d'essais de Chatou' Eyrolles éditeur Paris 1980.

Toumi A. et Remini B., 2004. BARRAGE DE FOUM EL GHERZA FACE AU PROBLEME DE FUITES D'EAU. Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 03, Juin 2004, pp.25-38.

Toumi A. et Remini B., 2006. La problématique des fuites d'eau du barrage hammam-Grouz (Algérie). Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 05, Juin 2006, pp.41-48.

Toumi A., Remini B., Les fuites à travers les rives du barrage de FOUM EL GHERZA. Revue VECTEUR Environnement (Canada). Novembre. N°6, pp.67-71.

Remini, B. Hocini, N. Moulla, A. les fuites d'eau dans le barrage de Foum-el-Gherza « Algérie »'.E.I.N. international – l'eau, l'industrie, les nuisances n°6, 2001, PP55-59.