

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université d'El-Oued



Faculté de Technologie

Département d'Hydraulique et de Génie Civil

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme du Master en Hydraulique

Option: *Conception et Diagnostic des systèmes d'AEP et d'assainissement*

**Thème : Etude des infiltrations des eaux par les berges et
le fond des barrages réservoirs en régions arides :
Cas du barrage fontaine des gazelles
-Biskra -**

Dirigé par :

Meguellati Soumia

Présenté par :

Douis Mohammed Tayeb

Bedjouti Mohammed

Promotion : Mai 2017

Dédicace

En dédie ce modeste travail avec vif plaisir à ceux

Qui sont les plus proches à nos cœurs,

A nos très chères mères

A nos chers pères

A nos très chères femmes

A nos chères sœurs et frères.

A nos tantes et oncles

A toute la famille

A tous nos amis

Mohammed et Mohammed Tayeb

Remerciement

Il m'est très bien agréable d'adresser mes sincères remerciements à toutes les personnes qui m'ont permis de mener à bien ce travail et ce ne sont pas ces quelques phrases si personnelles soient-elles qui arriveront à leurs exprimer mes sentiments de reconnaissances.

*Nous remercions particulièrement la directrice de mémoire Madame **Meguellati Soumia**, pour son support, tant sur le plan technique que sur le plan personnel. Sa présence et sa disponibilité tout le long de ce projet ont été déterminantes pour le meilleur choix de décisions ainsi que pour la résolution des problèmes rencontrés. Mieux encore, nous lui suis reconnaissant pour l'engagement et l'attention bienveillante qu'il a su m'accorder tout le long de ce projet.*

*Nos remerciements vont également au **directeur et cadres de direction du barrage fontaine des gazelles**. Et surtout Mr **Fatah Atia** qui ne nous a pas épargné pour donner un coup de main.*

*On tient à cœur de remercier **les membres du jury**, pour avoir accepté d'en faire partie et pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce mémoire.*

*Nous remercions vivement **l'ensemble des enseignants** de la spécialité Hydraulique, qui ont veillé sans cesse à nous inculquer les enseignements de base d'hydraulique.*

*A tous nous vous dis un seul mot en espèrent qu'il sera plus significatif que les phrases :
MERCIIIIIII.....*

Résume

Certains barrages algériens sont confrontés au problème des fuites d'eau à travers les rives et les fondations. L'étude de ce phénomène s'avère prioritaire, car il peut mettre en danger la stabilité du barrage et réduire sa capacité utile. C'est le cas en particulier du barrage fontaine des gazelles, implanté en zone aride où la ressource hydrique se fait de plus en plus rare. Ce barrage, situé à environ kilomètres au Nord Est de la ville de Biskra, Il a été construit sur l'oued El-Hai. Le bassin versant de Oued EL-Hai, appartient au grand bassin du Chott Melrhir), ces eaux servent à irriguer la vaste plaine d'El-Outaya permettent ainsi la mise en valeur de millier d'hectare de terre agricole.

Nous présentons dans ce travail un constat de la problématique des infiltrations des eaux du barrage fontaine des gazelles, ainsi que les résultats d'une étude piézométrique. Nous tenterons enfin de faire une analyse de la variation du débit de fuite en fonction de la cote de la retenue du barrage.

Les résultats obtenus montrent que le problème des fuites d'eau est complexe et demande l'intervention de plusieurs disciplines et techniques. Toutefois, l'état du barrage fontaine des gazelles est inquiétant à cause de la variation intense des fuites.

Abstract

Some Algerian dams are faced with the problem of water leaks through the banks and foundations. The study of this phenomenon is a priority, as it may endanger the stability of the dam and reduce its useful capacity. This is particularly the case with the gazelle fountain dam, which is located in arid zones where water resources are increasingly scarce. This dam, located about two miles north-east of the town of Biskra, was built on the El-Hai Wadi. The Oued El-Hai watershed belongs to the great basin of the Chott Melrhir), these waters serve to irrigate the vast plain of El-Outaya, allowing the development of thousands of hectares of agricultural land.

We present in this work an account of the problem of infiltration of the waters of the fountain of gazelles, as well as the results of a piezometric study. Finally, we will attempt to analyze the variation in the leakage rate as a function of the dam reservoir.

The results show that the problem of water leakage is complex and requires the intervention of several disciplines and techniques. However, the state of the gazelle fountain dam is worrying because of the intense variation of the leaks.

ملخص

تواجه بعض السدود في الجزائر مشكل تسرب المياه على ضفافه وأرضياته. دراسة هذه الظاهرة تعد أولوية لما تشكله من خطر على استقرار السد وتقلص من قدراته, على غرار سد منبع الغزلان الواقع في المناطق القاحلة أين ندرة المياه أصبحت مشكل حقيقي. هذا السد, الواقع على بعد كيلومترات شمال شرق مدينة بسكرة, الذي بني في الحوض الهيدروغرافي لواد الحي التابع لشط ملغيغ الكبير, المستخدم في سقي مساحات شاسعة في الوطاية مما يسمح بتطوير آلاف هكتارات من الأراضي الزراعية.

نقدم في هذا العمل بيان لمشكل تسرب مياه سد منبع الغزلان, فضلا عن دراسة نتائج فرق الجهد. وأخيرا, نحاول إجراء تحليل للتغير في معدل تسرب الماء بدلالة مستوى سطح ماء السد.

أظهرت النتائج أن مشكلة تسرب المياه معقدة وتتطلب مشاركة العديد من التخصصات والتقنيات. ومع ذلك, فإن حالة سد منبع الغزلان مثيرة للقلق بسبب التغيرات الكبيرة في نسب تسرب المياه.

SOMMAIRE

Introduction générale.....	01
----------------------------	----

CHAPITRE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

Introduction.....	04
I.1. Les Barrages.....	04
I.1.1. Définition.....	04
I.1.2. Composants d'un barrage.....	04
I.1.3. Types de barrages.....	04
I.1.3.1. Barrage en maçonnerie ou en béton.....	04
I.1.3.2. Les barrages en remblai.....	06
I.2. Les infiltrations des eaux dans les barrages.....	07
I.2.1. Les causes d'une infiltration dans le barrage.....	08
I.2.2. Description de l'infiltration.....	08
I.2.2.1. Description de l'infiltration a l'amont.....	08
I.2.2.2. Description de l'infiltration dans la digue.....	08
I.2.2.3. Description de l'infiltration a l'aval.....	09
I.2.3. Conséquence des infiltrations.....	09
I.2.3.1. Mécanismes de rupture des ouvrages en remblai.....	09
I.2.3.1.1. L'érosion externe.....	10
I.2.3.1.2. L'érosion interne.....	10
I.2.3.1.3. Glissement du talus.....	10
I.3. Méthodes de détection des infiltrations dans les barrages.....	10
I.3.1. Etudes de reconnaissance et de surveillance traditionnelle.....	11
I.3.1.1. Pression interstitielle.....	11
I.3.1.2. Mesures piézométriques.....	11
I.3.2. Méthodes géophysiques.....	11
I.3.2.1. Potentiel Spontané (PS).....	11
I.3.2.2. Méthodes électromagnétiques de basse et haute fréquence.....	11
I.3.2.3. Méthode de résistivité électrique.....	12
I.3.2.4. Méthodes sismiques.....	12
I.3.3. Conductivité électrique.....	12
I.3.4. Méthodes thermométriques.....	13
I.3.4.1. Principe.....	13
I.3.4.2. Mesures de température dans les piézomètres.....	13
I.3.5. Méthodes géochimiques.....	13
I.3.5.1. Principe.....	13
I.3.5.2. Origine des ions dissous dans les eaux naturelles.....	14
I.3.5.3. Critère des ions pour l'identification des chemins des infiltrations.....	15
I.3.5.4. Processus chimiques des écoulements.....	15
I.3.6. Méthodes isotopiques.....	16

I.3.6.1. Les isotopes stables de la molécule d'eau (^{18}O et ^2H).....	16
I.3.5.2. L'oxygène ^{18}O	16
I.3.5.3. Le deutérium ^2H	17
I.4. La Sédimentation dans les retenues des barrages.....	17
I.4.1 Transport des sédiments.....	17
Conclusion.....	17

CHAPITRE II : BARRAGE DE FONTAIN DES GAZALLES

Introduction	19
II.1. Situation géographique du Barrage de fontaine des gazelles	19
II.2. Caractéristique de l'aménagement.....	20
II.2.1. Caractéristiques de la retenue.....	20
II.2.2. Caractéristiques de la digue.....	20
II.2.3. Caractéristiques hydrologiques.....	22
II.2.4. Composantes principales de l'aménagement.....	22
Conclusion.....	24

CHAPITRE III: ENVIRONNEMENT GEOLOGIE, HYDROGEOLOGIE ET HYDROLOGIE DE SITE DU BARRAGE.

Introduction.....	26
III.1. Géologie régionale.....	26
III.2. Synthèse géologique du bassin d'El-Outaya.....	26
III.3. Etude de quelque coupes et corrélation	28
III.3.1. Corrélations E-W dans le bassin d'El-Outaya.....	29
III.3.2. Les coupes.....	29
III.4. Géologie de site du barrage.....	30
III.5. Etanchéité.....	31
III.6. Hydrogéologie.....	31
III.6.1. Les formations aquifères à nappe libre, semi libre à semi captive.....	31
III.6.2. Les formations aquifères captives	32
III.7. Hydrologie du site.....	33
III.7.2. Caractéristiques climatiques du bassin versant.....	33
III.7.1. Caractéristiques hydrologiques du bassin versant.....	33
Conclusion.....	34

CHAPITRE IV : ANALYSE DE L'EVOLUTION DU COMPORTEMENT DU BARRAGE

Introduction.....	36
IV.1. Surveillance du barrage.....	36
IV.1.1. L'inspection visuelle.....	36
IV.1.2. Historique de la mise eau de la retenue.....	36
IV.1.3. Le dispositif d'auscultation du barrage.....	37
IV.1.3.1. Mesures de déformation.....	37
IV.1.3.2. Mesures de pression.....	38
IV.2. Analyse de l'évolution du comportement du barrage	39
Conclusion.....	39

CHAPITRE V : ETUDE DES INFILTRATIONS DES EAUX.

Introduction.....	41
V.I. Outils de mesure.....	41
V.2. Piézométrie en fondation du barrage.....	42
V.2.1. Les coordonnées des Piézomètres.....	42
V.2.2. Analyse et caractéristique du régime des eaux d'infiltration.....	42
V.2.2.1. Analyse du réseau des piézomètres.....	42
V.2.2.2. Variations de niveau d'eau dans les piézomètres.....	43
V.3. Apport de l'analyse piézométrique dans l'étude des infiltrations des eaux du barrage...45	
V.3.1. Choix de la période de mesure.....	45
V.4. Variation du débit des fuites et niveau de lac en fonction de temps.....	54
V.5. Répartition des niveaux des eaux d'infiltration.....	55
Conclusion.....	59
Conclusion générale.....	60
Recommandation.....	61
Référence bibliographique.....	62

annexe

LISTE DE FIGURE	PAGE
Fig I.1 : Schéma d'un barrage en béton-type poids	05
Fig I.2 : Schéma d'un barrage en béton-type voûte	05
Fig I.3 : Schéma d'un barrage homogène	06
Fig I.4 : Schéma d'un barrage à noyau	07
Fig I.5 : Schéma d'un barrage à masque amont	07
Fig.II.1 : Situation géographique du barrage de fontaine des gazelles (ANBT, 2004)	19
Fig.II.2 : Le profil type du barrage (ANBT, 2004)	21
Fig.II.3 : L'évacuateur de crue (ANBT, 2004)	22
Fig.II.4 : Tunnel de la vidange de fond	23
Fig.II.5 : La tour de prise d'eau	24
Fig.III.1 : Carte géologique de la plaine d'El-Outaya (Brinis, 2011)	27
Fig.III.2 : Coupes géologiques au niveau de la plaine d'El-Outaya (In Chebbah, 2007)	28
Fig.III.3 : Situation des coupes (1, 2 et 3) (Brinis, 2011)	30
Fig.III.4 : Coupes hydrogéologique schématique de la région de Biskra. (Extrait de la carte hydrogéologique de Biskra 1/200.000). (Rechachi, 2010)	32
Fig.IV.1 : Evolution de niveau d'eau dans la retenue.	37
Fig.V.1 : Schéma approximatif de la sonde utilisée	41
Fig.V.2 : Schéma hydro disposition des piézomètres selon les 3 profils	43
Fig.V.3 : variations de niveau dans les piézomètres sur le profil 1.	43
Fig.V.4 : variations de niveau dans les piézomètres sur le profil 2.	44
Fig.V.5 : variations de niveau dans les piézomètres sur le profil 3.	44
Fig.V.6 : variation de la cote piézomètre en fonction la cote de retenue de barrage à l'an 2000	46
Fig.V.7 : variation de la cote piézomètre en fonction la cote de retenue de barrage à l'an 2001	46
Fig.V.8 : variation de la cote piézomètre en fonction la cote de retenue de barrage à l'an 2002	47
Fig.V.9 : variation de la cote piézomètre en fonction la cote de retenue de barrage à l'an 2003	47
Fig.V.10 : variation de la cote piézomètre en fonction la cote de retenue de barrage à l'an 2004	48
Fig.V.11 : variation de la cote piézomètre en fonction la cote de retenue de barrage à l'an 2005	48
Fig.V.12 : variation de la cote piézomètre en fonction la cote de retenue de barrage à l'an 2006	49
Fig.V.13 : variation de la cote piézomètre en fonction la cote de retenue de barrage à	49

l'an 2007	
Fig.V.14 : variation de la cote piézomètre en fonction la cote de retenue de barrage à l'an 2008	50
Fig.V.15 : variation de la cote piézomètre en fonction la cote de retenue de barrage à l'an 2009	50
Fig.V.16 : variation de la cote piézomètre en fonction la cote de retenue de barrage à l'an 2010	51
Fig.V.17 : variation de la cote piézomètre en fonction la cote de retenue de barrage à l'an 2011	51
Fig.V.18 : variation de la cote piézomètre en fonction la cote de retenue de barrage à l'an 2012	52
Fig.V.19 : variation de la cote piézomètre en fonction la cote de retenue de barrage à l'an 2013	52
Fig.V.20 : variation de la cote piézomètre en fonction la cote de retenue de barrage à l'an 2014	53
Fig.V.21 : variation de la cote piézomètre en fonction la cote de retenue de barrage à l'an 2015	53
Fig.V.22 : variation de la cote piézomètre en fonction la cote de retenue de barrage à l'an 2016	54
Fig V.23 : variation du débit des fuites et niveau de lac en fonction de temps	54
Fig V.24 : Répartition des niveaux des eaux d'infiltration suivant la coupe en travers :section principale1.	57
Fig V.25 : Répartition des niveaux des eaux d'infiltration suivant la coupe en travers :section principale1	57
Fig V.26 : Répartition des niveaux des eaux d'infiltration suivant la coupe en travers :section principale1	58

LISTE DE TABLEAU	PAGE
Tableau III.1: Caractéristiques des stations pluviométriques (ANRH) (BOUDJEMA, 2015).	33
Tableau III.2. : Données des moyennes journalières de précipitation (en mm)	33
Tableau III.3. : Précipitations moyennes annuelles (1974-2013, A.N.R.H, 2013).	33
Tableau V.1 : Les coordonnées des piézomètres du barrage fontaine des gazelles.	42
Tableau V.2 : pourcentage entre V.F et V.R.N	55

INTRODUCTION GENERALE

Dans les régions arides et semi-arides, l'agriculture dépend de l'eau de surface et souterraine pour l'irrigation et l'approvisionnement en eau en milieu urbain. En Algérie, les systèmes de transfert d'eau sont constitués de canalisations et canaux construits pour transférer les eaux de surface à partir des barrages dans le Nord pour les zones côtières et les zones intermédiaires où la demande en eau est élevée. Actuellement, la population en Algérie est en augmentation, il est supposé que, en plus de la rareté de l'eau pour le secteur agricole, l'approvisionnement en eau potable devient aussi rare.

Le problème des fuites d'eau dans les retenues de barrages préoccupe les services de l'hydraulique. En effet, en plus des pertes en eau précieuse. Il peut même mettre en péril la sécurité des ouvrages et par conséquent présente des menaces sur les biens et les populations se trouvant en aval.

En plus de la faible quantité d'eau reçue par nos barrages à cause de la sécheresse qui a touché le pays depuis une vingtaine d'années, cette quantité se trouve menacée par trois problèmes hydrauliques majeurs qui sont l'évaporation intense, l'envasement accéléré et les fuites d'eau surtout à travers les appuis.

Le problème de fuites revêt une grande importance, surtout pour les pays comme l'Algérie où le développement économique est lié aux quantités d'eau emmagasinées au sein des retenues de barrages.

La réalisation d'un barrage provoquera les infiltrations des eaux par les berges et le fond de la cuvette. Cependant, le volume infiltré dépend de la nature de la roche et la profondeur de la retenue. Un volume de 75 millions de m³ a été mesuré par l'ANBT sur 22 barrages durant la période : 1992-2002. Un volume largement supérieure à celui de l'envasement évalué à 45 millions de m³ sur 70 barrages.

Ce phénomène est beaucoup plus grave qu'on imagine, il ne s'agit plus de perte de capacité de l'eau, mais plutôt la déstabilisation de l'ouvrage. La quantification des infiltrations dans le temps est indispensable dans un barrage pour remédier au problème. A titre d'information, une augmentation du débit des infiltrations dans le temps pour la même cote signifie qu'il y a un problème dans le barrage. Notre étude s'inscrit dans l'étude des infiltrations des eaux par les berges et fondation qui sera orientée sur barrage Fontaine des Gazelles.

Les objectifs de l'étude consistent à quantifier le débit des fuites, établir des corrélations entre le débit des infiltrations, les cotes du plan d'eau dans le lac et les piézomètres.

Nous avons scindé notre étude en cinq principaux chapitres :

- ✓ Chapitre I : Etude bibliographique.
- ✓ Chapitre II : Barrage fontaine des gazelles.
- ✓ Chapitre III : Environnement Géologie, Hydrogéologie et Hydrologie de site du barrage.
- ✓ Chapitre IV : Analyse de l'évolution du comportement du barrage.
- ✓ Chapitre V : Etude des infiltrations des eaux.

CHAPITRE I :
RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

Introduction :

Nous allons présenter dans ce chapitre, en premier lieu, une recherche bibliographique sur les barrages et ces différents types, et en second lieu notre objectif sera consacré à la présentation du problème des infiltrations des eaux pour les barrages, tout en détaillant, ceux qui se trouvent dans ce problème.

.1. Les Barrages:**I.1.1. Définition:**

Un barrage est un ouvrage d'art construit en travers d'une zone d'écoulement naturel de l'eau. Son principe général est de barrer cette zone pour accumuler l'eau. La rétention de l'eau peut avoir plusieurs objectifs.

En effet, un barrage permet la régulation du débit d'une rivière par la gestion des crues et des étiages, l'irrigation des cultures et l'alimentation en eau potable, ainsi qu'une protection des zones inondables contre les catastrophes et la production d'énergie hydroélectrique (Fauchard et Mériaux, 2004).

I.1.2. Composants d'un barrage:

Un barrage est composé essentiellement de :

- Un barrage proprement dit, avec un masque d'étanchéité.
- Un évacuateur de crue, évitant un excès d'eau dans le réservoir.
- Des dispositifs de contrôle et de surveillance.
- Une prise d'eau pour envoyer l'eau vers son utilisation.
- Une vanne de fond pour permettre la vidange du réservoir.

I.1.3. Types de barrages:

On distingue deux types de barrages selon les matériaux qui les composent. Les barrages en matériaux meubles ou semi-rigides, appelés barrages en remblai, peuvent être en terre ou en enrochement. Parmi les barrages en maçonnerie ou en béton on distingue plusieurs catégories, selon leur mode de conception.

I.1.3.1. Barrage en maçonnerie ou en béton:

L'avantage du béton est notamment d'autoriser l'édification d'ouvrages plus résistants. Il en existe deux principaux types :

- les barrages poids,
- les barrages voûtes.

S'y ajoutent les barrages à contrefort et à voûtes multiples, variantes des deux premiers.

• Barrage poids:

Comme son nom l'indique, ce type de barrage oppose son poids à l'eau pour la retenir. En fonction des propriétés de résistance du matériau, la forme triangulaire à l'aval de l'ouvrage s'est peu à peu imposée.

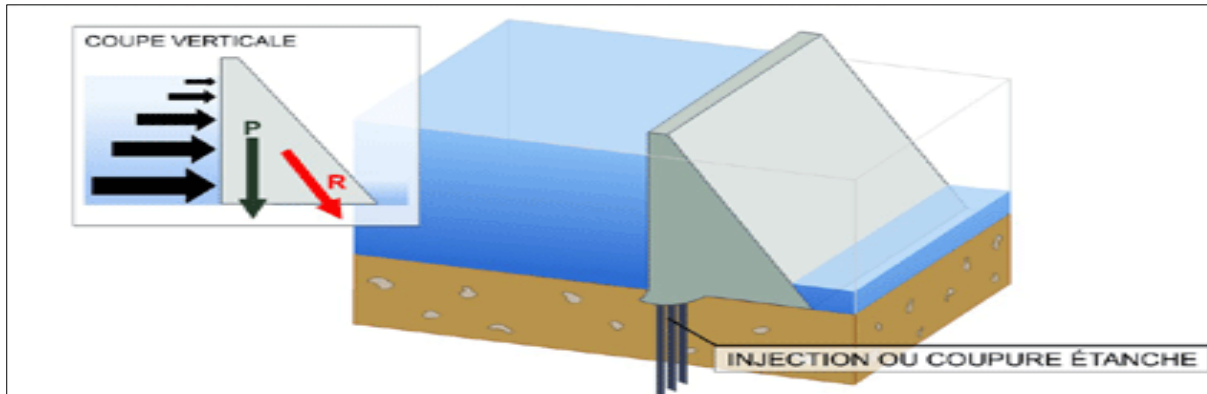


Fig I.1 : Schéma d'un barrage en béton-type poids

• Barrage voûte:

Le barrage voûte représente l'ultime aboutissement de l'utilisation des propriétés du béton en termes de résistance. Il permet des économies de volume de barrage d'au moins 30 % par rapport à un barrage-poids. On pourrait comparer sa forme à celle d'un pont couché sur l'un de ses côtés, et qui chargerait de l'eau au lieu de véhicules. L'effort de résistance est ainsi en partie reporté par l'arc central sur les rives, permettant de construire des ouvrages moins volumineux, à performance égale. En revanche, les fondations, sur lesquelles se reporte une grande partie de l'effort, doivent posséder des caractéristiques mécaniques élevées afin de supporter celui-ci.

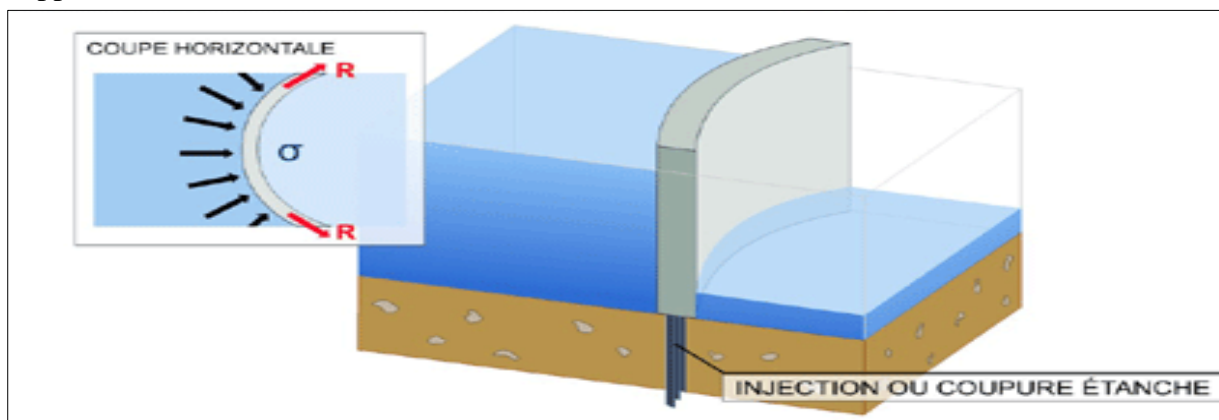


Fig I.2 : Schéma d'un barrage en béton-type voûte

Barrages à contrefort et à voûte multiple:

Les autres formes de barrages voûtes sont des variantes des deux premiers types. Le barrage à contrefort est ainsi un barrage poids allégé de l'intérieur. Le barrage à voûtes

multiples, quant à lui, repose sur des appuis intermédiaires, lorsqu'une trop grande portée sépare les deux rives d'un cours d'eau.

I.1.3.2. Les barrages en remblai:

Les barrages en terre présentent notamment l'avantage de pouvoir reposer sur des fondations de médiocre qualité, c'est-à-dire compressibles.

Tous les barrages en terre peuvent être considérés comme des barrages poids, c'est-à-dire qu'ils résistent à la pression de l'eau par leur propre poids. C'est ce qui explique leur section de forme trapézoïdale. On en trouve de trois types :

- homogène,
- à noyau,
- à masque amont.

• Barrage homogène:

Un barrage en terre est dit homogène lorsqu'il est constitué d'un même matériau à dominante argileuse, relativement imperméable. Selon les ouvrages, la pente des talus sera plus ou moins forte, en fonction notamment des caractéristiques du matériau employé.

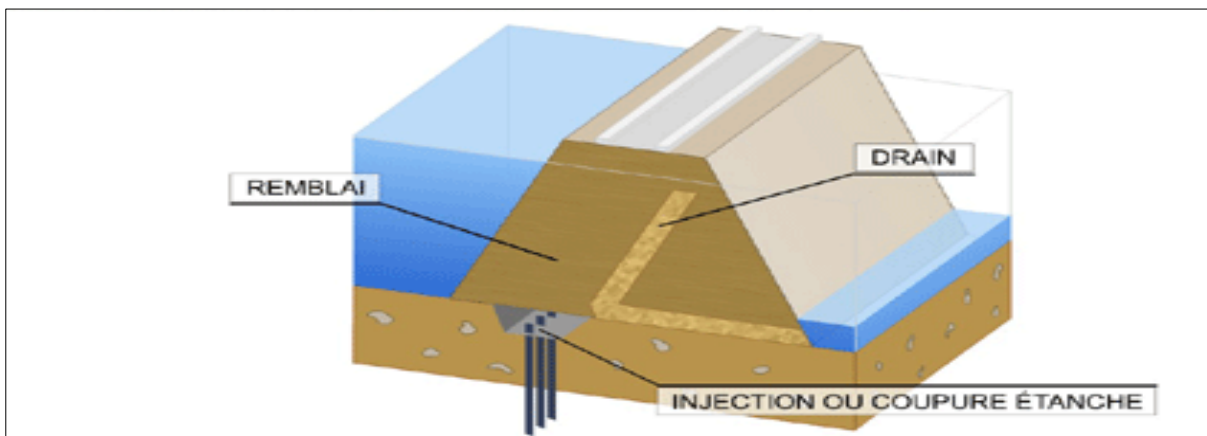


Fig I.3 : Schéma d'un barrage homogène

• Barrage à noyau :

Dans un barrage à noyau, les fonctions de résistance et d'étanchéité sont en quelque sorte séparées. La résistance est assurée par les recharges placées sur les flancs de l'ouvrage, et l'imperméabilité par le noyau central. Le noyau au centre de l'ouvrage va être constitué de la terre la plus imperméable possible. Il sera tenu de part et d'autre par des recharges composées, selon les cas, de terre plus perméable, d'alluvions ou d'enrochements

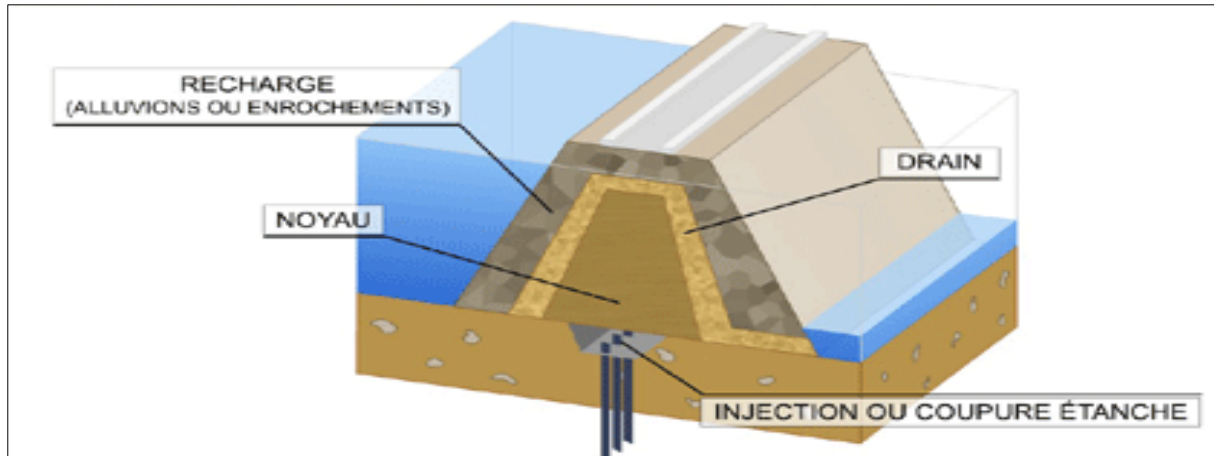


Fig I.4 : Schéma d'un barrage à noyau

• Barrage à masque:

Il peut aussi exister des sites où aucune terre n'est disponible, mais seulement des enrochements. Ceux-ci sont alors employés pour réaliser le corps du barrage, tandis que l'étanchéité est assurée par un masque de béton, ciment ou béton bitumineux posé sur l'ouvrage lui-même, côté amont.

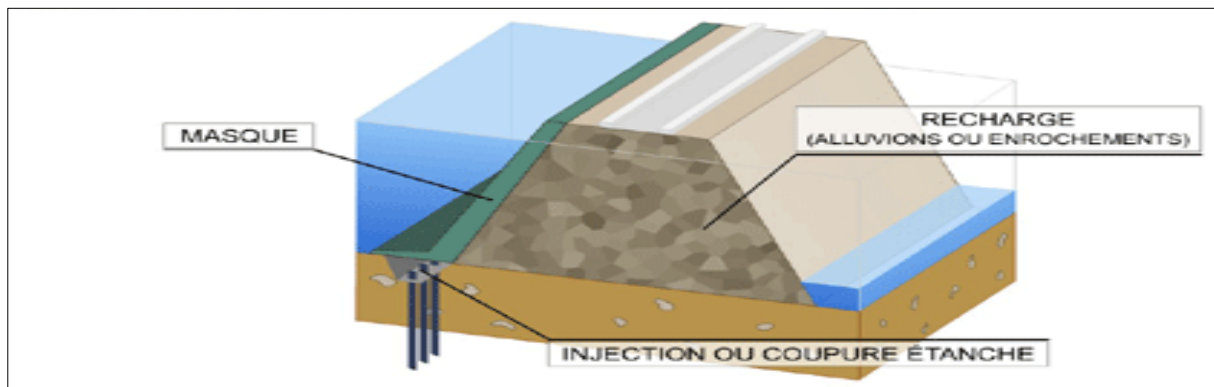


Fig I.5 : Schéma d'un barrage à masque amont

I.2. Les infiltrations des eaux dans les barrages:

Les infiltrations d'eau sont inévitables quelque soit l'emplacement ou la nature de l'ouvrage. Ses phénomènes menacent les quantités d'eau accumulées dans les barrages lorsque les pertes sont considérables, L'ANBT suit depuis 1992 les fuites dans 22 barrages, mais, jusqu'à ce jour, aucune analyse détaillée n'a été réalisée. Dans certains cas, les fuites sont tellement importantes qu'un réseau de collecte récupère à l'aval les eaux perdues et les réorientent vers les terres agricoles. Selon les années, le volume total perdu par infiltration a varié de 20 à 75 Mm³, (Remini et al, 2009). Le problème est beaucoup plus grave qu'on imagine, il ne s'agit plus de perte de la capacité de l'eau, mais plutôt la déstabilisation de l'ouvrage. (Remini, 2010).

I.2.1. Les causes d'une infiltration dans le barrage:

Le phénomène lié aux pertes d'eau dans un barrage est qualifié de non stable, non linéaire et non homogène. La compréhension de ce mécanisme requiert la connaissance de l'hydraulique, de l'hydrodynamique, de l'érosion des sédiments et des aspects géotechniques qui pourraient se produire au niveau du barrage (Singh et al, 1988).

Les infiltrations découlent de la méthode de construction et de l'état des remblais qui se définiraient par le type et la mise en place des matériaux, par leur état de compaction, par la variation de saison au cours de la construction. En plus, l'augmentation des déformations sont provoquées par la variation des contraintes entre les différentes zones du barrage, les effets de fluage et les déformations de la fondation et les déformations causées par les poussées hydrostatiques d'eau du réservoir pendant le remplissage (Massiéra et al, 2008).

Les infiltrations proviennent aussi des problèmes de stabilité dans le barrage résultant d'écoulement avec des gradients trop élevés ou critiques, de trop fortes pressions interstitielles dans la structure, des actions exceptionnelles telles que des débordements d'eau au-dessus de la crête du barrage ou de son évacuateur de crue (Armelle, 2010).

I.2.2. Description de l'infiltration:

I.2.2.1. Description de l'infiltration a l'amont:

Les points d'infiltration amont, aussi appelés points d'entonnement, ne sont pas évidents à repérer. Lorsqu'un ouvrage en remblai présente des infiltrations qui exigent des réparations, souvent les travaux ne visent pas directement la cause mais ont pour but de barrer les chemins d'écoulement : injection de béton, rideau de palplanche. Parfois, certains signes extérieurs témoignent de la présence d'une infiltration : un tourbillon peut être visible lorsqu'une quantité d'eau importante s'infiltre localement dans l'ouvrage (Cunat, 2012).

I.2.2.2. Description de l'infiltration dans la digue:

Pour un ouvrage hydraulique homogène sans étanchéité amont, la forme des écoulements dans le corps de l'ouvrage est bien connue. Une estimation du débit d'infiltration peut être facilement obtenue. En effet une infiltration dans le corps du barrage peut affaiblir la résistance mécanique de la structure ou dégrade son étanchéité par l'augmentation de la perméabilité locale ou globale de l'ouvrage.

Une faible résistance mécanique peut être due à un mauvais compactage, l'absence ou l'inadéquation du filtre et l'utilisation de matériaux dispersifs comme l'argile, le limon et le sable.

L'augmentation de la perméabilité locale de la structure est due aux problèmes de l'étanchéité inadéquate liée au mauvais choix des matériaux, l'étanchéité endommagée causée par le

tassement différentiel et la fracturation hydraulique. En plus de l'existence d'un chemin privilégié pour l'écoulement qui est favorisé suite à des fissures préexistantes ou défauts géologiques (Pham, 2008).

I.2.2.3. Description de l'infiltration a l'aval:

Dans le cas d'infiltration importante, la présence d'une infiltration se manifeste à l'aval de l'ouvrage par des zones humides, des suintements, des résurgences sur le parement aval ou le pied de digue aval signalés parfois par la présence d'une végétation hydrophile (Cunat, 2012).

La mesure de débit caractérise l'intensité de l'infiltration. Si l'infiltration peut être collectée, deux techniques peuvent être utilisées, les mesures à la capacité, les mesures à l'aide d'un seuil. Les mesures de débit à la capacité consistent à remplir un volume d'eau dans un temps donné pour obtenir une évaluation du débit.

Le débit peut être mesuré à partir d'un seuil, la donnée mesurée est la hauteur d'eau au-dessus du seuil pour les infiltrations localisées. Cette grandeur est directement en lien avec le débit.

Pour des infiltrations diffuses, on intègre dans les ouvrages un dispositif de drainage chargé de collecter les eaux d'infiltration. Les eaux des drains sont ensuite collectées et peuvent être jaugées. Concernant les digues, un canal de drainage, aussi appelé contre-canal ou canal d'infiltration, est souvent construit en pied aval. Il permet de récolter les eaux d'infiltration du corps de digue et celles transitant par les fondations

I.2.3. Conséquence des infiltrations:

Les dommages causés par les infiltrations peuvent affecter les performances présentes ou futures de ces ouvrages avec des conséquences parfois catastrophiques. Entre 1959 et 1987, trente accidents de barrages ont été recensés dans le monde faisant 18 000 victimes.

La défaillance ou l'indisponibilité de l'ouvrage peut affecter les intérêts économiques, vitaux et environnementaux notons la destruction de faune et la flore et la disparition des sols cultivables (Femmam et al, 2011). En 1959, le barrage de Malpasset, en France cède après rupture de fondation sur lequel s'appuyait la voute, suite aux infiltrations d'eau. Les dégâts sont estimés à deux milliards de francs et 421 victimes (Benfetta et Remini ,2008).

I.2.3.1. Mécanismes de rupture des ouvrages en remblai:

La rupture d'un barrage engendre une inondation violente et très brutale. L'eau envahit rapidement la partie protégée, détruisant les constructions et creusant le sol derrière la brèche. On distingue trois principaux mécanismes de rupture des ouvrages en remblai : l'érosion externe, l'érosion interne et le glissement de talus ou l'instabilité.

Foster et al. (2000) ont mené une étude statistique sur les ruptures des grands barrages. Il en ressort que 48% des ruptures sont dues à l'érosion externe, 46% à l'érosion interne et 6% à des glissements.

I.2.3.1.1. L'érosion externe:

L'érosion externe est causée par un écoulement à la surface de l'ouvrage qui provoque l'arrachement et le transport des particules de sol.

Ce phénomène d'érosion est particulièrement dommageable lorsqu'il y a une surverse caractérisée par la submersion de l'ouvrage par une lame d'eau (Cunat, 2012).

I.2.3.1.2. L'érosion interne:

L'érosion interne représente une des causes majeures de rupture d'ouvrage. Elle est définie par deux critères : l'arrachement et le transport d'une particule ou d'un amas de particules.

Deux phénomènes de transport sont à distinguer : le transport concentré dans un conduit, le renard et le transport diffus dans l'espace poreux interarticulaire : la suffusion. Le premier type de transport est caractérisé par des vitesses rapides et une évolution rapide. Lorsque le renard est amorcé, un conduit traversant l'ouvrage peut se développer d'aval en amont en quelques heures. On parle ici d'érosion régressive jusqu'à la rupture du barrage. Le second type de transport a une cinétique plus lente. Le sol se vide peu à peu des particules fines qui le composent. Seules les plus grosses, appelées particules structurales subsistent.

Ce qui risque aussi l'altération de la stabilité de l'ouvrage. En conséquence, la nature du sol détermine sa vulnérabilité à l'érosion (Fell et Fry, 2007).

I.2.3.1.3. Glissement du talus:

D'après Fauchard et Mériaux (2004), le risque de glissement du talus côté val apparaît lorsque la digue est saturée. D'après ces auteurs quatre facteurs pouvant favoriser l'apparition du phénomène : le dimensionnement des pentes de talus lorsqu'ils sont supérieurs à 2/3, l'absence de drainage, la présence de couches hétérogènes et la faible compacité des matériaux de remblai.

I.3. Méthodes de détection des infiltrations dans les barrages:

La détection et la caractérisation des écoulements potentiellement néfastes pour l'ouvrage apparaissent nécessaires pour garantir la pérennité de l'ouvrage. Les méthodes conventionnelles de surveillance des infiltrations se basent sur le suivi de la charge piézométrique, du niveau de pression interstitielle et du débit d'infiltration dans les organes de drainage. Ainsi quelles méthodes issues de la géophysique, géotechnique (Fauchard et Mériaux, 2004) et de la géochimie isotopique qui ont montré leur efficacité pour la détection des infiltrations dans les barrages (Bedmar et Araguas, 2002).

I.3.1. Etudes de reconnaissance et de surveillance traditionnelle:

D'après Fauchard et Mériaux (2004) et Royet (2006), cette première phase, extrêmement importante, consiste à recueillir le plus d'information possible concernant l'historique des écoulements, les caractéristiques extérieures de la digue comme la topographie et le système dans lequel elle s'intègre : géologie locale et dynamique du cours d'eau.

I.3.1.1. Pression interstitielle:

La mesure de la pression à un nombre de points fournit des informations sur la distribution des pressions dans le barrage. Faite en continue, cette mesure pourrait indiquer des changements de pressions liés à une détérioration ou au vieillissement du barrage.

I.3.1.2. Mesures piézométriques:

Elle se fait avec le relevé de la hauteur de la nappe d'eau dans les piézomètres, ou de la pression interstitielle, permet de qualifier l'étanchéité et le comportement hydro-mécanique d'un ouvrage, couplé à un traceur chimique ou radioactif (Royet, 2006).

Ces méthodes permettent de déterminer la cinétique des infiltrations en place. Le phénomène d'érosion interne ne se produit que lorsque l'énergie d'écoulement permet un arrachement des particules et leur transport. En conséquence, ces études sont primordiales mais nécessitent la mise à disposition d'un réseau de piézomètres (Fargier, 2011).

I.3.2. Méthodes géophysiques:**I.3.2.1. Potentiel Spontané (PS):**

La méthode de mesure du potentiel spontané (PS) se base sur la mesure de la distribution de potentiel électrique naturel à la surface du sol. Le principe de mesure du potentiel spontané est très simple : il consiste à mesurer la différence de potentiel entre deux électrodes plantées dans le sol. L'exploitation des mesures est cependant plus complexe. En effet, de nombreux mécanismes génèrent un potentiel spontané : les mécanismes thermo-électriques, électrochimiques et électrocinétiques (Sheffer et al, 2007).

La méthode du PS permet de quantifier le débit d'un écoulement dans un ouvrage hydraulique (Bolève et al, 2009).

I.3.2.2. Méthodes électromagnétiques de basse et haute fréquence:

Cette méthode permet de détecter des anomalies pouvant correspondre à des conséquences de l'érosion interne (Carlsten et al, 2005).

Ces méthodes consistent à émettre, à une fréquence donnée, un champ électromagnétique primaire qui induira un champ secondaire dont l'amplitude et le déphasage dépend de la conductivité du sol. Dépendant de la fréquence d'utilisation et de la nature des matériaux du sol, le champ atteint une certaine profondeur de pénétration. Elles sont sensibles à

l'hétérogénéité du sol, permettant ainsi de distinguer les corps conducteurs des corps résistants à des profondeurs approximative (Armelle, 2010).

I.3.2.3. Méthode de résistivité électrique:

Son principe se résume à l'injection d'un courant électrique dans le sol pour en mesurer la résistivité apparente. Selon la teneur en eau, la quantité d'ions dissous (TDS), et la température de l'eau contenue dans les pores, cette résistivité varie entre différentes formations géologiques du sol ou du barrage, (Buselli et Lu, 2001; Guérin, 2004; Panthulu et al., 2001; Sjö Dahl et al., 2005).

I.3.2.4. Méthodes sismiques:

Les méthodes sismiques permettent de détecter des zones de faiblesse qui pourraient résulter de l'érosion interne ou favoriser le processus en caractérisant la vitesse des ondes de compression (méthode sismique réfraction), la vitesse des ondes de cisaillement (méthode MASW) et enfin de définir l'épaisseur des différentes couches de sol composant un milieu.

La méthode permet d'identifier les réflecteurs dans la structure, signe d'hétérogénéité (Zantout, 2005).

I.3.3. Conductivité électrique:

La conductivité électrique est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm^2 de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm. Elle est l'inverse de la résistivité électrique.

Ce paramètre est facile à mesurer, il peut fournir des informations très utiles pour l'enquête des infiltrations dans les lacs et les réservoirs. Les mesures de conductivité électrique sont donc effectuées dans la colonne d'eau de la retenue, dans les trous de forage que dans les ressorts situés en aval du barrage. La mesure des profils verticaux de la conductivité électrique dans les zones les plus profondes est recommandée lors de l'existence d'une stratification saline (Fauchard et Mariaux, 2004; Sjö Dahl, 2006). Lorsque des changements importants dans la conductivité électrique sont détectés entre les échantillons d'eau prélevés dans le réservoir, les puits ou les piézomètres, la prochaine étape devrait consister à effectuer des analyses chimiques complètes de composante majeure permettant d'identifier les ions responsables de cette augmentation. De précises informations sur la raison de cette augmentation peuvent être fournies par des analyses chimiques (Bedmar et Araguas, 2002).

I.3.4. Méthodes thermométriques:

I.3.4.1.Principe:

Le principe de détection repose sur le fait qu'un écoulement perturbe la distribution des températures au sein de l'ouvrage. La zone perturbée correspond à la zone d'écoulement et à son proche voisinage. On appellera anomalie thermique, la variation de température engendrée par un écoulement (Armbruster et al, 1989; Johansson, 1991).

En l'absence d'infiltration, les transferts thermiques s'effectuent, uniquement par conduction. La température de l'ouvrage est fonction des sollicitations thermiques appliquées à ses frontières, en particulier la température de l'air et de l'eau. Cependant, l'influence de l'air ou de l'eau diminue très rapidement avec la profondeur. Généralement, à 10 m de profondeur, ces influences sont négligeables (Johansson, 1997).

En présence d'infiltrations, un nouveau mode de transport s'ajoute à la conduction : la convection. L'écoulement assure un transport d'énergie thermique de la retenue vers le barrage. Si l'écoulement est important, la température au voisinage du chemin d'écoulement est essentiellement imposée par la température de la retenue. Une anomalie thermique de température, proche de celle de la retenue, indique la présence d'un écoulement relativement conséquent (Cunat, 2012).

I.3.4.2. Mesures de température dans les piézomètres:

Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision. En effet, celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique et la détermination du pH. Pour la connaissance de l'origine de l'eau, les piézomètres peuvent être utilisés pour obtenir des mesures de température du corps de l'ouvrage. A partir du niveau d'eau dans le piézomètre (niveau piézométrique) et jusqu'au fond de celui-ci, des mesures de température peuvent être faites à différentes hauteurs, ainsi une sonde de température est progressivement descendue dans le piézomètre. La sonde doit être descendue lentement pour éviter tout phénomène de mélange, altérant la distribution de température. De plus, pour éviter les mélanges, il est préférable de faire les mesures de haut en bas.

I.3.5. Méthodes géochimiques:

I.3.5.1. Principe:

Plusieurs études utilisent l'évolution spatio-temporelle de la géochimie de l'eau souterraine en relation avec la composition géochimique de l'eau de surface du même bassin pour identifier les relations entre la circulation dans l'aquifère et dans les cours d'eau ou afin d'identifier

l'influence des sources d'eau souterraine influencent l'eau de surface (Pharand ,2006 ; Walker et al, 2003)

La performance des analyses chimiques des éléments majeurs dans les eaux plus représentatifs de la zone d'étude est recommandée lors des variations importantes du régime d'infiltration. La sélection des points d'eau à échantillonner pour ces analyses peut être faite sur la base des valeurs de la conductivité électrique mesurée sur le terrain. Ces mesures sont utilisées pour classer les différents points d'eau dans des familles ou des faciès chimiques présentant les mêmes valeurs de salinité totale de sorte que le nombre d'échantillons prélevés pour l'analyse chimique complète peut être considérablement réduit (Bedmar et Arugas,2002).

La composition chimique de l'eau fournira des informations supplémentaires de son origine et de l'évolution géochimique, facilitant la différenciation entre le réservoir et les eaux de l'aquifère. Après infiltration dans le sol, la composition chimique de l'eau du réservoir fournit des informations sur la nature des matériaux rocheux à travers laquelle se fait l'écoulement. La mesure de la composition chimique de l'eau de forage et de sources d'eau permet dans de nombreux cas, l'identification des voies préférentielles existantes (Plata et Iragüen, 1992).

I.3.5.2. Origine des ions dissous dans les eaux naturelles:

Les éléments majeurs analysés dans l'eau sont : Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3 , HCO_3 .

- leurs origines sont synthétisées comme suit :

· Chlorure Cl^- : sources atmosphériques, roches évaporites (halite), les eaux usées.

· Sulfate SO_4^{2-} : Gypse, l'oxydation des sulfures, les eaux d'égout...

· Bicarbonate HCO_3

- CO_2 dissous dans les sols, carbonate et silicates dans les roches et les nappes aquifères au cours de l'altération, la dissolution des carbonates tels que le calcaire, la dolomite, le magnésium, l'oxydation de la matière organique et exhalation volcaniques dans certains domaines.

· Nitrate NO_3

- oxydation des matières organiques, eaux d'égout, engrais minéraux

· Magnésium Mg^{2+} : Certains carbonates et des silicates, comme la dolomie. Serpentine, de pyroxène. Amphiboles. Olivine et le mica.

· Sodium Na^+ : sources atmosphériques, la dissolution des roches évaporites (halite), altération de Na^+ feldspath, la zéolite et de l'échange de minéraux argileux avec de seaux souterraines.

· Potassium K^+ : feldspath et le mica, eaux usées et des eaux polluées.

· Calcium Ca^+ : dissolution ou l'échange de roches carbonatées et de gypse, produit de la décomposition des feldspaths, pyroxènes et les amphiboles, et dans une certaine mesure dans les sources atmosphériques.

I.3.5.3. Critère des ions pour l'identification des chemins des infiltrations:

Le chlorure Cl^- est l'ion le plus conservateur. Ce comportement indique qu'il s'agit d'un bon traceur de l'eau, il n'est pas affecté par les interactions eau-roche dans la plupart des environnements (Maliki, 2000 ; Fedrigoni et al, 2001).

Le caractère conservateur chlorure Cl^- permet son utilisation comme un traceur naturel et parfois artificiel ainsi les résultats de la relation entre l'eau du réservoir et les eaux des forages sont plus fiables lorsqu'ils sont fondés sur la concentration de Cl^- . En d'autres termes, si la concentration de Cl^- trouvée à l'eau de source ou de forage est la même que celui du réservoir, la probabilité d'un raccordement hydraulique est plus élevé. Une faible concentration de l'échantillon indique qu'une partie de l'eau n'est pas écoulée à partir du réservoir.

L'ion nitrate NO_3^- montre également un comportement plutôt conservateur. Cela est dû à la solubilité élevée de tous les composés de nitrate. Ce phénomène est particulièrement vrai lorsque les temps et les distances de transport courtes sont impliqués ce qui est avéré dans divers études concernant les infiltrations dans les réservoirs ou le processus de dénitrification est supposé absent (Aouissi, 2012).

L'ion sulfate SO_4^{2-} peut être plus ou moins conservateur lorsque les valeurs de concentration sont inférieures à environ 200 mg/l. A des concentrations plus élevées, des précipitations de cet ion peuvent se produire si la concentration de Ca^{2+} augmente, suite à une dissolution de calcite.

Les cations dans la plupart des cas ne sont pas de bons traceurs de l'eau, car ils peuvent subir des réactions d'échange avec les phases minérales présentes dans le milieu géologique.

Cela est particulièrement vrai pour les ions alcalino-terreux.

I.3.5.4. Processus chimiques des écoulements:

Les faciès hydro chimiques sont fréquemment utilisés en hydrogéologie pour décrire grossièrement la composition des eaux naturelles. On les détermine par le calcul des quantités en réaction par la conversion des concentrations en méq/l et en tenant compte de la classification des ions (Ben Hamouda ,2008). Elles sont aussi utilisées dans les études des infiltrations pour différencier les faciès de l'eau dans la retenue, la digue et les drains. En effet, l'interprétation des faciès chimiques des eaux et la distribution spatiale des compositions chimiques des éléments majeurs peuvent donner des indications sur les processus chimiques qui gouvernent la composition de l'eau.

I.3.6. Méthodes isotopiques:

En hydrologie, les applications des isotopes reposent sur le concept général de traçage, qui consiste à utiliser des isotopes naturels ou introduits intentionnellement. Les isotopes naturels présentent par rapport aux traceurs artificiels (injectés), l'avantage de faciliter l'étude de processus hydrologiques sur une échelle temporelle et spatiale bien plus grande grâce à leur distribution naturelle dans un système hydrologique. Les isotopes naturels le plus souvent utilisés sont ceux de la molécule d'eau : oxygène 18, deutérium et tritium, ainsi que le carbone 13 et le carbone 14, présents dans l'eau en tant qu'éléments de composés carboniques inorganiques et organiques dissous. Le deutérium, le carbone 13 et l'oxygène 18 sont des isotopes stables des éléments respectifs, tandis que le tritium et le carbone 14 sont des isotopes radioactifs (Ben Hammouda, 2008).

I.3.6.1. Les isotopes stables de la molécule d'eau (^{18}O et ^2H):

Tracer les eaux souterraines en utilisant les isotopes de l'environnement offre une information unique et supplémentaire sur l'origine et le déplacement des eaux souterraines ainsi que des éléments dissous ; ceci permet également une évaluation quantitative des mélanges et d'autres processus physiques tels l'évaporation et les échanges isotopiques dans les systèmes géothermiques. Souvent, des interactions eaux-roches, secondaires, décisives pour déterminer si un isotope se comporte comme un traceur conservatif ou non, peuvent être étudiées. Sous des conditions géochimiques et hydro chimiques convenables il est possible de dater les eaux souterraines.

Les recharges successives intègrent la nappe, suivant un processus qui naturellement pondère les différents signaux isotopiques (Joseph et al. 1989). Dans les zones humides, les eaux souterraines ont pratiquement le même contenu isotopique que celles des précipitations, ce qui atteste d'une recharge récente. En revanche, en zones arides et semi-arides, le contenu isotopique diffère quelques fois de celui des précipitations actuelles. D'autre part, la présence de ^{18}O et ^2H très appauvris suggèrent des précipitations témoignant d'un climat plus froid; il s'agit alors d'une paléo-recharge (Fontes, 1976). Les isotopes stables d'oxygène 18 (^{18}O), de deutérium (^2H), isotopes rares, constituants de la molécule de l'eau, sont de plus en plus utilisés comme traceurs des circulations d'eau. Ils permettent de suivre la molécule d'eau, dans l'intimité de son noyau, c'est le traçage le plus fin et le plus conforme.

I.3.5.2. L'oxygène ^{18}O :

Il existe plusieurs isotopes stables de l'oxygène dont ^{17}O et ^{18}O sont les plus abondants (respectivement 0.037% et 0,1%), on les retrouve dans tous les composés oxygénés naturels,

notamment l'eau et les carbonates. Ils sont utilisés couramment pour reconstituer les paléo climats.

I.3.5.3. Le deutérium ^2H :

Le deutérium est l'isotope stable de l'hydrogène, connu sous le nom de deutérium possède un noyau constitué d'un proton et d'un neutron. L'abondance atomique sur terre du deutérium est comprise entre 0,0026 et 0,0184 %, le nombre le plus bas correspondant au nombre trouvé dans le dihydrogène gazeux, le plus élevé dans un environnement enrichi (0,015 % ou 150ppm) comme l'eau de mer. Le deutérium n'est pas radioactif et ne représente pas un danger significatif en termes de toxicité. L'eau enrichie en molécules contenant du deutérium à la place d'atomes « normaux » d'hydrogène est appelée eau lourde.

I.4. La Sédimentation dans les retenues des barrages:

I.4.1 Transport des sédiments:

Dans nombreux pays, le transport des sédiments dans le réseau hydraulique des bassins et leur dépôt dans les retenues pose aux exploitants des barrages des problèmes dont la résolution ne peut qu'être onéreuse. Non seulement la capacité utile de ces barrages est progressivement réduite au fur et à mesure que les sédiments se déposent dans la retenue, mais encore, leur curage est une opération délicate et difficile, qui exige bien souvent que la retenue soit hors service. Ceci est pratiquement impossible dans les pays arides et semi-arides à raison de l'importance économique de ces ouvrages. Il en résulte des dommages

Considérables à l'ouvrage et une mise en péril de l'économie du projet (De vente et al, 2005 ;Radoane et al, 2005). La sédimentation dans les retenues des barrages est régie par plusieurs facteurs tels que le régime du cours d'eau, le débit entrant dans la retenue, les caractéristiques du matériel détritique et les conditions de circulation des eaux dans le lac.

Conclusion :

Les infiltrations des eaux au niveau des barrages représentent l'un des problèmes de stockage des eaux superficielles. En effet, ce problème s'ajoute à ceux de l'évaporation et de l'envasement.

Ce phénomène de fuites d'eau est caractérisé par sa complexité, touche la majorité des barrages à travers le monde et qui ne peut être étudié de la même façon.

CHAPITRE II :
BARRAGE DE FONTAIN DES
GAZALLES

Introduction :

Ce chapitre constitue un rapport sur la situation du barrage de Fontaine des Gazelles, et de donner le détaillé du barrage sur la base des informations collectes au prés de service du barrage.

II.1. Situation géographique du Barrage de fontaine des gazelles :

Le Barrage de Fontaine des Gazelles est situé à 35 kilomètres au Nord Est de la ville de Biskra, Il a été construit sur l'oued El-Hai. Le bassin versant de Oued EL-Hai, appartient au grand bassin du Chott Melrhir. Ce bassin s'étale sur une superficie de 1660 km². Il est limite au Nord par la daïra de Batna, celle de Merouana, au Sud par la Wilaya de Biskra, à l'Ouest par la daïra de N'Gaous et les de Merouana, au Sud par la Wilaya de Biskra, à l'Ouest par la daïra de N'Gaous et les Tamarins et Barika, a l'Est par Tazoult, Arris et Menaâ. Il prend naissance dans les monts de Batna ;Chaaba et Ain touta et a pour affluents principaux : Oued Tilatou, Oued Fadhala qui convergeant pour former Oued El Hai. (Fig n° II-1) En fin se jette dans la plaine de loutayaa travers un réseau hydrographique forme essentiellement par Oued El-Hai et alimentant le barrage des fontaines des Gazelles. La limite de la zone d'étude par rapport aux coordonnées géographiques est donnée suivant la carte topographique de Batna et Barika à l'échelle, 1/200.000 : Latitude : 35° 5 53 et 35° 35' 21 Nord, Longitude : 5° 30' et 6° 17' 36 Est sur le plan administratif ; il s'étale sur deux wilayas ; celle de Batna avec une superficie de 1314 km² et celle de Biskra de l'ordre 346 km², où la superficie totale est environ de 1660 km². (Fig n° II.1)



Fig n° II.1 : Situation géographique du barrage de fontaine des gazelles (ANBT, 2004)

II.2. Caractéristique de l'aménagement :

Le barrage destiné à l'irrigation, régularise les apports de l'oued El Hai. L'aménagement est constitué d'une digue à noyau central en argile et recharges en alluvions, un évacuateur de crue de surface en rive droite et d'un ouvrage de prise comportant une tour de prise et une galerie.

L'aménagement est destiné à l'irrigation gravitaire du périmètre d'El-Outaya :

- Par vidange - Quota pour l'irrigation des terres agricole pour un volume de 4 Hm³
- Par conduite - Dotation annuelle pour la campagne d'irrigation en 2011 = 10 hm³

✓ Historique des travaux :

- Début de construction : 1986
- Année de mise en Eau : 2000

Inauguré par son excellence le président de la république en date du 08/06/2001.

- Date de début d'exploitation : Janvier 2006 (ANBT, 2004)

✓ Bureaux d'étude :

- A.P.D : **HYDROCONSULT** Tchécoslovaquie
- Etude : **I L F** Autriche 1986-1990
- Etude : **TRACTEBEL** Belgique 1993-2000
- **Suivi des travaux** : Agence Nationale des Barrages et Transferts (ANBT)

✓ Entreprises de réalisation :

- 1986 à 1990 **ENERGOPROJEKT** Yougoslavie.
- 1992 à 2000 **HYDROTECHNIQUE** Algérie
- Hydromécanique : **ENCC** Cote rouge Algérie

II.2.1. Caractéristiques de la retenue :

Les principales caractéristiques de la retenue sont les suivantes :

- Bassin versant : 1 665 km²
- Capacité totale de la retenue à RN : 55.491 hm³
- Capacité utile : 48.490 hm³
- Débit de la crue de projet dix-millénale : 3000 m³/s

II.2.2. Caractéristiques de la digue :

Les principales caractéristiques de la digue sont les suivantes :

- Type : digue à noyau central en argile et recharges alluvionnaires
- Hauteur maximale : 42.5 m
- Longueur en crête : 385 m
- Largeur en crête : 8.5 m

- Altitude de la crête : 390 m NGA
- Cote de Retenue Normale : 384 m NGA
- Cote des Plus Hautes Eaux pour la crue de projet : 388 m NGA
- Pente des talus (V /H) :
 - o Amont : 1 / 2.75
 - o Aval : 1 / 2.25 avec 3 risbermes aux niveaux 355.42, 366 et 378 m NGA

Le profil type du barrage est schématisé sur la Fig n°II.2.

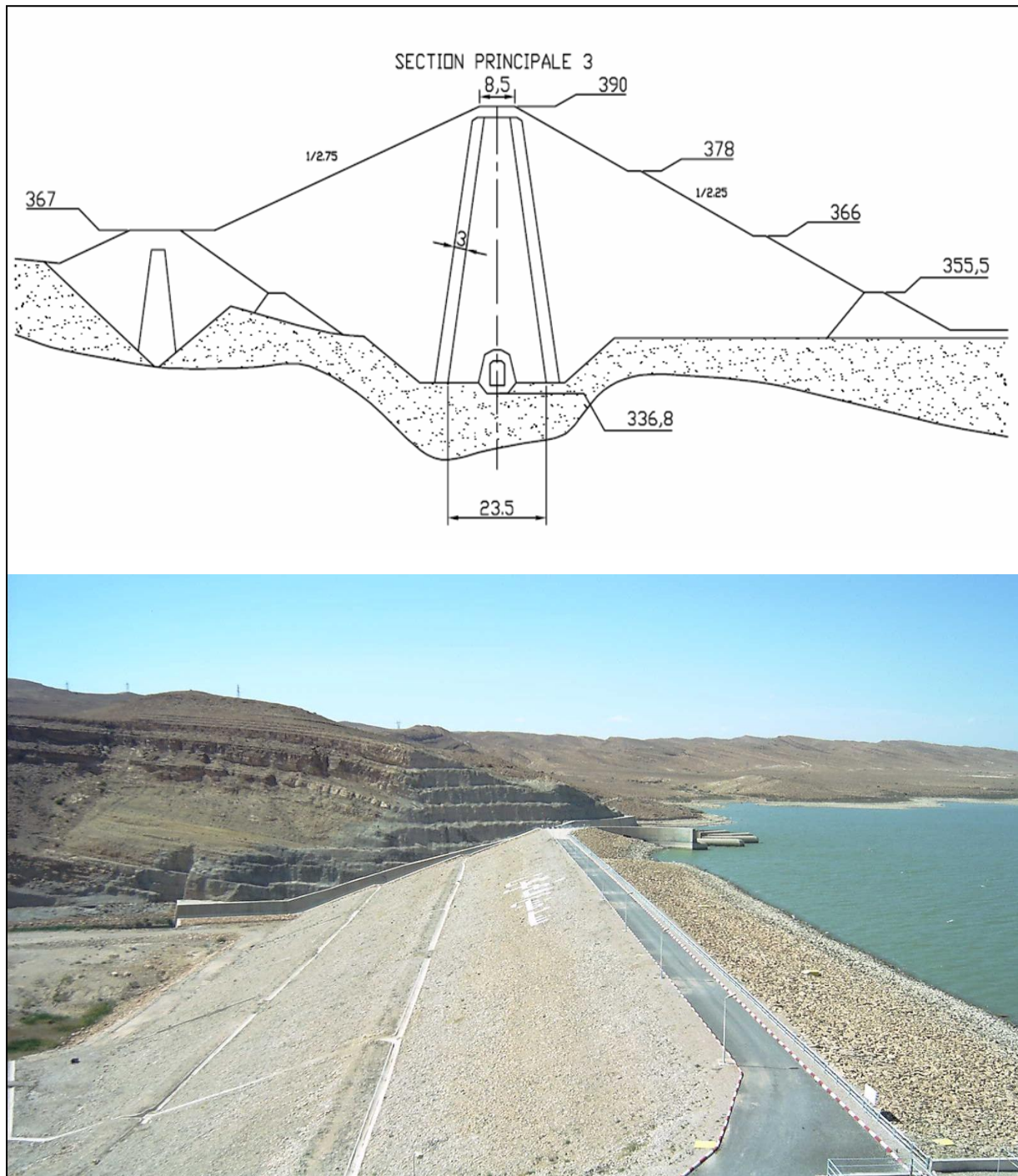


Fig n°II.2 : Le profil type du barrage (ANBT, 2004)

II.2.3. Caractéristiques hydrologiques (ANBT, 2004):

- Oued : El- Hai
- Capacité initiale : 55,50 hm³
- Apport moyen annuel : 20,60 hm³
- Volume Mort : 7.00 hm³
- Volume régularisé : 14.00 hm³
- Envasement annuel : 0,25 hm³/an
- Surface du bassin versant : 1 660 km²

II.2.4. Composantes principales de l'aménagement :**➤ Evacuation de crues(ANBT, 2004) :**

L'évacuateur principal implanté en rive droite comporte un seuil labyrinthe calé à 384 m NGA, L'évacuateur est constitué d'un déversoir, un coursier, un saut de ski et un bassin d'amortissement. Il est dimensionné pour l'évacuation de la crue cinq-millénaire.

- La capacité d'évacuation est de 3000 m³/s (une crue de 10000 ans)
- Longueur du déversoir 125 m
- Largeur : 25 m au niveau du coursier.

L'évacuateur a fonctionné plusieurs reprises et la lame déversant a atteint 1 m qui correspond à un débit de 800 m³/s. (Fig n° II.3)



Fig n° II.3 : L'évacuateur de crue (ANBT, 2004)

➤ **Ouvrage de vidange :**

La vidange du fond est installée en rive gauche dans la galerie de dérivation. Elle comprend un entonnement à la cote 350,50 m NGA, situé sous la tour de prise. Le débit évacué est de 21 m³/s. Avec une longueur de tunnel : 200 m, et une hauteur de 8m.

La vidange de fond est contrôlée par une vanne batardeau et 2 vannes wagon (de garde et de service). (Fig n° II.4)



Fig n° II.4 : Tunnel de la vidange de fond

Ouvrage de prise d'eau (ANBT, 2004):

La prise d'eau est implantée sur la rive gauche, Elle comprend une tour de forme circulaire, avec un diamètre intérieur de 10 m (Fig n° II.5), comprend quatre prises d'eau + un local de manœuvre :

- 1^{ère} prise à la cote 378.00
- 2^{ème} prise à la cote 372.00
- 3^{ème} prise à la cote 366.00
- 4^{ème} prise à la cote 360.00

Chaque prise d'eau équipée d'une vanne papillon et une vanne batardeau de secours en cas d'intervention à l'intérieur de la tour de prise.

- La capacité d'une prise d'eau est : 4 m³/s.
- L'exploitation des prises d'eau se fait de haut en bas en respectant le niveau de la retenue et la pression exercée sur la vanne et pour avoir une eau claire avec une température normale.



Fig n° II.5 : La tour de prise d'eau

➤ **Galerie de dérivation :**

La galerie de dérivation d'une longueur de 200 m a été réaménagée pour permettre le passage du chenal de la vidange de fond et de la conduite d'irrigation.

Conclusion :

Vue la situation géographique de ce barrage, on a donné les différentes caractéristiques du barrage pour bien montrer l'importance de ce ouvrage dans l'approvisionnement des ressources hydriques dans les zones arides, où on rencontre beaucoup de problèmes concernant le volume stocké dans les barrages, d'où une partie de l'eau peut disparaître de manière non contrôlée par évaporation, par fuites au travers des fondations.

**CHAPITRE III:
ENVIRONNEMENT GEOLOGIE,
HYDROGEOLOGIE ET
HYDROLOGIE DE SITE DU BARRAGE.**

Introduction :

De tous les ouvrages de génie civil, les barrages sont ceux qui sollicitent de la façon la plus complexe et la plus complète le milieu naturel (sols, roches, eau) sur lequel ils sont établis. La géologie, hydrologie et l'hydrogéologie sont donc des facteurs capitaux dans l'appréciation des conditions de réalisation de ces ouvrages.

III.1. Géologie régionale :

La plaine d'El-Outaya est formée par un remplissage Néogène. Elle se trouve dans une région qui constitue une des zones les plus franches de transition entre les domaines atlasiques montagneux et plissés du Nord (Algérie méditerranéenne) et les étendues plates et désertiques du Sahara septentrional au Sud (Algérie saharienne).

Deux domaines très contrastés, tant du point de vue géomorphologique que géologique, sont séparés par l'accident Sud atlasique.

Cette région est formée d'un ensemble de bassins et sous bassins alignés presque parallèlement Nord-Sud.

Le substratum des formations néogènes du bassin d'El-Outaya et les Aurès en général est formé de dépôts d'âge secondaire et paléogènes. Ces dépôts, bien représentés dans la chaîne atlasique (Aurès et Atlas saharien Oriental) et les dépressions qui l'entourent, ont fait l'objet d'études détaillées par plusieurs auteurs. (Brinis, 2011)

III.2. Synthèse géologique du bassin d'El-Outaya :

Le bassin d'El-Outaya fait partie de la région de M'Doukal - Biskra qui forme une zone charnière raccordant les deux grands ensembles atlasiques : L'Atlas Saharien et l'Aurès décalés selon un mouvement dextre (Guiraud, 1973, 1990) ; Une région qui se caractérise sur toutes les cartes quelle qu'en soit l'échelle et ceci pour les raisons suivantes :

- Parce que ses limites avec les domaines voisins sont, dans l'ensemble, nettes et lui donnent une forme approximativement trapézoïdale.
- Car elle correspond à la zone dans laquelle le domaine atlasique est le plus étroit en Algérie.
- Parce que de nombreux accidents, de directions diverses, l'ont affectée à plusieurs reprises, morcelant les structures et favorisant l'accumulation des séries néogènes puissantes et variées (Guiraud R., 1990).

C'est un bassin particulier par ses dimensions réduites (30 X 70 Km), sa forme losangique limitée par des failles (E-W, NW-SE et NE-SW) ainsi que par sa position dans le domaine atlasique (Fig III.1 et Fig III.2).

Il s'agit d'un bassin subsidés superposé à un synclinal orientée sensiblement E.NE – W.SW et située entre deux anticlinaux. Elle se trouve au Nord de l'anticlinal du Dj.BouRhezel (Biskra)

et au sud du dôme de Djebel El-Melah (El-Outaya) et sous laquelle s'envoient les plis de l'Aurès. Sa structure résulte de la superposition de deux phases tectoniques majeures reconnues dans toute la région, la phase atlasique (alpine) globalement N60 à 80 E du Lutétien et la phase du Quaternaire basal globalement E-W (Lafitte, 1939 ; Guiraud, 1973, 1990 ; Guiraud et Bellion, 1995).

C'est dans ce bassin, près du village de Branis, que le continental terminal (miopliocène) a été signalé pour la première fois dans les Aurès par Fournel. C'est aussi dans ce bassin que les principaux termes de la série néogène ont été différenciés, ultérieurement, par Lafitte. Il s'agit d'un bassin néogène, bien développé, qui a fonctionné comme un bassin de sédimentation pendant tout le Néogène. Il est constitué à la base par un

Miocène laguno-marin (Bled Zemala, Branis, El Outaya), recouvert par du Messinien (Pontien) gréseux fluviatile, puis par des poudingues pliocènes (Ras Chicha). Les termes supérieurs, plus particulièrement pliocènes, sont fortement inclinés vers le centre du bassin où ils disparaissent sous une épaisseur considérable du Quaternaire ; Leur relèvement à la périphérie du bassin indique que celui-ci a été affecté par les mouvements les plus récents (Quaternaire basal).

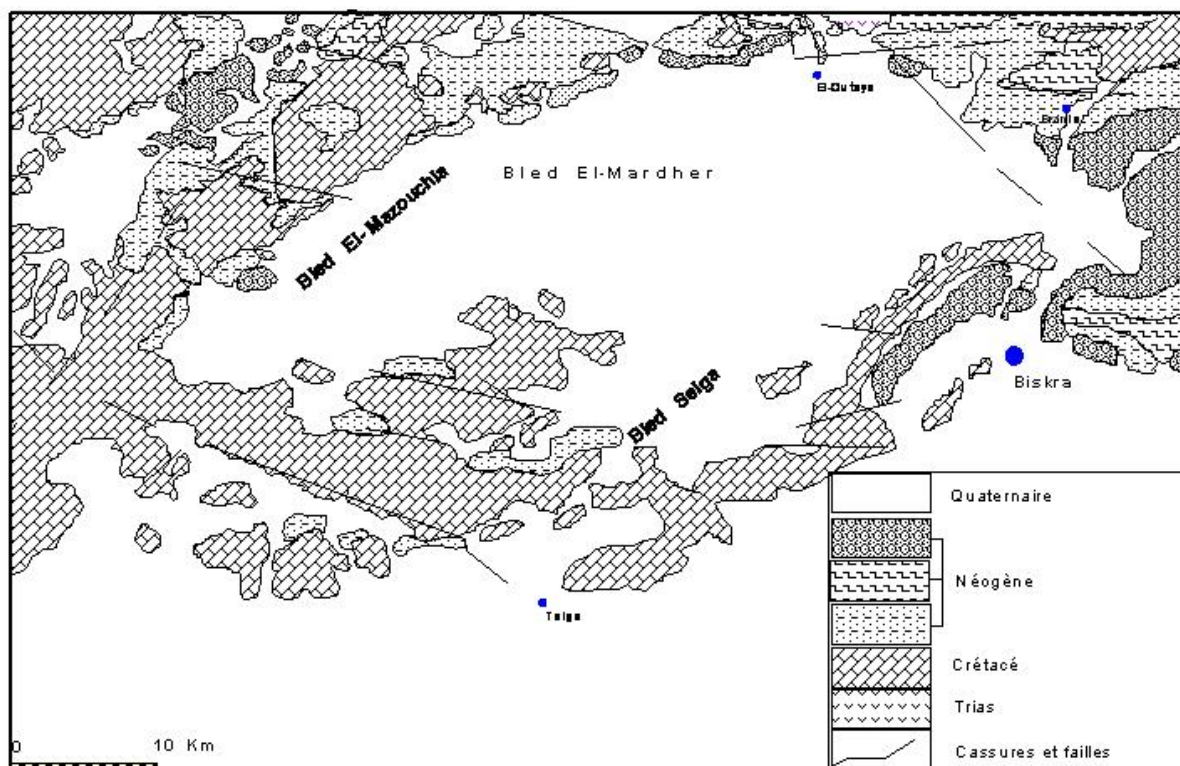


Fig III.1 : Carte géologique de la plaine d'El-Outaya (Branis, 2011)

Au Néogène, le bassin d'El-Outaya est comblé, par des dépôts silicoclastiques confinés, d'épaisseurs variables et contrôlés par les rejeux d'anciens accidents hérités de l'orogénèse

atlasique (Aissaoui, 1984–Harkat, 1999). Il se rattache à un ensemble de bassins intercontinentaux considérés au Néogène, comme des bassins de type pull-apart, (Kazitani, 1986), de bassins transportés (Ghandriche, 1991) ou de bassins d'effondrement encadrés par des failles (Harkat, 1999).

Son évolution au cours du Néogène, liée au découpage préexistant de la couverture post-triasique par des accidents NW/SE (Aissaoui, 1984 – Guiraud, 1973, 1990) accompagnaient un processus d'effondrement du domaine atlasique lors d'une tectonique en extension post-tecto-orogénique qui s'intègre dans un modèle de plateforme associé à un bassin d'avant pays. Ces dépôts, souvent azoïques, fournissent peu d'arguments pour des datations précises et fiables. Bien qu'ils aient été signalés dès le milieu du XIXe siècle dans la localité de Branis (Fournel, 1848), aucune étude détaillée et aucune corrélation n'ont été proposées à ce jour, depuis les travaux de Lafitte et Guiraud qui ont associé les formations du post-Miocène moyen à des milieux continentaux.

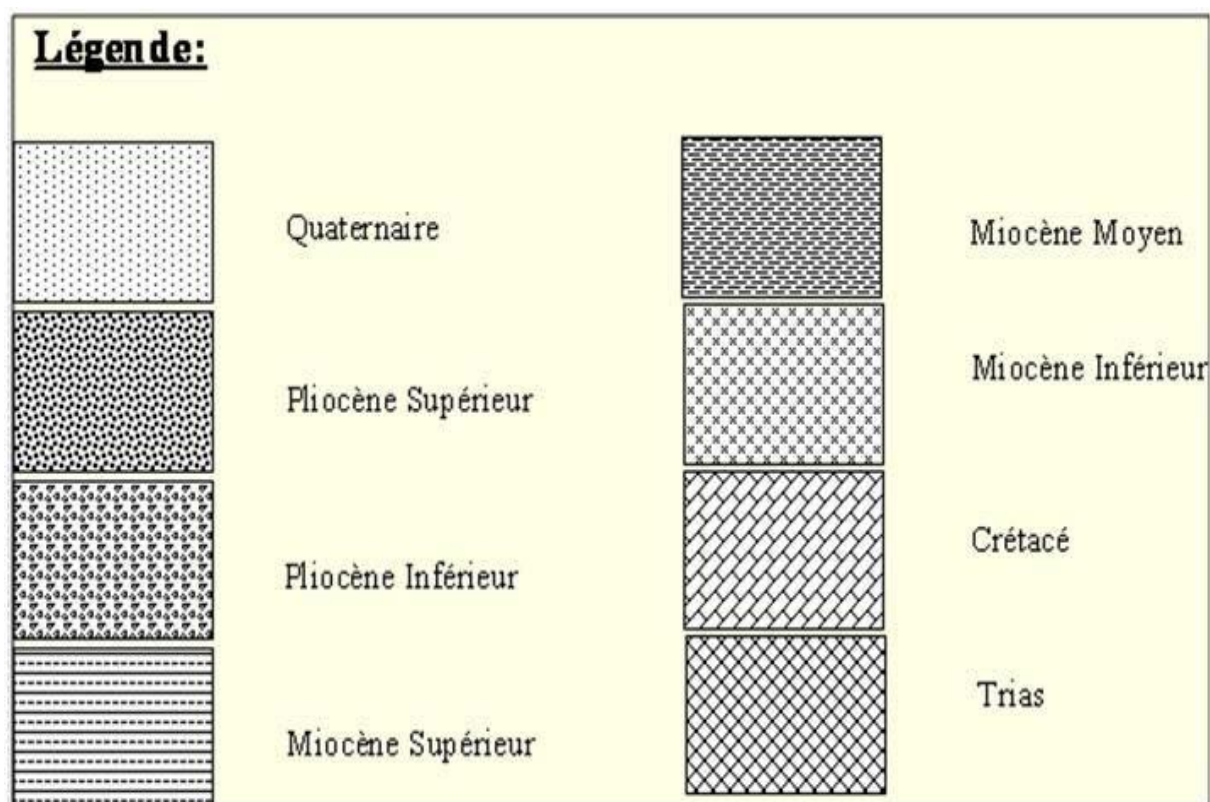


Fig III.2 : Coupes géologiques au niveau de la plaine d'El-Outaya (In Chebbah, 2007)

III.3. Etude de quelque coupes et corrélation :

La plaine d'El-Outaya a fait l'objet de plusieurs coupes et corrélations réalisées par plusieurs auteurs. Nous avons exploité certaines que nous pensons représentatives pour donner une idée sur la disposition des formations.

III.3.1. Corrélations E-W dans le bassin d'El-Outaya:

La description de cette coupe (In Chebbah, 2007) de direction E-W synthétise la variation de la disposition lithologique sur la bordure septentrionale dans le bassin d'El-Outaya. Ce bassin partagé en deux sous bassin ; entre Branis- El Outaya (sous bassin oriental) et entre El-Outaya -Bled el Mazouchia (sous bassin occidental).

Dans le sous bassin oriental, les quatre premiers ensembles sont bien développés et montrent d'importantes variations de faciès et d'épaisseurs ; alors que dans le sous bassin occidental, seuls les deux premiers ensembles affleurent montrant une certaine homogénéité de faciès avec une augmentation des épaisseurs du NE au SW.

L'ensemble 1 (400 - 100 m) aquitano-burdigalien, discordant sur tous les terrains antérieurs, est laguno-marin et présente plusieurs variations latérales de faciès et d'épaisseurs. Il est formé : i) à la base, d'une molasse calcaire ou de conglomérats à gros blocs calcaires (olistostromes) surmontés d'argiles brunes gypseuses ; ii) à l'Est, d'argiles vertes à huîtres et échinides (Branis), au centre de calcaires et de calcaires argileux à lamellibranches et globigérinoïdes (El-Outaya) et à l'Ouest d'argiles brunes et des conglomérats (El-Outaya - Bled el-Mazouchia).

L'ensemble 2 (200 - 250 m), tortonien-messinien, débute par des grès argileux et se poursuit par des argiles rouges gypseuses et des grès (ou sables) brunâtres à fines intercalations carbonatées.

L'ensemble 3 (100 - 200 m), langhien-serravalien, repose en concordance sur l'ensemble 1 et est constitué d'argiles brunes gypseuses présentant à leur sommet des intercalations de gypse à l'Est et de grès à algues contenant, aussi, des intercalations de calcaires marneux à l'Ouest.

L'ensemble 4 (environ 100 m), pliocène inférieur, discordant sur le précédent, débute par une épaisse couche conglomératique que surmontent des grès rouges à lentilles de conglomérats.

L'ensemble 5 (80-100m), pliocène supérieur, est formé d'une épaisse série conglomératique grossière et ne se rencontre qu'au NE de Branis (Dj. M'hor).

III.3.2. Les coupes :

L'observation des coupes (Fig III.3) montre :

- La plaine est affectée par des failles de direction diverses qui affectent l'ensemble du Néogène et même le Crétacé. Ces failles dessinent des grabens et des horsts et peuvent favoriser la remontée du Trias.

• Le Néogène est formé dans les coupes 1 et 2 d'un niveau Pliocène ainsi que trois niveaux Miocènes. Alors que dans la coupe 3, le Pliocène est formé de deux niveaux (Zone de Chicha); il semble que le pliocène supérieur ait résisté à l'érosion.

On remarque que dans la coupe 2, le Néogène ne vient pas directement en contact avec Dj. Melah mais repose sur les formations d'âge Crétacé.

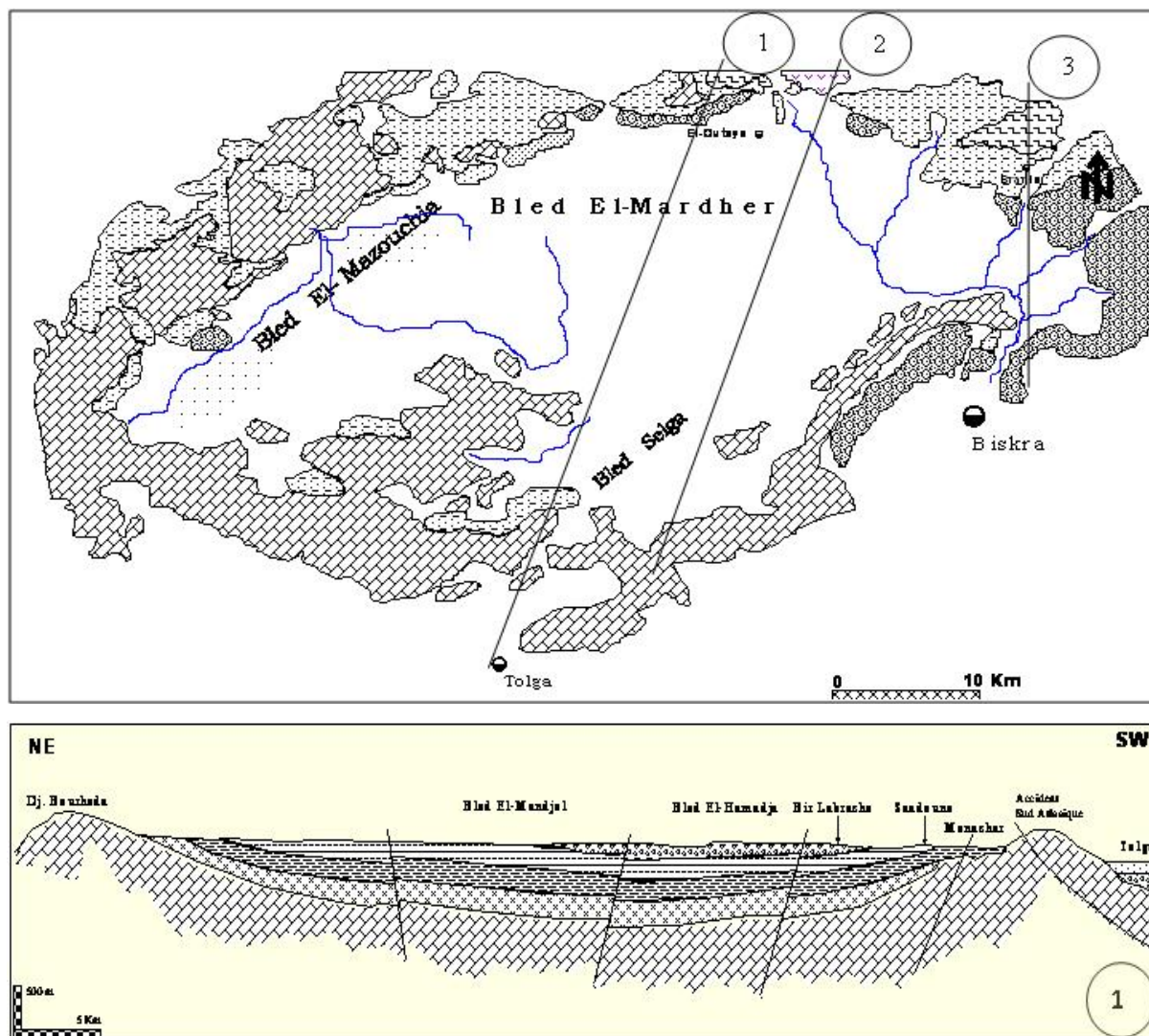


Fig III.3 : Situation des coupes (1, 2 et 3) (Brinis, 2011)

III.4. Géologie de site du barrage :

Sur le plan géologique, le site est constitué par des formations Marno-Calcaires du crétacé supérieur présentant une structure anticlinale avec un pendage incliné vers l'amont. Dans la vallée, ces formations sont recouvertes par des dépôts superficiels (alluvions et conglomérats) d'âge quaternaire.

Le noyau est fondé directement sur la roche dans les versants et sur les dépôts quaternaires au centre de la vallée : environ 126 m de digue entre les profils 9 et 13 fondés sur 10 à 20 mètres d'alluvions.

III.5. Etanchéité :

Le substratum rocheux de tous les barrages nécessite un traitement d'étanchéité afin d'éviter la percolation de l'eau sous la superstructure. Ce traitement est réalisé par injection de coulis sous pression, dans des forages à mailles resserrées.

La réalisation de voile d'étanchéité est une opération essentielle pour le barrage de fontaine des gazelles, compte tenu du caractère massif rocheux de fondation, Ce voile d'étanchéité a été réalisé par injection de coulis bentonite/ciment depuis des forages réalisés depuis la galerie d'injection implantée au contact noyau/fondation :

- En fondation rocheuse, le voile est mono- filaire.
- Dans les alluvions de fondation, le voile est tri-linéaire. Les files extérieures ont été réalisées au pas de 3 m. La file centrale a été réalisée au pas de 1.5 m avant contrôle, puis renforcée au pas de 0.75 m dans les zones de plus fortes perméabilités.

III.6. Hydrogéologie :

D'après la notice explicative de la carte hydrogéologique de Biskra (1980) où ses limites ne correspondent pas dans leur ensemble aux limites d'un bassin hydrogéologique, car elle englobe la vallée de l'Oued Djeddi, la région de Biskra et la cuvette d'El-Outaya ; la lithologie et les considérations hydrodynamiques permettent de différencier quatre (4) formations ou unités aquifères principales.

III.6.1. Les formations aquifères à nappe libre, semi libre à semi captive :

a) Nappe phréatique du Quaternaire :

Elle est localisée dans les accumulations alluvionnaires du Quaternaire. Elle est mieux connue au niveau des palmeraies de Tolga et des Oueds (nappes d'inféro-flux), sa profondeur varie de 0 à 10 m ; son réservoir de composition hétérogène est constitué par des matériaux détritiques (blocs, de galets, de graviers et de sables). Son substratum est formé d'une épaisse formation argileuse. Elle est, surtout, alimentée par les eaux de précipitations, les infiltrations des oueds et les eaux d'irrigations.

b) Nappe des sables du Mio-pliocène :

Contenant plusieurs niveaux aquifères de composition hétérogène : matériaux détritiques, des graviers et des sables dans une matrice argileuse. En profondeur, la formation devient à prédominance argilo sableuses et repose sur une formation imperméable composée de marnes à gypse et d'anhydrite de l'Eocène moyen, ce qui implique qu'il n'y a pas infiltration des eaux de cet aquifère vers l'aquifère inférieur puisque leur nature lithologique freine toute circulation.

III.6.2. Les formations aquifères captives :

a) Nappe des calcaires (Eocène inférieur et Sénonien supérieur) :

Cette nappe est localisée en grande partie dans la région de Biskra. Elle est plus exploitée à l'Ouest qu'à l'Est de Biskra à cause des faibles profondeurs relatives de captage. A l'Ouest, la profondeur varie de 15 à plus que 200 m alors qu'à l'Est, la profondeur dépasse les 400 m.

b) Nappe du Continental Intercalaire CI :

Cette nappe est souvent appelée « nappe albienne », elle est constituée de grès et d'argiles. Elle est peu exploitée dans la région, sauf à Ouled Djellal et Sidi Khaled où les formations gréseuses de l'Albien ou du Barrémien sont touchées à des profondeurs de 1500 à 2500 m.

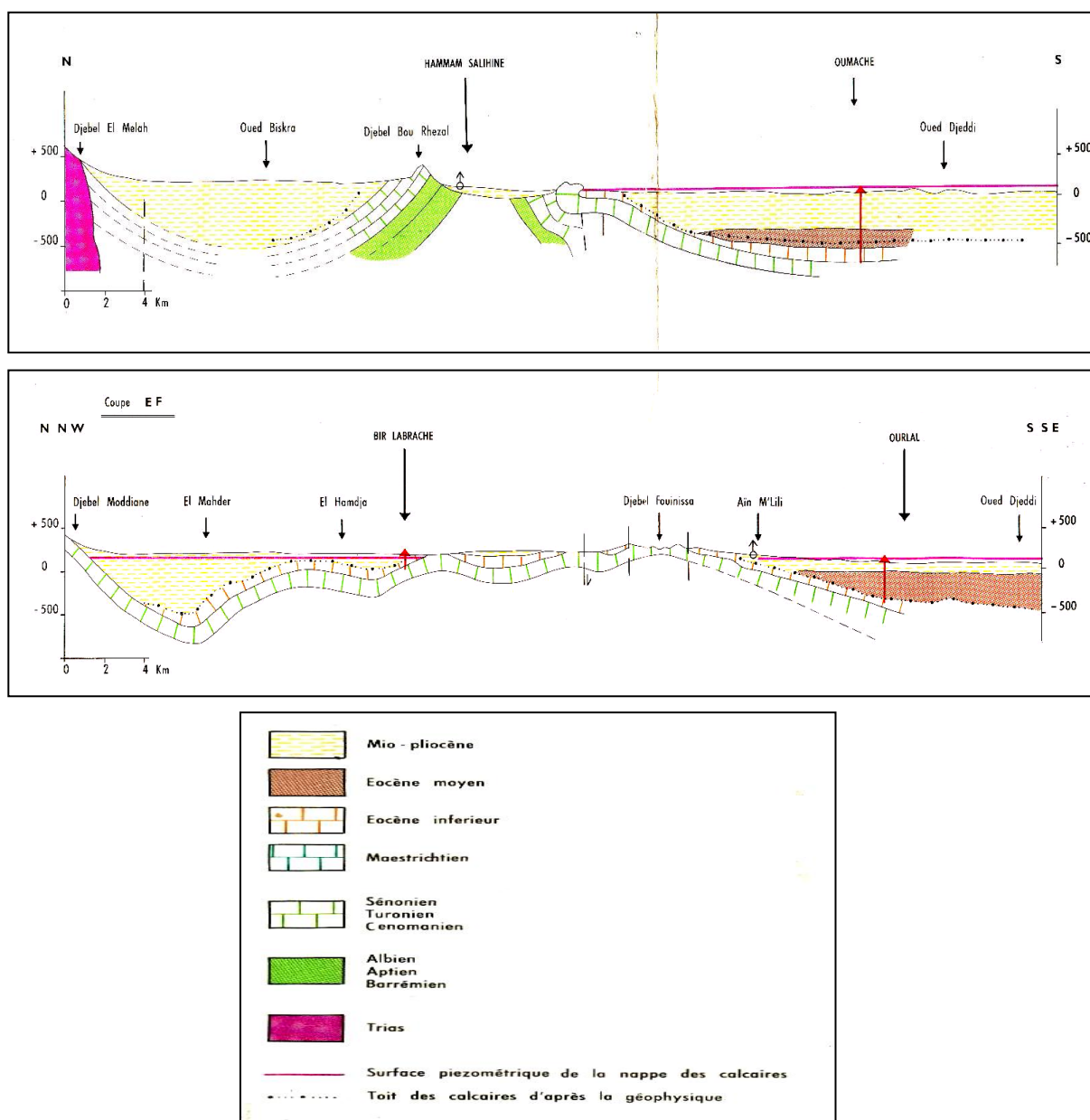


Fig III.4: Coupes hydrogéologique schématique de la région de Biskra.
(Extrait de la carte hydrogéologique de Biskra 1/200.000). (Rechachi, 2010)

III.7. Hydrologie du site:

Nous signalons l'installation depuis quelques années d'une station pluvio-thermique au niveau du barrage fontaine des gazelles (pluviométrie incomplète).

Tableau N III.1 :Caractéristiques des stations pluviométriques (ANRH) (BOUDJEMA, 2015).

Station	Code	X	Y	Z	Observations
El-Outaya	06 12 05	5°36'15'' N	35°01'41''E	275 m	A l'arrêt
Fontaine des gazelles	06 12 01	5°35'12'' N	35°06'32''E	361 m	Fonctionnelle (avec lacunes)

III.7.1. Caractéristiques hydrologiques du bassin versant:

La surface du bassin est de 1660 Km², l'altitude max du bassin versant est 1440 m.

III.7.2. Caractéristiques climatiques du bassin versant :

✓ Pluviométrie:

Mois	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mar	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sep
Pluviométrie Moyenne (mm)	1,09	0,23	1,50	2,20	0,29	1,35	1,57	1,37	0,02	0,51	0,01	2,97

Tab III .2 . : Données des moyennes journalières de précipitation (en mm)

1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
62.47	167.7	117.7	157.3	43.5	90.7	128	78	107.5	49.9	50.1	113.9	161.2	71
1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
69.8	89.3	142.1	185.4	154	31.9	129	108.4	186.4	178.8	81.8	221.8	40.6	84.5
2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	MOYENNE	
45.4	154	237.6	45.2	215	92.2	116.9	169.8	185.5	252.3	54.3	204.5	122.8	

Tableau III.3. : Précipitations moyennes annuelles (1974-2013, A.N.R.H, 2013).

✓ Apports solides :

L'apport solide annuel du barrage est de 300000 tonnes/an.

✓ Les températures :

On dispose des données de la station du barrage de fontaine des gazelles:

Des fortes variations saisonnières sont enregistrées entre le mois le plus chaud en Juillet avec 41.54 C° et le mois le plus froid en Décembre avec 3.75 C° où la moyenne annuelle est de 20.05C°. (Rechachi, 2010).

- **Le ruissellement :**

La mesure de l'apport liquide de l'Oued El-Hai qui draine la plaine d'El-Outaya est confrontée à l'absence de stations hydrométriques. La seule station contrôlant l'oued en question se trouve au Nord et à l'amont de la plaine, à El-Kantara, avec une aire de réception de 1170 km².

Les débits moyens mensuels et annuels ainsi que les apports de l'Oued El-Haï durant la période 1986 - 1992 indiquent un apport moyen annuel de 9.4 hm³ ; donnant en conséquence, une lame ruisselée de 8,04mm. (Haouchine, 2010)

- ✓ **Les Vents :**

Les vents de sable sont fréquents pendant le printemps et l'été. En période hivernale, les vents Nord-Ouest les plus dominants. La vitesse maximale des vents se rencontre au mois d'Avril atteignant 6.95 m/s.

- ✓ **Les écoulements**

A l'image d'un climat capricieux, les cours d'eau qui alimentent la plaine d'El-Outaya ont un écoulement périodique très irrégulier. Les Oueds les plus importants prennent naissance dans les Aurès, où les précipitations sont de l'ordre de 400 à 500 mm/an. Les apports considérables, amenés en amont, par Oued El-Hai, en période de crue, qui traversent la couverture limoneuse peu épaisse et s'infiltrent pour atteindre le Mio-Pliocène, cette réalimentation est actuellement négligeable, après la construction du barrage « la fontaine des gazelles », au Nord de la plaine.

Conclusion :

Suite aux reconnaissances géologie, hydrogéologique et hydrologique de site du barrage, le barrage de fontaine des gazelles est posé sur une formation rocheuse avec l'existence des alluvions (renforcés par un coulis de bentonite et le ciment).

La lithologie et les considérations hydrodynamiques permettent de différencier quatre (4) unités aquifères principales, nappe phréatique du Quaternaire, nappe des sables du Mio-pliocène, nappe des calcaires (Eocène inférieur et Sénonien supérieur) et nappe du Continental Intercalaire CI.

La station pluvio-thermique au niveau du barrage fontaine des gazelles donne une pluviométrie moyenne annuelle de 380mm avec une température moyenne annuelle de 20.05C°.

Les débits moyens mensuels et annuels ainsi que les apports de l'Oued El-Haï durant la période 1986 - 1992 indiquent un apport moyen annuel de 9.4 hm³.

CHAPITRE IV :

**ANALYSE DE L'EVOLUTION DU
COMPORTEMENT DU BARRAGE**

Introduction

La surveillance d'un ouvrage a pour but essentiel de connaître et si possible de prévenir toute dégradation afin de le maintenir en bon état de sécurité et ainsi apte à remplir ses fonctions.

On cherche principalement à détecter les évolutions. Celles-ci sont généralement très lentes mais le risque d'une **évolution rapide** n'est pas totalement exclu, notamment pour les barrages en terre, en particulier dans les premières années après la mise en eau.

La méthodologie de suivi doit fournir les moyens de détecter les anomalies, d'apprécier les vitesses d'évolution et leur aboutissement probable, en séparant les phénomènes réversibles des phénomènes irréversibles. Ceci afin de permettre de décider de la nature et de l'urgence des interventions.

IV.1. Surveillance du barrage :

IV.1.1. L'inspection visuelle :

La surveillance des barrages comporte toujours une inspection visuelle permettant souvent de détecter des désordres et anomalies affectant un ouvrage. Parmi les points principaux de l'inspection visuelle des barrages :

- **L'inspection à l'occasion des crues :**

C'est lors crues que les barrages sont soumis aux sollicitations les plus sévères: côte du plan d'eau élevée, débits importants sur le déversoir, ruissellement sur les parements.

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.

IV.1.2. Historique de la mise eau de la retenue :

La mise en eau a été effectuée en mars 2000 par tranche pour éviter le problème de tassement et pour assurer la stabilité du barrage ;

Les données de remplissage de la retenue sont : de janvier 2010 à décembre 2012.

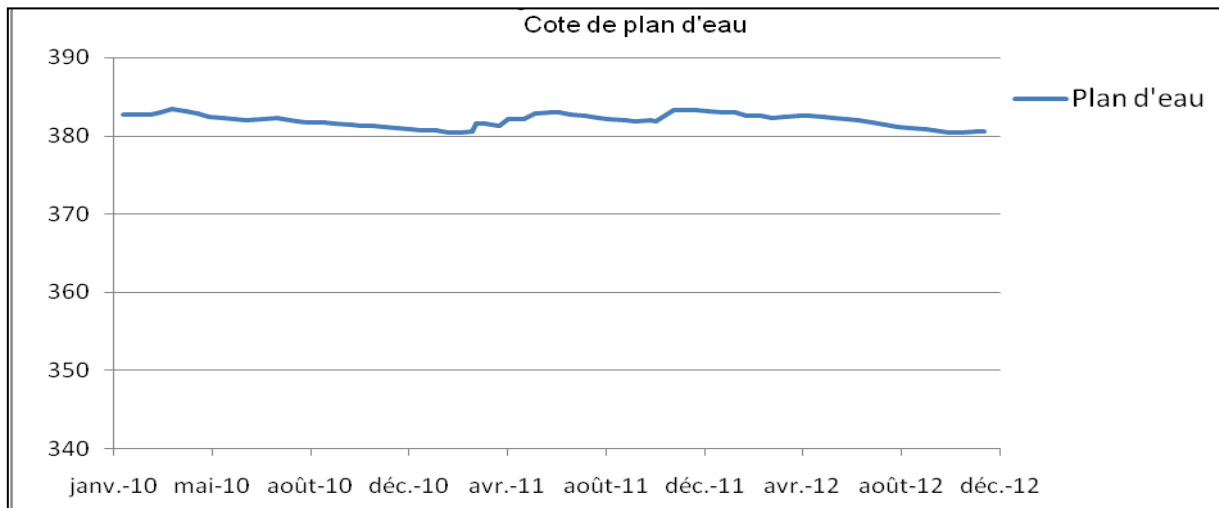


Fig IV.1 Evolution de niveau d'eau dans la retenue.

IV.1.3. Le dispositif d'auscultation du barrage :

IV.1.3.1. Mesures de déformation :

- **Planimétrie :**

Le réseau est constitué de 5 piliers de planimétrie répartis comme suit :

- P II en rive gauche,
- P VI, P VII et P X à l'aval,
- P VIII en rive droite.

Le pilier P VI n'est pas stationné. Il sert de référence d'orientation commune aux autres piliers.

Les piliers sont constitués d'une buse cylindrique en béton sur laquelle est scellée une plaque de centrage en bronze pouvant recevoir soit un théodolite soit une cible conique. Ils sont protégés par une seconde buse concentrique.

Les déplacements en XY du barrage sont suivis à partir de 28 repères répartis comme suit :

- 5 repères sur la crête amont : 4, 13, 22, 31, 40 (en alignement)
- 5 repères sur la crête aval : 5, 14, 23, 32, 41
- 5 repères sur le talus aval : 6, 15, 24, 33, 42
- 5 repères sur la berme aval à 378 m : 7, 16, 25, 34, 43
- 5 repères sur la berme aval à 366 m : 8, 17, 26, 35, 44
- 3 repères au pied aval : 18, 27, 36

Les repères sont de type à douille lisse protégée.

- **Nivellement :**

Le dispositif comprend 6 repères de référence de nivellement :

- R1, R2, R3 situés sur la rive gauche,

- R4, R5, R6 situés en aval,

Les déplacements verticaux de l'ouvrage sont suivis à partir des mêmes points qu'en planimétrie auxquels s'ajoutent les repères 50, 51, 52, 53 et 54 situés sur le bajoyer gauche de l'évacuateur.

- **Tassomètres :**

12 tassomètres GLOETZL de type magnétique sont implantés sur les 3 sections principales. Chaque section comporte 2 tassomètres dans la recharge amont à 16 et 40 m de l'axe du barrage et 2 tassomètres dans la recharge aval à 16 et 40 m de l'axe.

Les écarts de niveau entre les anneaux inférieurs des tassomètres et la cote du rocher relevé sur les plans ILF restent faibles, ce qui tend à montrer qu'ils descendent jusque dans la fondation rocheuse. Le seul écart significatif est relevé pour le TV11, mais dans une zone où la pente du toit du rocher est forte, ce qui peut expliquer l'écart. Le TV10 est Hors Service car bouché en partie haute.

IV.1.3.2. Mesures de pression :

- **Pressions interstitielles :**

24 cellules pneumatiques GLOETZL de type P4 KF10 équipées de filtre en céramique sont disposées dans le noyau sur les sections principales 1, 2 et 3 aux niveaux : 350, 364 et 378 m NGA.

- **Piézomètres :**

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

Parmi les piézomètres du barrage fontaine des gazelles qui possèdent une série complète de mesures avec peu de lacune pendant la période choisie pour notre étude (2000 - 2016) notre choix s'est porté sur **15 piézomètres** ouverts, qui sont installés dans le barrage et les fondations. Ils sont équipés d'une prise de pression de type casa grande d'un 1 m de long.

La disposition des piézomètres (Voile-aval) nous permet d'avoir une idée sur le degré de fissuration de la roche ainsi que l'état du voile d'étanchéité.

Le potentiel E exprimé en m d'eau est calculé comme indiqué ci-dessous :

$$E_{\text{EAU}} \text{ (m)} = Z_{\text{TETE}} - L$$

Avec

Z_{TETE} : Cote de la tête du piézomètre en NGA

L : Lecture en m : distance entre la tête du piézomètre et le niveau d'eau mesurée avec la sonde.

- **Débits :**

Le débit de fuite collecté dans le puisard de la pompe d'exhaure de la galerie d'injection n'est pas mesuré directement. Une estimation du débit est faite par l'exploitant à partir du temps de fonctionnement et du débit des pompes.

IV.2. Analyse de l'évolution du comportement du barrage :

La plupart des phénomènes observés sur les barrages résultent d'une combinaison de facteurs le plus souvent très difficiles à dissocier immédiatement, quels que soient la nature et le degré de perfectionnement des instruments d'auscultation utilisés.

Dans cette partie on analyse les données d'auscultation qui permettent de mettre en évidence les effets du facteur « temps » et avec une bonne analyse on pourra suivre l'évolution de comportement de notre barrage.

- ➔ **Comportement du remblai :**

Le corps du barrage est ausculté au moyen de 24 cellules à contre-pression disposées dans le noyau sur les sections principales 1, 2 et 3 et aux niveaux : 350, 364 et 378 m NGA. A ce jour, seul 2 mesures ont été réalisées le 22 avril et le 6 septembre 2003.

L'incertitude sur la concordance entre la numérotation des tubes rilsans des boîtiers et la localisation des cellules est telle que les mesures sont inexploitable. L'ANBT préconise la recherche des fiches d'installation des capteurs et des boîtiers afin de clarifier la situation.

Les 4 drains-piézomètres situés en partie centrale dans la galerie d'injection indiquent des valeurs d'environ 352 m NGA pour une cote de retenue de 384 m NGA, soit une charge d'environ 30%, qui est inférieure aux hypothèses prises en compte dans les calculs de stabilité menés par ISL.

Ces piézomètres sont faiblement corrélés avec la cote, contrairement aux piézomètres aval et au débit de fuite. Ceci traduit un dysfonctionnement de ces appareils.

Conclusion :

L'analyse des données disponibles concernant le suivi du barrage de fontaines des gazelles conduit aux conclusions suivantes :

- Sur le plan mécanique, la topographie montre que les déplacements des repères présentent une forte irrégularité, avec des amplitudes modérées en partie centrale et en rive gauche et de fortes amplitudes en rive droite.
- Sur le plan hydraulique, la piézométrie sous la galerie est le signe d'une percolation importante susceptible de dégrader le voile d'étanchéité. Sous la recharge la piézométrie est modérée.

CHAPITRE V :

ETUDE DES INFILTRATIONS DES

EAUX.

Introduction :

Dans cette partie de l'étude, nous recueillons des informations de l'administrative du barrage fontaine des gazelles. Et nous avons trouvé des informations incomplètes ou contradictoires, soit erreur de lecture ou d'une erreur d'écriture. Les informations manquantes sur la mention alors, mais sans s'y limiter, aux flux de fuite pour les huit premiers mois de 2012.

En raison de la simplicité des outils qui sont utilisés pour mesurer les fuites, il y aura des erreurs dans la mesure. Ce, nous allons analyser les données d'une manière scientifique.

V.I. Outils de mesure :

Au cours de l'étude sur le terrain du barrage est utilisé plusieurs outils nous rappellent

- Une sonde à signal sonore
- Appareil photo
- Chronomètre

- **Une sonde à signal sonore :**

La sonde de mesure de niveau d'eau dans les piézomètres, permet de déterminer simplement, rapidement et précisément le niveau de l'eau dans un forage. La mesure se fait sur un ruban gradué (Fig V.1).

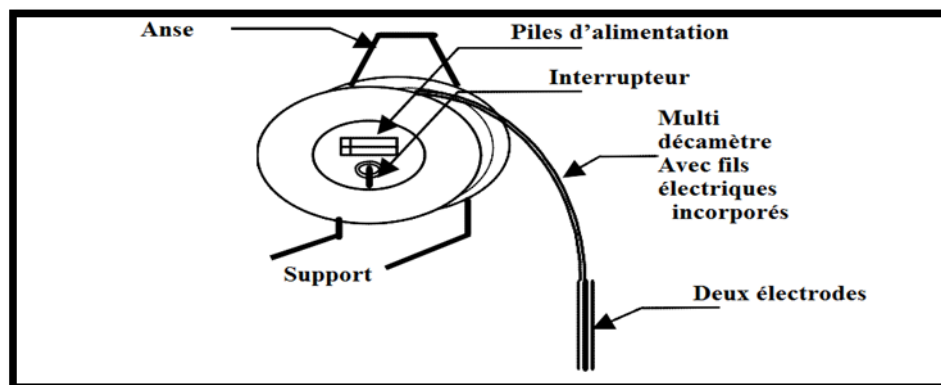


Fig V.1 : Schéma approximatif de la sonde utilisée

La sonde est fixée à l'extrémité d'un ruban gradué semi rigide. Lorsqu'elle pénètre dans l'eau un contact s'établit à un niveau précis et déclenche un signal sonore et l'allumage d'une lampe.

- **Prendre des mesures :**

Les mesures des piézomètres ont été prises par une sonde à signal sonore bimensuelle. Et il a été la valeur importante des deux valeurs pour chaque mois est calculé. Cet extrait même la valeur mensuelle. (Annexe).

V.2. Piézométrie en fondation du barrage :

Les percolations dans la fondation du barrage sont surveillées au moyen de 15 piézomètres installés sur 3 profils. Les piézomètres descendent à 335 m NGA, soit dans le rocher pour les sections 1 et 2, et dans les alluvions de fondation pour le profil 3.

Le niveau du contre-barrage du bassin de dissipation est de 344.5 m NGA.

V.2.1. Les coordonnées des Piézomètres :

Dans ces mesures nous avons besoin du côté des piézomètres en système NGA. (ANBT)

Tableau V.1 : Les coordonnées des piézomètres du barrage fontaine des gazelles.

Piézomètre	coordonnées		
	X	Y	Z
P1	3027.370	5077.623	378.247
P2	3057.184	5056.782	365.755
P3	3086.889	5035.116	354.954
P4	3112.152	5018.218	353.982
P5	3165.777	4978.689	353.515
P6	3026.028	5033.755	379.965
P7	3057.374	5011.151	366.143
P8	3085.339	4991.371	355.204
P9	3124.483	4964.030	347.158
P10	3166.204	4933.6354	351.003
P11	3157.284	4989.616	378.23
P12	3174.913	4967.2835	366.56
P13	3084.964	4946.173	355.979
P14	3125.261	4916.352	354.994
P15	3157.867	4887.542	347.405

V.2.2. Analyse et caractéristique du régime des eaux d'infiltration :

V.2.2.1. Analyse du réseau des piézomètres :

En tenant compte de la disposition et de la destination, les piézomètres sont divisés en 3 profils :

Piézomètre de profil 1 : P1 ; P2 ; P3 ; P4 ; P5

Piézomètre de profil 2 : P6 ; P7 ; P8 ; P9 ; P10

Piézomètre de profil 3 : P11 ; P12 ; P13 ; P14 ; P15

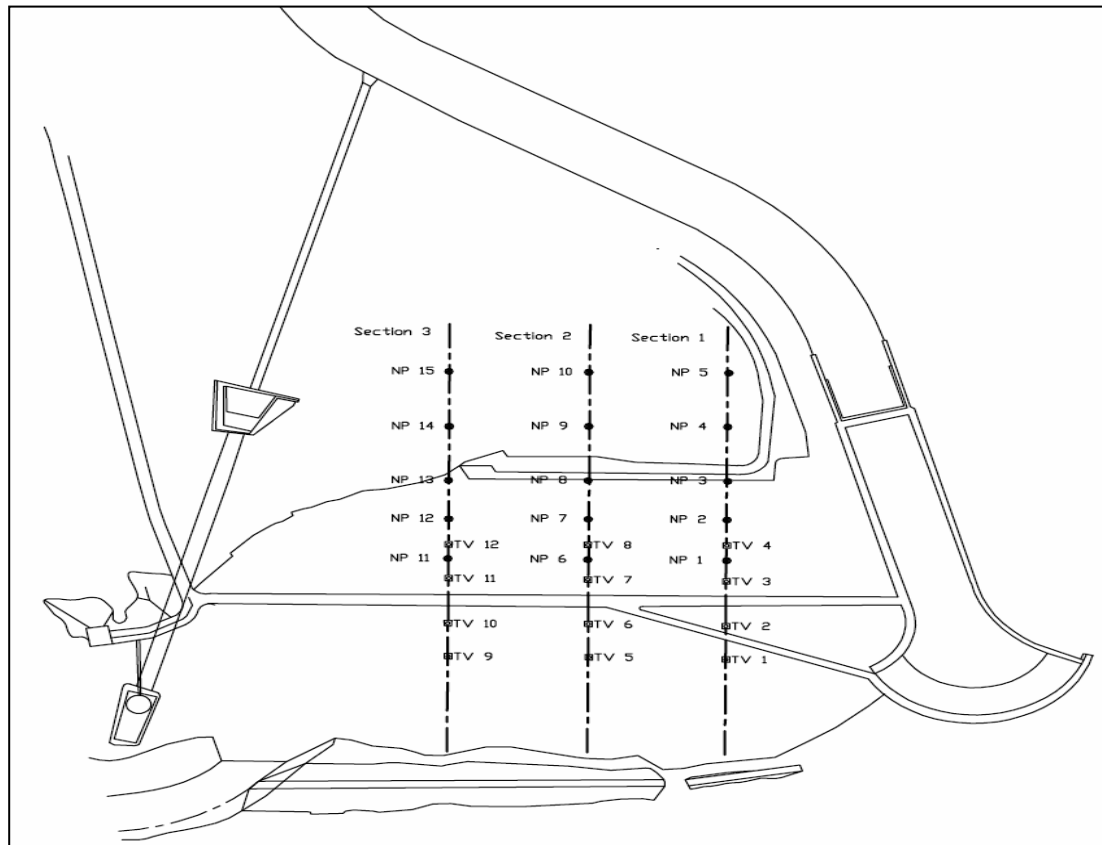


Fig V.2 : Schéma de la disposition des piézomètres selon les 3 profils.

V.2.2.2. Variations de niveau d'eau dans les piézomètres :

La variation de niveau d'eau dans les piézomètres est réalisée pour seulement trois ans successifs 2010, 2011 et 2012 selon les trois profils de disposition des piézomètres, pour voir la fluctuation du niveau d'eau en fonction du plan d'eau dans la retenue.

➔ **Sur le profil 1 :**

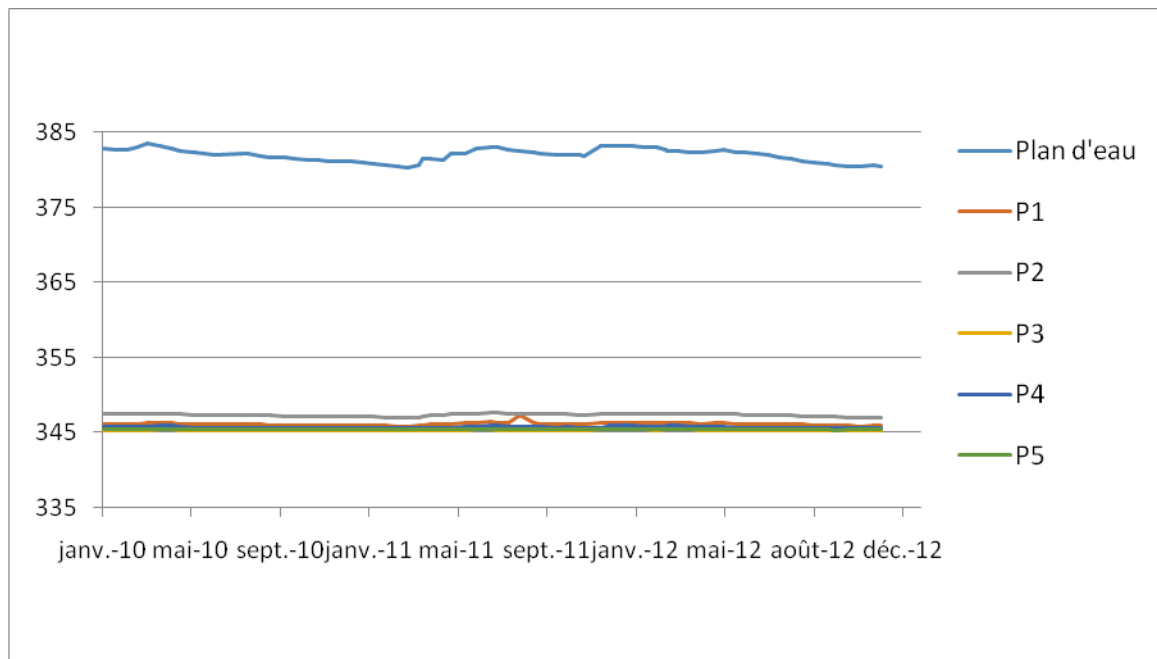


Fig V.3 : Variations de niveau dans les piézomètres sur le profil 1.

➔ **Sur le profil 2 :**

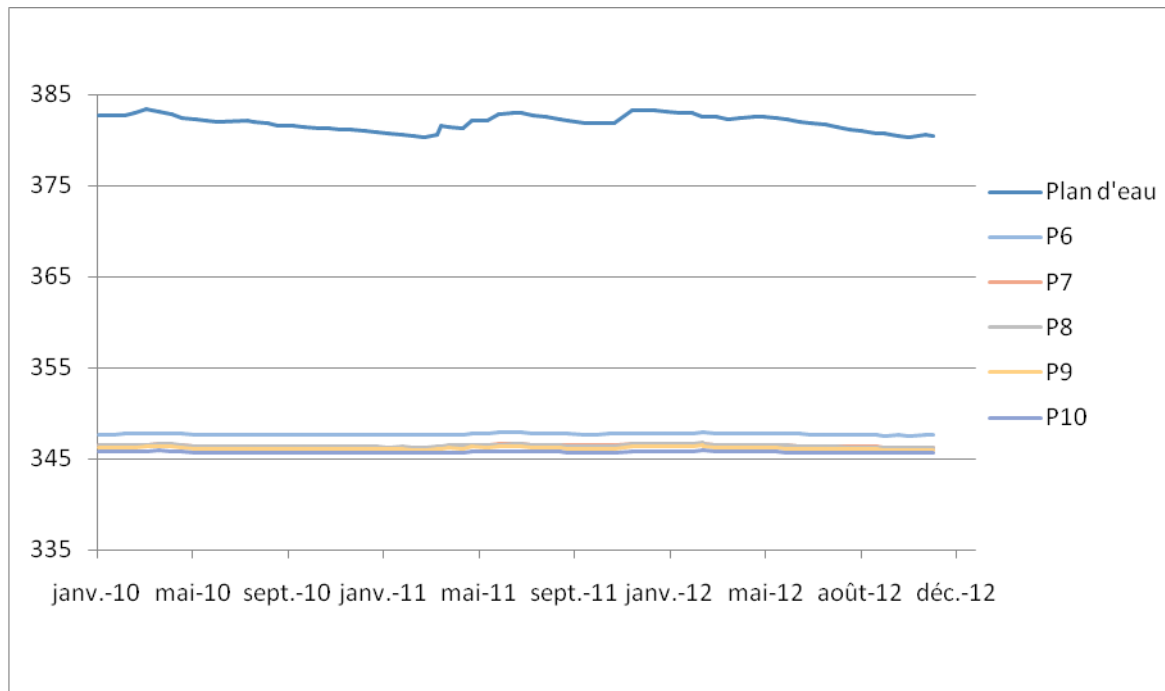


Fig V.4 : Variations de niveau dans les piézomètres sur le profil 2.

➔ **Sur le profil 3 :**

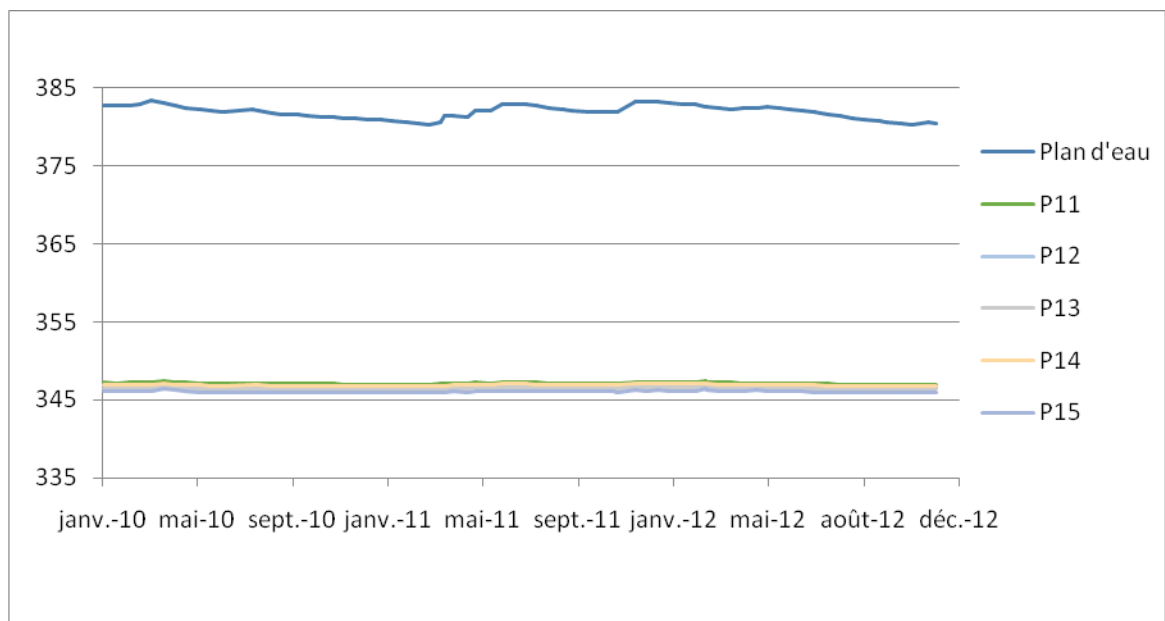


Fig V.5 : Variations de niveau dans les piézomètres sur le profil 3.

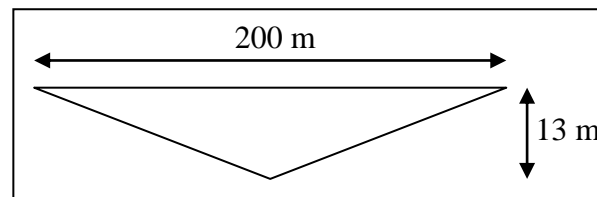
- La piézométrie mesurée dans les 3 sections montre un gradient régulier et modéré, comme le montre les graphiques de variation.
- Le piézomètre NP1 présente un saut en 2011. Ce qui préconise à l'ANBT de vérifier le mode de calcul du niveau piézométrique et en particulier la valeur de la cote de tête utilisée.

Les piézomètres NP1 et NP2 de la section 1 et les piézomètres des sections 2 et 3 n'ayant pas vu cette augmentation, il est probable que l'écoulement provient de la rive droite.

- Ces piézomètres sont fortement corrélés avec le plan d'eau dans la retenue.

Les gradients hydrauliques des 3 profils sont similaires, ce qui indique que le régime d'écoulement est orienté amont/aval avec des écoulements transversaux limités. Le gradient atteint environ : $i = 1.5 \%$.

Avec la section de passage triangulaire suivante le débit de percolation passant sous la fondation alluviale atteindrait environ 20 l/s.



***Le débit :** $Q = 1300 \text{ m}^2 \times 10^{-3} \text{ m/s} \times 1,5\% = 20 \text{ l/s}$.

V.3. Apport de l'analyse piézométrique dans l'étude des infiltrations des eaux du barrage:

V.3.1. Choix de la période de mesure :

La période de mesure s'étale de 2000 à 2016. Ce choix a été guidé par le fait suivant : nous savons qu'à une côte donnée du lac, correspond un volume d'eau et une surface de la retenue bien déterminés. Alors que, dans le barrage fontaine des gazelles, ces deux paramètres n'ont cessé de varier dans le temps, à tel point qu'une charge du plan d'eau en une année ne correspond plus au même volume quelques années plus tard. D'une autre manière, la pression exercée par un volume d'eau sur les parois et la digue zonée du barrage n'est pas toujours la même pour une hauteur en eau.

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

➡ L'année 2000 :

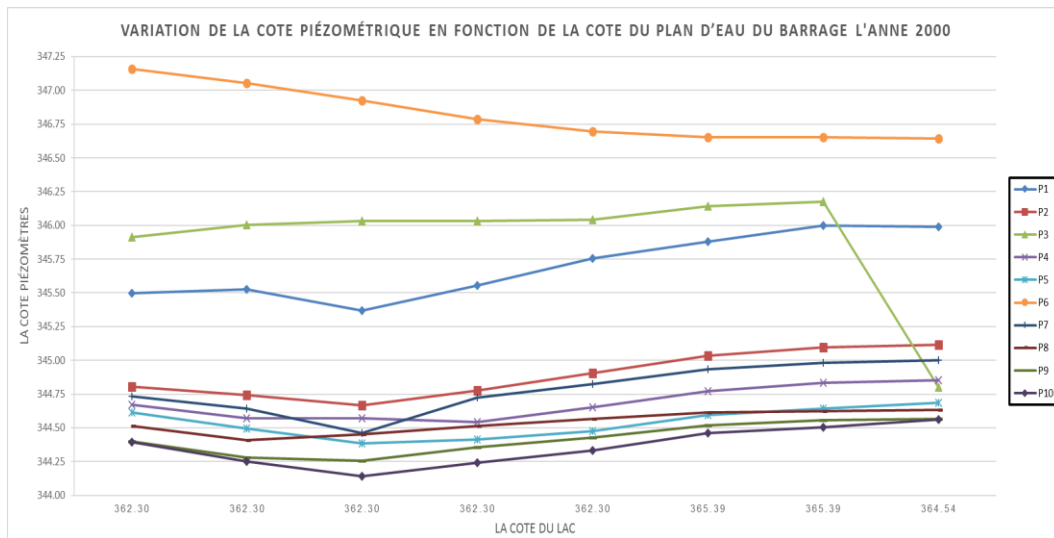


Fig V.5 : Variation de la cote piézométrique en fonction de la cote de retenue du barrage (2000).

Nous notons de la table des données (annexes) par l'absence de valeurs numériques qui se réfèrent des piézomètres (P11, P12, P13, P14 et P15), qui mettre le barrage en cas de plénitude.

Par la lecture explicative des courbes de variation, on voit la formation d'un alun de droite à l'axe parallèle, par contre la courbe du piézomètre P3 diminue de la cote 346.16 vers la cote 344.80, cette diminution est due à l'erreur du lever de la lecture par le technicien.

➡ Année 2001 :

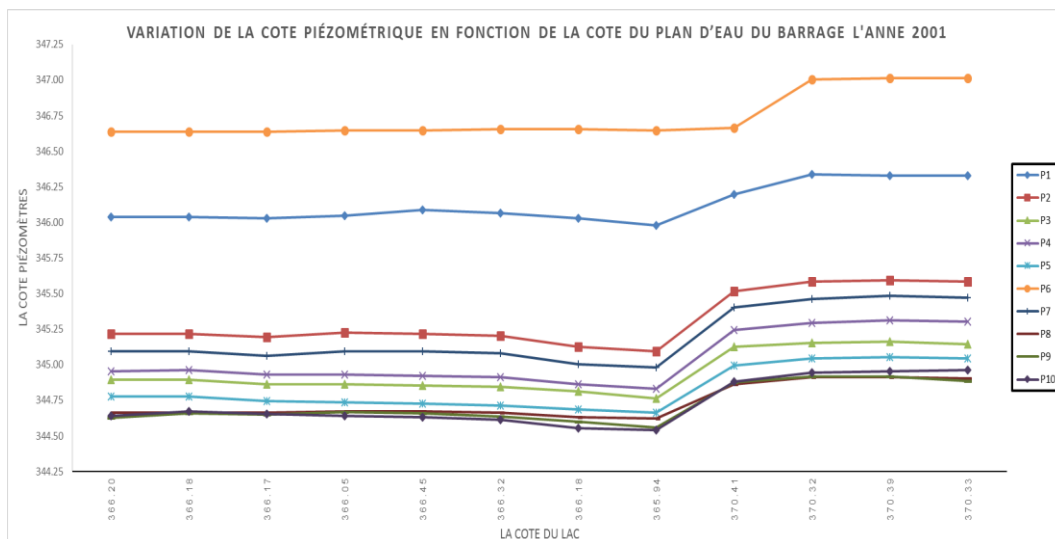


Fig V.6 : Variation de la cote piézométrique en fonction de la cote de retenue du barrage (2001).

L'étude de diagramme de niveau dans les piézomètres en aval de la digue du barrage est proportionnelle au niveau du lac en amont.

➡ Année 2002 :

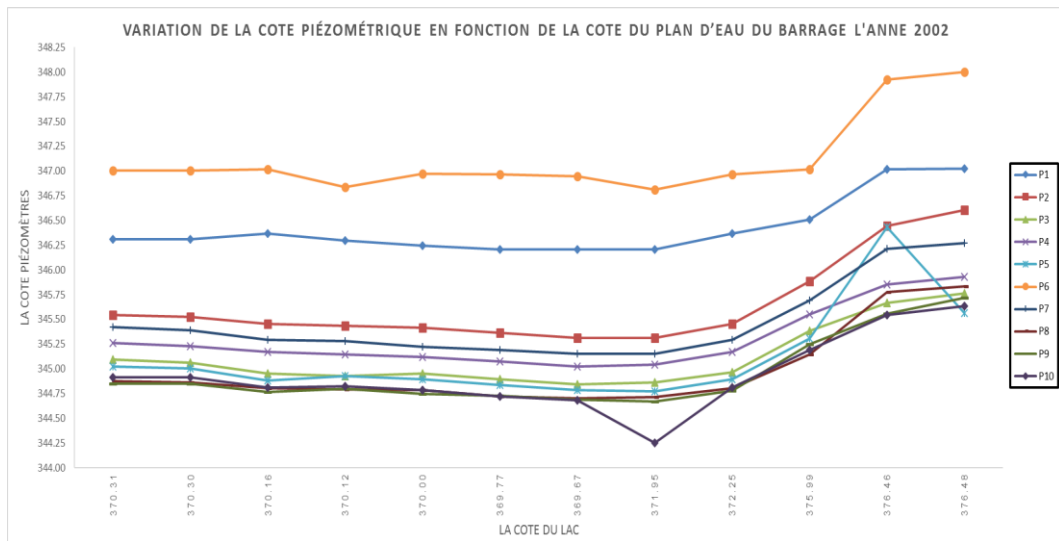


Fig V.7 : Variation de la cote piézométrique en fonction de la cote de retenue du barrage (2002).

A travers le graphique on note que les courbes sont proportionnelles. Mais il y a des points anormaux tels que piézomètre P10 en niveau 344.25 m (mois Aout) confronter la cote de lac 371.95 m. Contrairement au mois de Juillet, la cote piézométrique 344.68 m concorder avec la cote de lac 369.67. Normalement le niveau piézomètre augmente.

La courbe de piézomètre P5, la valeur 346.44 m Il est une erreur d'écriture.

➡ Année 2003 :

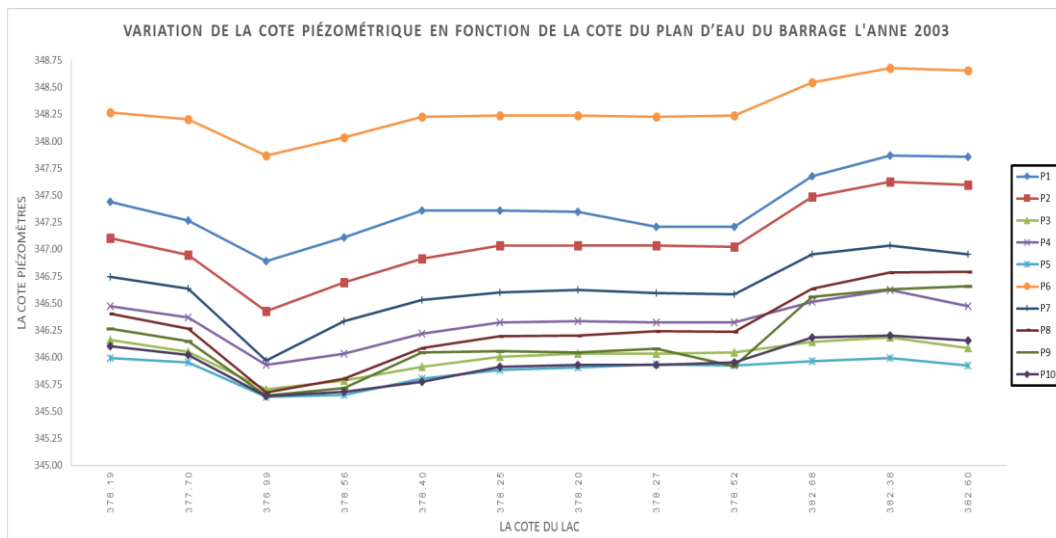


Fig V.8 : Variation de la cote piézométrique en fonction de la cote de retenue du barrage (2003).

Cette courbe est presque homogène par rapport aux courbes des années précédentes

➡ Année 2004 :

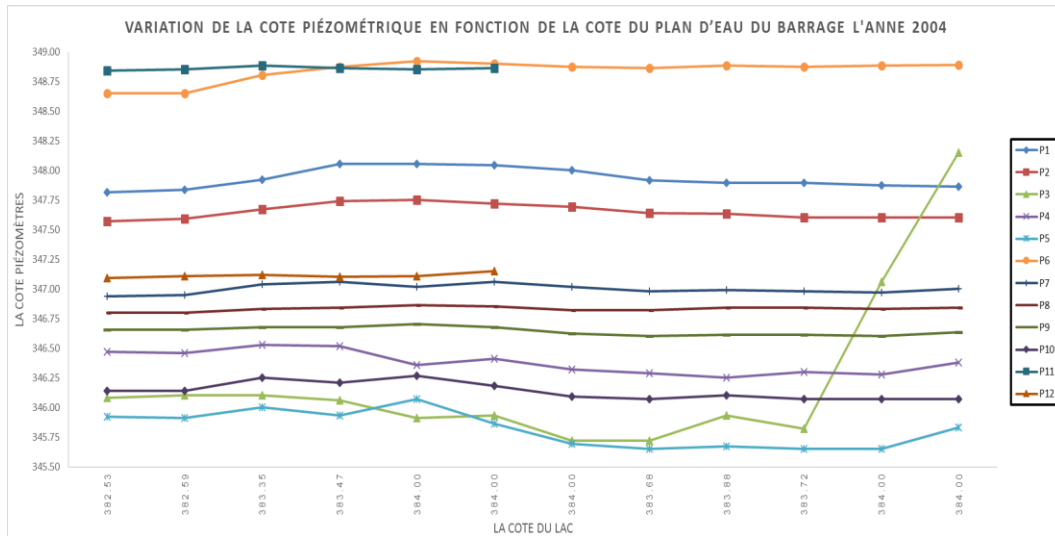


Fig V.9 : Variation de la cote piézométrique en fonction de la cote de retenue du barrage (2004).

On remarque :

- Le début de la mesure dans les piézomètres P11 et P12 en mois de Juillet.
- La stabilité du niveau du lac, avec une augmentation du niveau dans le piézomètre P3. Cette augmentation s'est produite rapidement alors que la cote de retenue est quasi stable depuis avril 2004.

➡ Année 2005 :

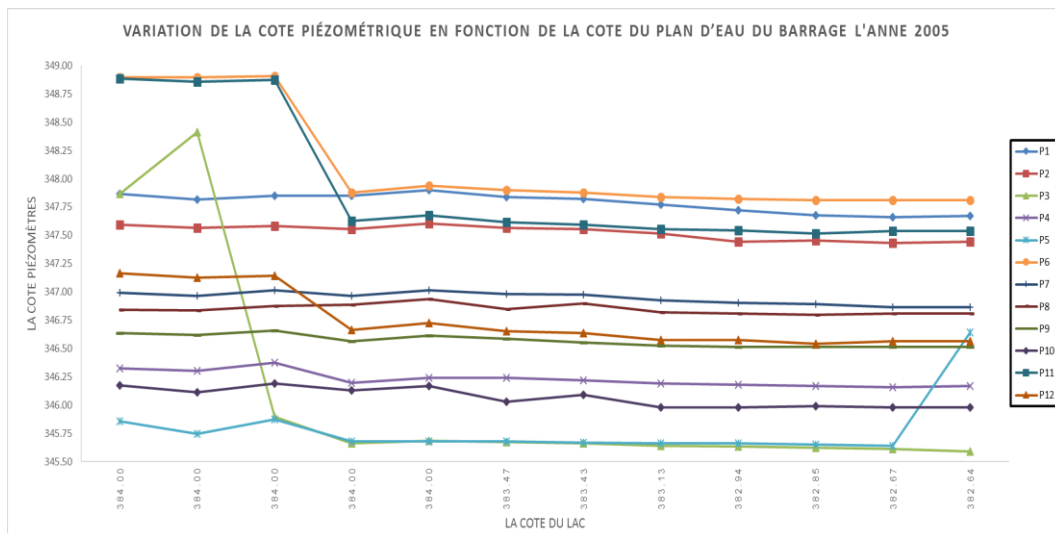


Fig V.10 : Variation de la cote piézométrique en fonction de la cote de retenue du barrage (2005).

La même observation, une stabilité du niveau du lac, mais il y a une augmentation du niveau de piézomètre P3.

- Une chute rapide de niveau dans les piézomètres P6 et P11, le reste des piézomètres ont une stabilité durant l'année.

➡ Année 2006 :

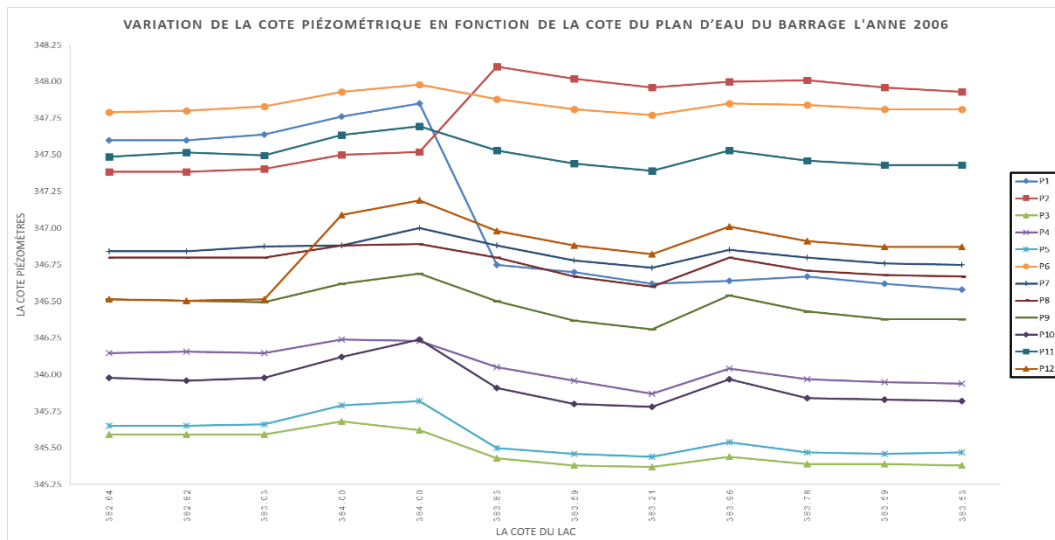


Fig V.11 : Variation de la cote piézométrique en fonction de la cote de retenue du barrage (2006).

On voit une chute rapide de niveau dans le piézomètre P1 entre le mois Mai et Juin. A partir 347.85 à 346.75.

➡ Année 2007 :

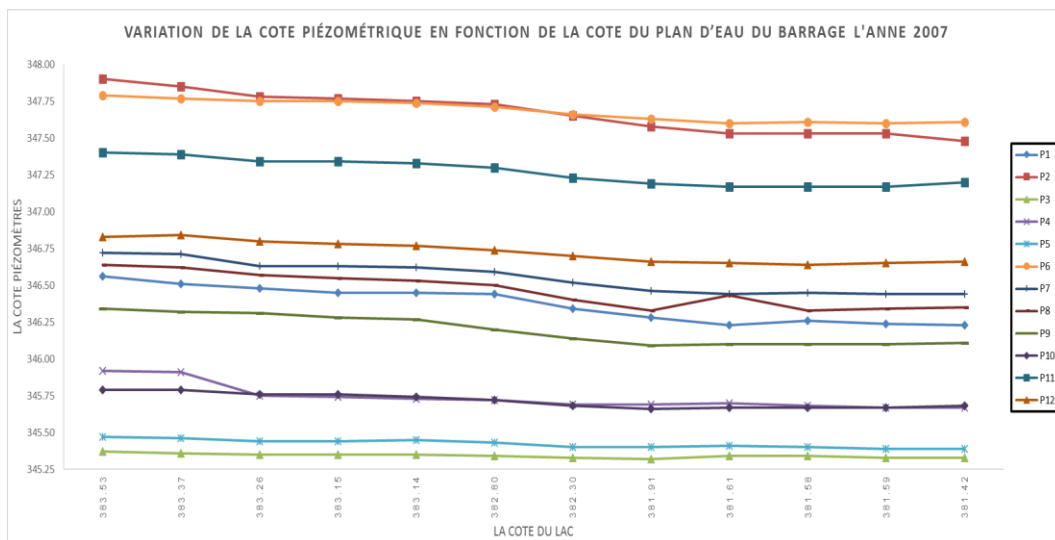


Fig V.12 : Variation de la cote piézométrique en fonction de la cote de retenue du barrage (2007).

➡ Année 2008 :

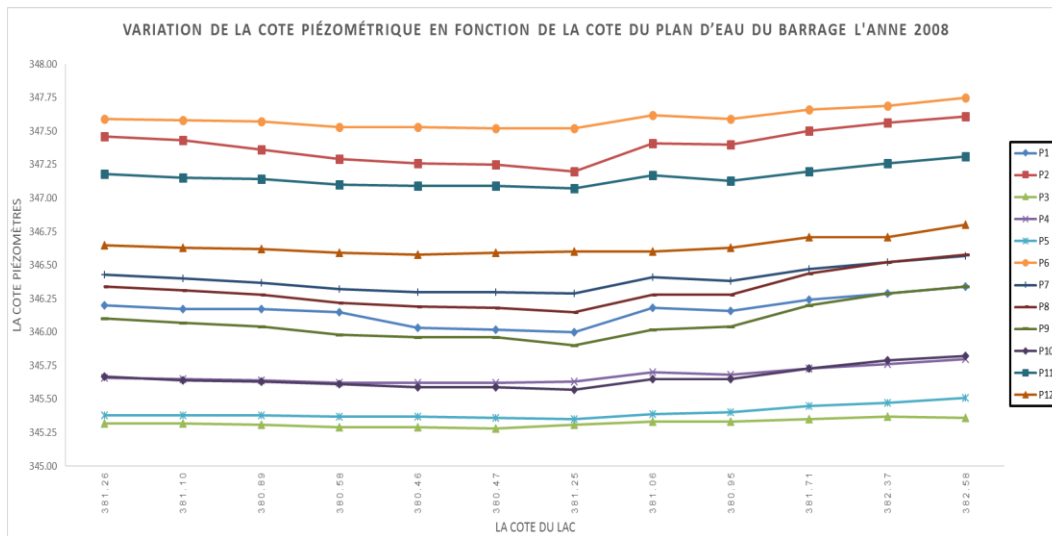


Fig V.13 : Variation de la cote piézométrique en fonction de la cote de retenue du barrage (2008).

➡ Année 2009 :

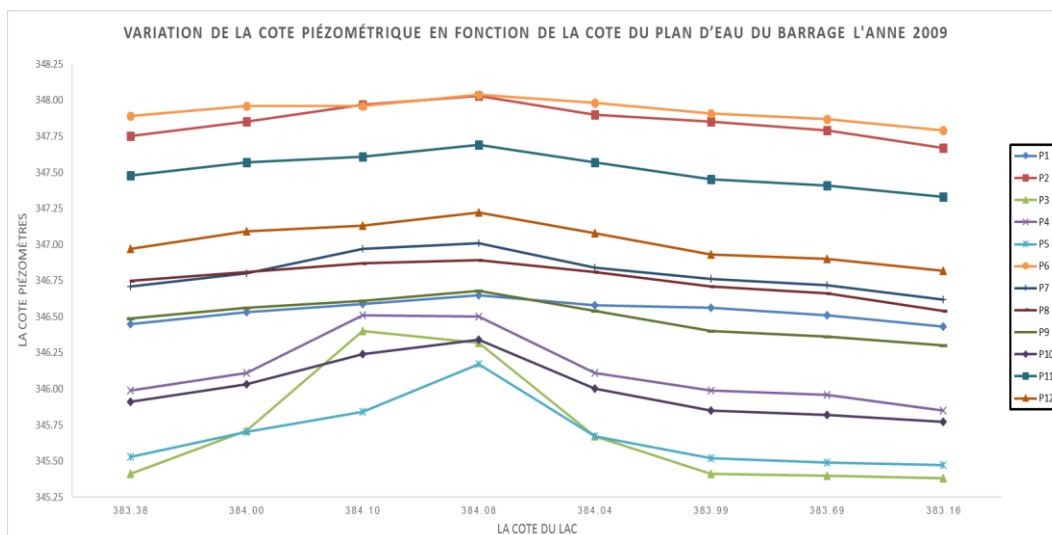


Fig V.14 : Variation de la cote piézométrique en fonction de la cote de retenue du barrage (2009).

Les courbes des années 2006, 2007, 2008 et 2009 sont presque homogènes par rapport aux courbes des années précédentes.

➡ Année 2010 :

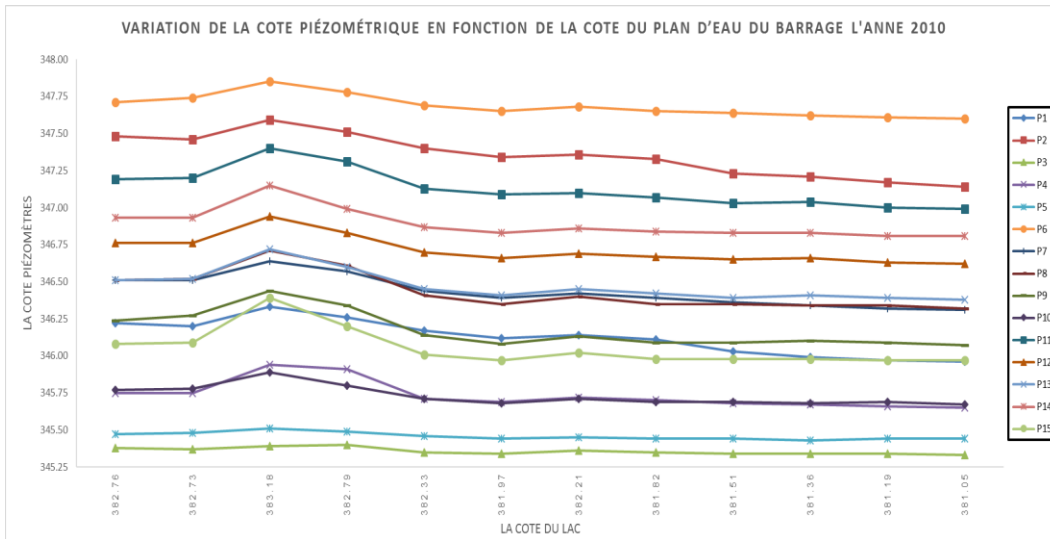


Fig V.15 : Variation de la cote piézométrique en fonction de la cote de retenue du barrage (2010).

Cette courbe est presque homogène par rapport aux courbes des années précédentes. Le niveau du lac est presque stable, mais il y a une augmentation du niveau de piézomètre P3.

➡ Année 2011 :

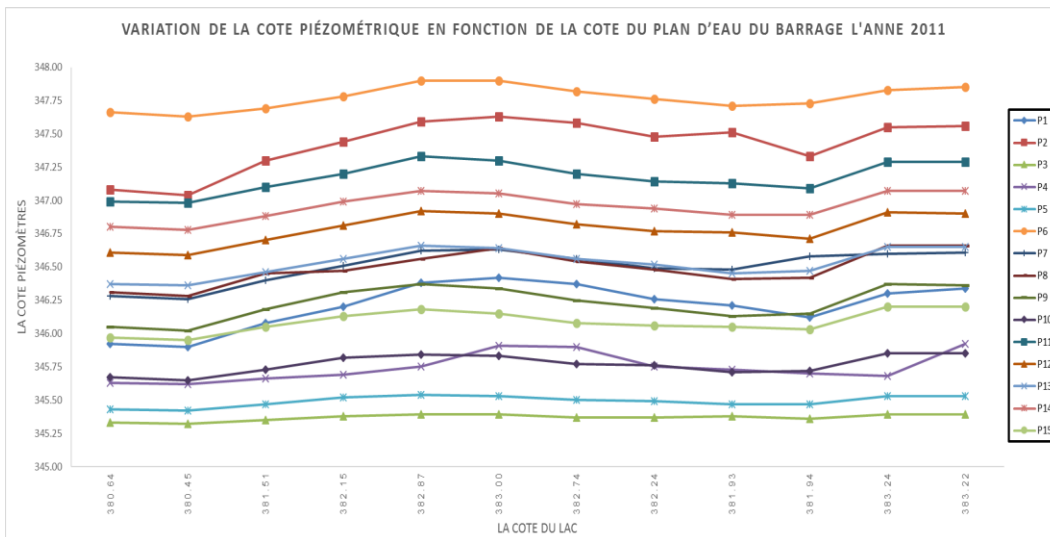


Fig V.16 : Variation de la cote piézométrique en fonction de la cote de retenue du barrage (2011).

➡ Année 2012 :

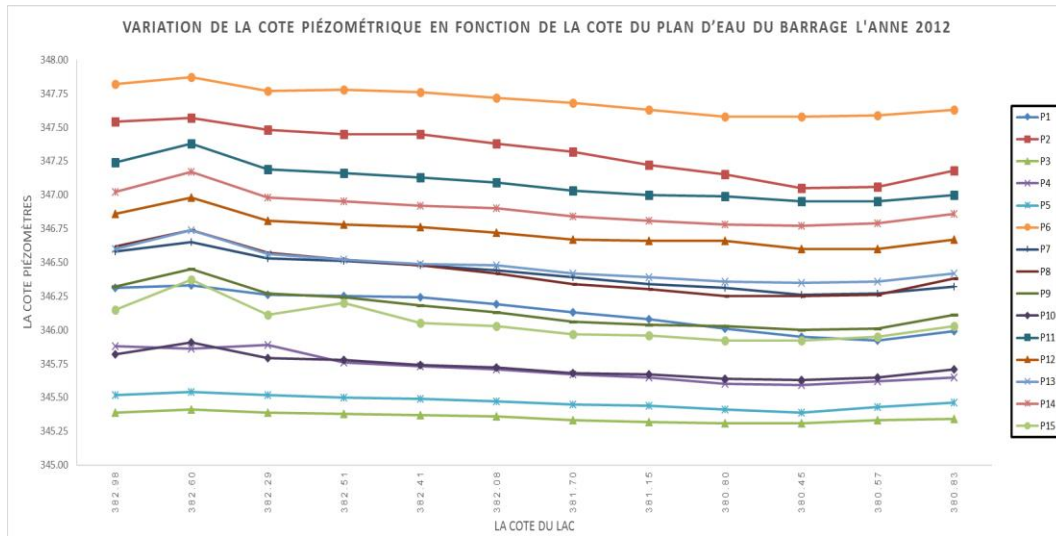


Fig V.17 : Variation de la cote piézométrique en fonction de la cote de retenue du barrage (2012).

➡ Année 2013 :

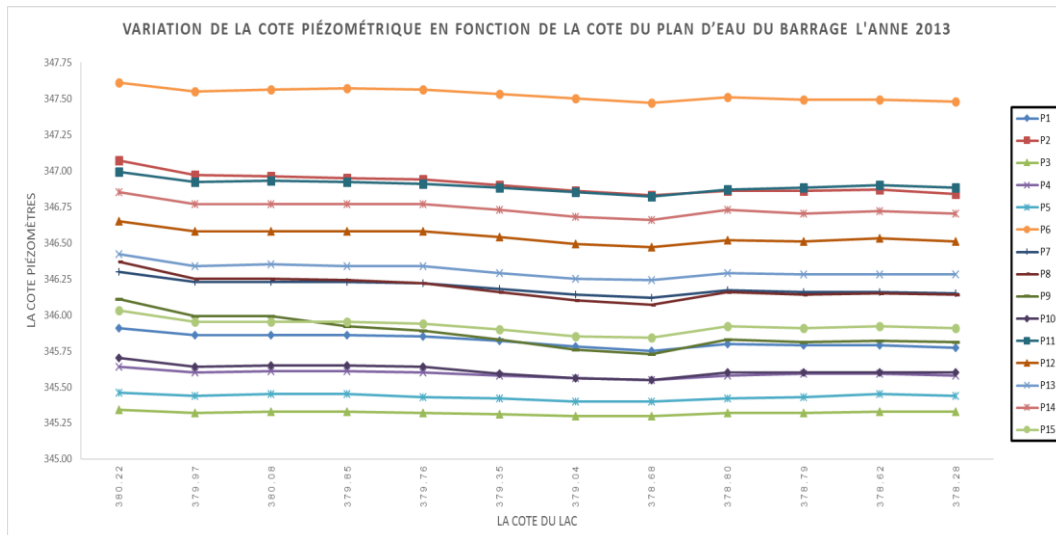


Fig V.18 : Variation de la cote piézométrique en fonction de la cote de retenue du barrage (2013).

Les courbes des années 2011, 2012 et 2013 sont presque homogènes par rapport aux courbes des années précédentes.

➡ Année 2014 :

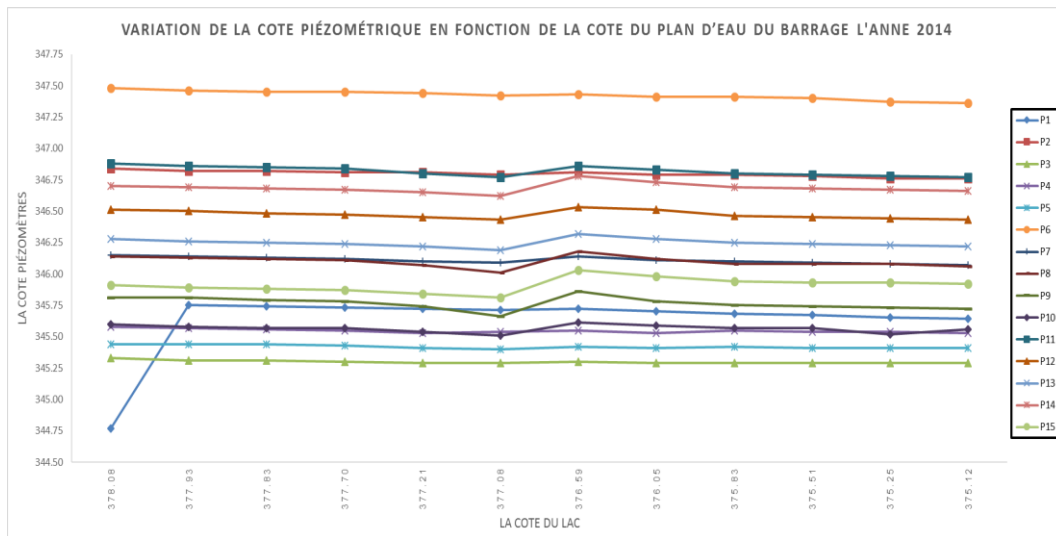


Fig V.19 : Variation de la cote piézométrique en fonction de la cote de retenue du barrage (2014).

Au début de la courbe du piézomètre P1, on signale une erreur d'écriture par ce que la valeur la fin d'année 2013 est de 345.77 m, après un mois la valeur chute à un niveau de 344.75 m.

➡ Année 2015 :

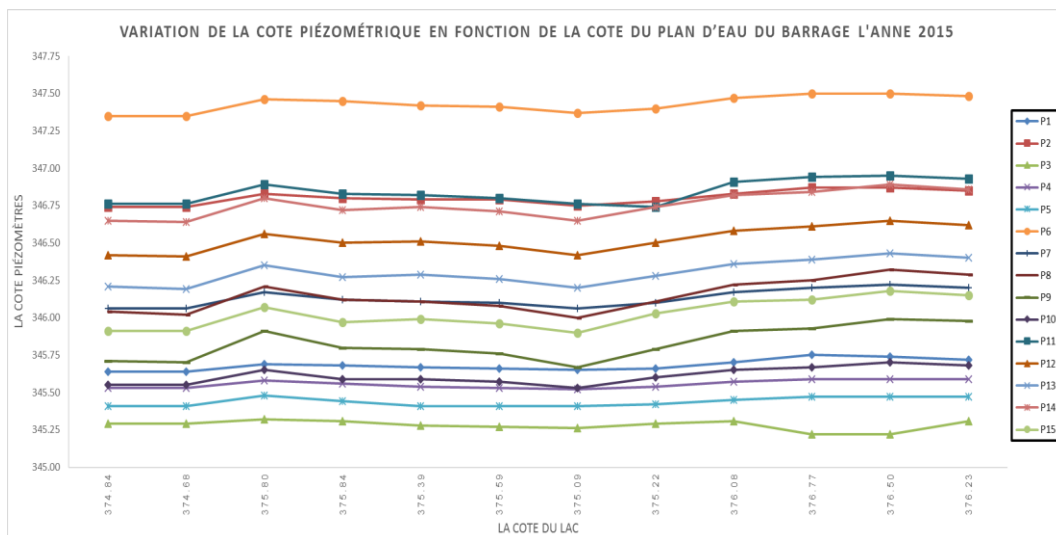


Fig V.20 : Variation de la cote piézométrique en fonction de la cote de retenue du barrage (2015).

Cette courbe est presque homogène, et la variation du niveau piézométrique semble être dépendante de la variation de la hauteur d'eau.

➔ Année 2016 :

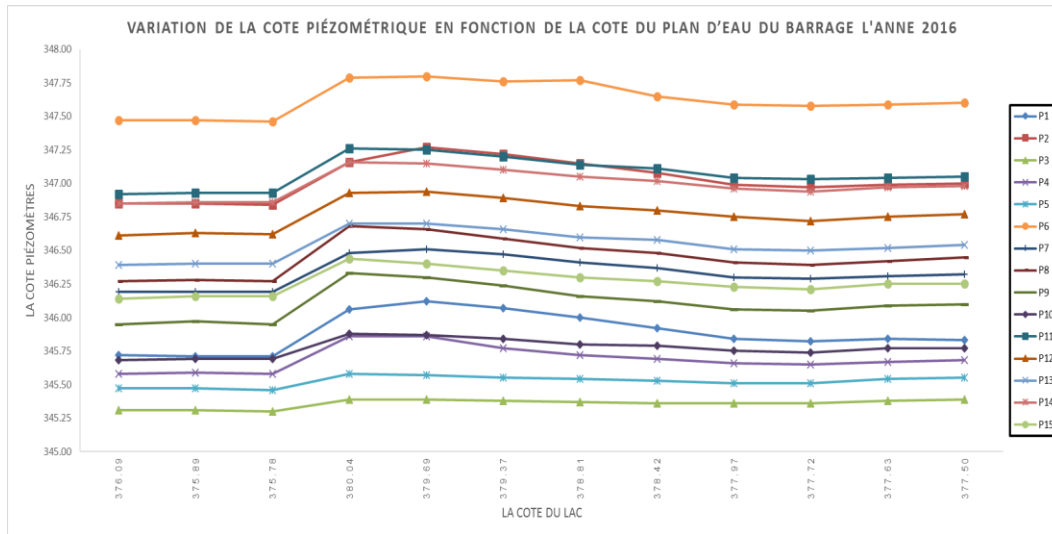


Fig V.21 : Variation de la cote piézométrique en fonction de la cote de retenue du barrage (2016).

La variation du niveau piézométrique semble être dépendante de la variation de la hauteur d'eau.

Finalement pour les 17 ans d'observation la variation de la pente indique que nous sommes en présence d'une évolution de la fissuration du massif en fonction de la hauteur du plan d'eau dans la retenue.

V.4. Variation du débit des fuites et niveau de lac en fonction de temps :

Sur la base des données d'ANBT du barrage fontaine des gazelles, les niveaux d'eau du lac et la quantité du débit de fuite chaque mois, il a été établi suivant une courbe, ce qui montre la relation entre le niveau du lac et la quantité de débit.

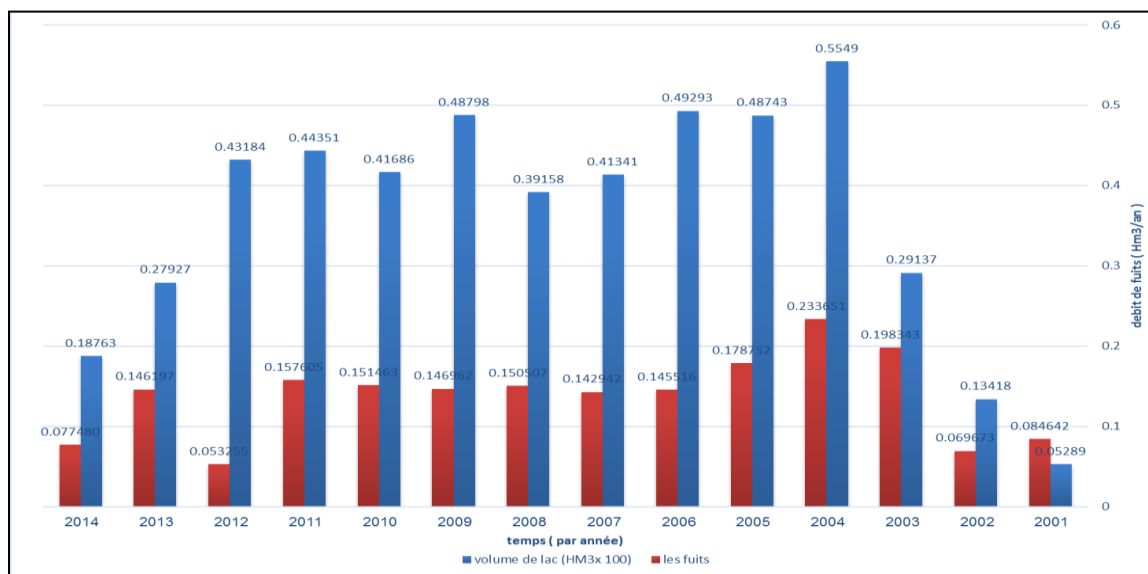


Fig V.22 : Variation du débit des fuites et niveau de lac en fonction de temps

- D'après ce graphe le remplissage du barrage dans le temps subit pour toute la période d'observation un volume des fuites significatif, et qui ne dépasse pas la moitié du volume de remplissage pour presque tout les années observent.

- Le débit de fuite est fortement corrélé avec la cote de retenue, comme le montre le graphique. Il n'est pas noté d'évolution irréversible de ce débit.

Un pourcentage peut être établi entre la volume de la retenue normale (V.R.N) et le volume des fuites (V.F) et de connaître la proportion de fuites. (ANBT)

Tableau V.2 : pourcentage entre V.F et V.R.N

Année	V.R.N(Hm ³)	V. F (Hm ³)	Pourcentage (V.F/V.R.N)*100
2001	5.289	0.084642	1.60%
2002	13.418	0.069673	0.52%
2003	29.137	0.198343	0.68%
2004	55.49	0.233651	0.42%
2005	48.743	0.178752	0.37%
2006	49.293	0.145516	0.30%
2007	41.341	0.142942	0.35%
2008	39.158	0.150507	0.38%
2009	48.798	0.146962	0.30%
2010	41.686	0.151463	0.36%
2011	44.351	0.157605	0.36%
2012	43.184	0.053255	0.12%
2013	27.927	0.146197	0.52%
2014	18.763	0.077480	0.41%

- L'année 2001, il n'est pas pris en compte, ce qui est à cause du barrage a commencé à remplir et entrer dans la phase de l'essai.

- Et ne vont pas dans l'année 2012, les fuites représentent ce manque de débit de fuite de Janvier à Mars de la même année.

- De 2001 à 2005 jusqu'à ce que le barrage est considéré dans le cas de remplissage. Ce barrage en terre (de saturation du noyau et l'amont). Le pourcentage stable (allant 0,30 à 0,38) de l'année 2005 après le lac est plein jusqu'en 2011. Mais le pourcentage a augmenté légèrement de l'année 2013 (0.52%) avec le niveau du lac est faible (environ 28 Hm³).

V.5. Répartition des niveaux des eaux d'infiltration :

Dans le but d'observer l'influence de la variation de la cote du lac sur la répartition des sous pressions dans le massif rocheux, nous traçons les lignes piézométriques reliant les cotes des piézomètres pour les différentes cotes du lac.

Une répartition des niveaux des eaux d'infiltration est faite suivant trois coupes transversales. Ces trois coupes représentent la trajectoire des eaux d'infiltration pour tout le réseau des piézomètres, selon les 3 profils indiqués au-dessus.

L'écoulement des eaux d'infiltration dans le site du barrage se fait de l'amont vers l'aval de la digue du barrage, pour tous les piézomètres.

Fig V.24 : Répartition des niveaux des eaux d'infiltration suivant la coupe en travers : Section principale 1.

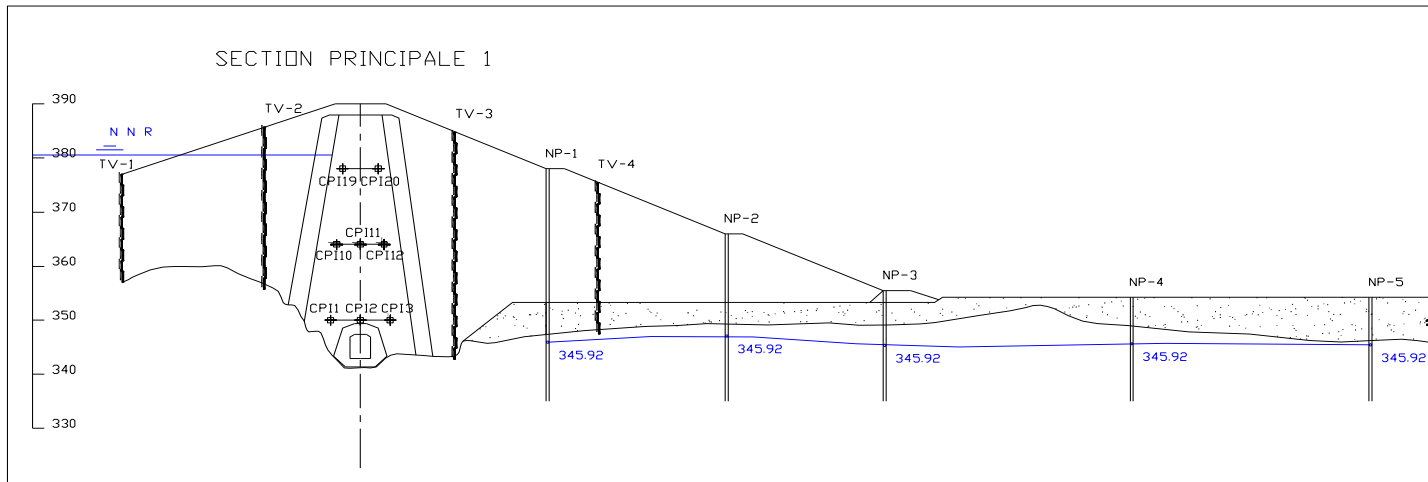


Fig V.25 : Répartition des niveaux des eaux d'infiltration suivant la coupe en travers : Section principale 2.

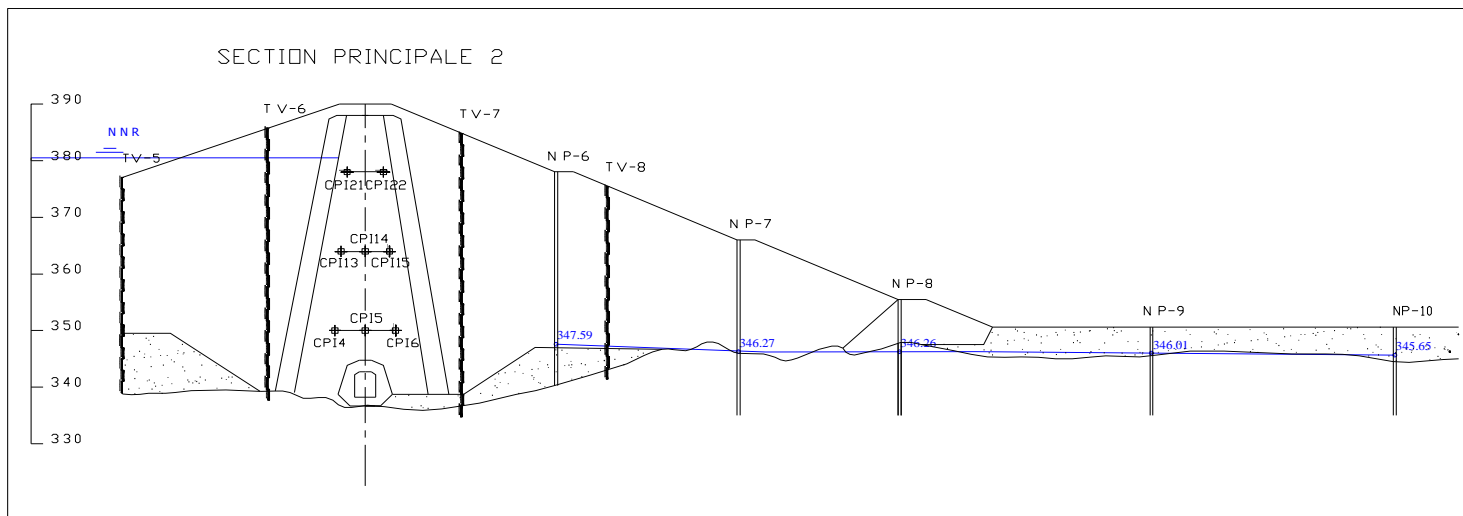
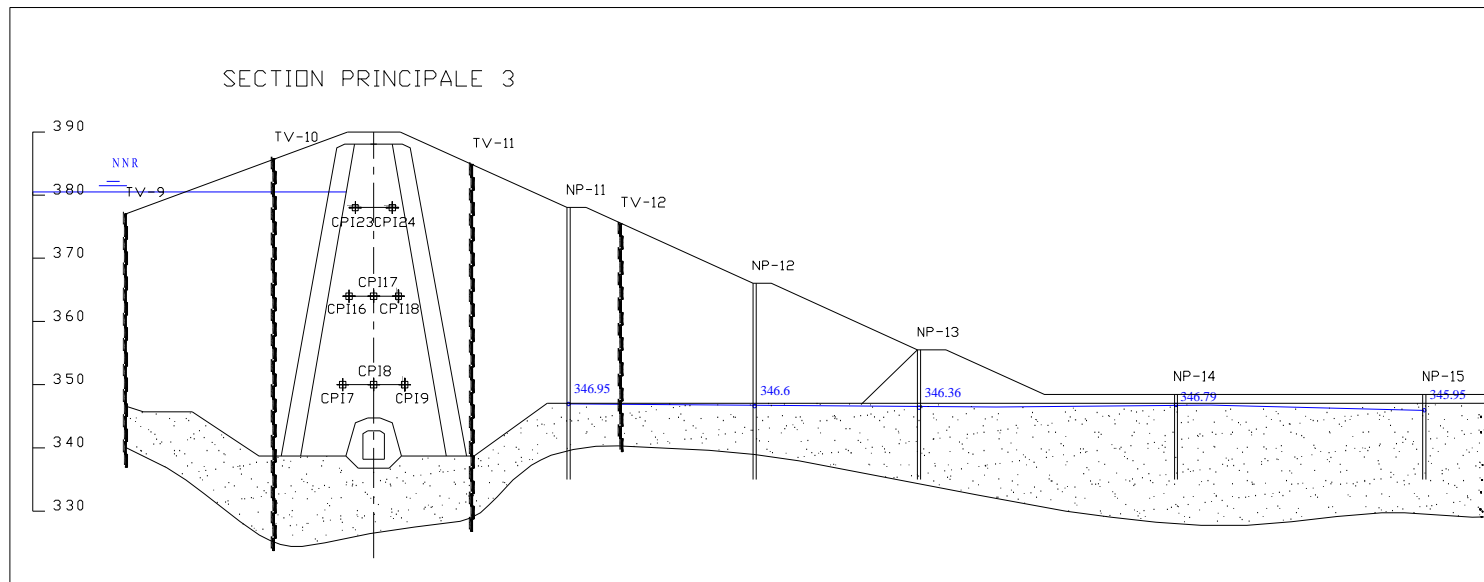


Fig V.26 : Niveaux des eaux d'infiltration sur les piézomètres NP-11 ; NP-12 ; NP-13 ; NP-14 ; NP-15. Coupe en travers : Section principale 3.



Conclusion :

Les fuites d'eau dans les retenues de barrages présentent un problème épineux. En effet, l'étude de ce genre de problèmes par le biais des méthodes conventionnelles est très souvent inadéquate. Le traitement efficace de ce problème réside dans la détermination avec précision des endroits de circulation d'eau.

Dans ce chapitre, les résultats obtenus montrent qu'il y a une très bonne corrélation entre les différents paramètres hydrauliques. Les piézomètres ont un comportement qui est une stabilité de la pente dans le temps ceci veut dire que le massif rocheux au niveau de cette zone a subi une certaine détérioration, et une dépendance entre le niveau piézométrique et la cote du lac cela veut dire que le piézomètre capte les eaux de la retenue.

Conclusion Générale

L'étude du problème des fuites d'eau au niveau des barrages s'avère d'une grande importance, vu les risques qui peuvent être engendrés sur la stabilité des barrages, mais aussi sur les pertes en eau, qui sont d'une importance primordiale pour les zones là où cette ressource se fait rare, à l'instar des zones arides particulièrement en Algérie. Ces différents facteurs, nous ont incités, à étudier d'une manière approfondie ce problème de fuites d'eau, l'étude bibliographique a mis en évidence ce problème crucial, concernant l'Algérie, la majorité des barrages sont exposés à cet épineux problème.

Dans le souci de décortiquer ce problème au niveau de barrage fontaine des gazelles une étude piézométrique au niveau de cette infrastructure hydraulique nous permet de mettre en évidence l'existence d'une relation très prononcée entre la retenue et les différents piézomètres. Ceci dit, nous pouvons avancer que nous sommes en présence de chenaux d'écoulement continu dans lequel l'eau va s'écouler de l'amont vers l'aval. Et enfin, l'étude des débits des fuites et leurs variations en fonction du temps et fonction de la cote du lac, nous a permis de dire que le débit des fuites subit une variation dans le temps avec des valeurs significatives. Le débit de fuite est fortement corrélé avec la cote de retenue.

Recommandations

De la présente contribution sur le problème des infiltrations des eaux au niveau des barrages algériens, nous pouvons tirer les recommandations suivantes:

- 1- Les pertes d'eau enregistrées sont dues aux sites d'implantations qui sont favorables aux fuites et défavorables au stockage, vu le manque des sites appropriés, d'une part et d'autre part au choix même du type du barrage. En effet, le type de barrage doit être choisi en tenant compte le débit des fuites probables et leur variation au cours du temps. En effet, on peut calculer le débit des fuites, en utilisant la technique des traceurs ou la simulation numérique.
- 2- Le problème des infiltrations d'eau, doit être pris en compte dans les études des ouvrages hydrauliques.
- 3- L'étude du problème d'infiltration d'eau au niveau des barrages algériens fortement exposés, cas par cas pour porter des remèdes.
 - 4- Mettre en exergue le phénomène de fuites et ses répercussions sur le barrage constitue une étape primaire et primordiale dans le but de remédier au problème de fuites d'eau.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- Amir A. KHAN, V. V. (2005). *Séparation de sources thermométriques pour la détection des fuites dans des digues en terre*. France: Électricité de France (EDF), Centre de Recherche en STIC (CReSTIC),.
- ANBT. (2004). *LEVES BATHYMETRIQUES DES BARRAGES EN EXPLOITATION*. Fontaine des Gazelles: ANBT.
- ANBT. (2017). document de barrage. *document de barrage*. fontaine des gazelles, biskra, algerie: direction de barrage fontaine des gazelles.
- Armelle, L. (2010). *Détection de fuite dans les barrages en remblai par la méthode de polarisation spontanée et par tomographie électrique : Cas de la jonction de deux barrages en remblai*. Montréal: Ecole polytechnique de Montréal.
- BENMEBAREK FEMMAM, H. &. (2011, mars 11). EFFETS DES DRAINS SUR LA STABILITE DES BARRAGES EN TERRE. *Courrier du Savoir*, pp. 09-15.
- BENYAMINA, L. C. (2015). *ECOULEMENT DANS LES MILIEUX POREUX EN REGIME TRANSITOIRE*. TLEMCEN: UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID, TLEMCEN.
- BLAIS, J. P. (2009). *Surveillance et Detection des Anomalies Diagnostic d'une digue rappel méthodologique issu de l'expérience d'EDF*. France: Journée Technique sur l'Érosion - CFMS– CNAM.
- Boualem, R., & Ouahab, T. (2004, Juin 03). BARRAGE DE FOUM EL GHERZA FACE AU PROBLEME DE FUITES D'EAU. *Larhyss Journal*, pp. 26-35.
- BOUDJEMA, A. (2015). *Hydrogéologie, vulnérabilité et modélisation de la nappe du Mio-Pliocène d'El Outaya, (Biskra, Sud-Est algérien)*. TLEMCEN: UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID TLEMCEN.
- Bourgeat, A. (2004). *LOIS DE FILTRATION EN MILIEUX POREUX - formulation mathématique* -. lyon: Ecole d'automne MoMaS, Chambéry.
- BRINIS. (2011). *CARACTERISATION DE LA SALINITE D'UN COMPLEXE AQUIFERE EN ZONE ARIDE CAS DE L'AQUIFERE D'EL-OUTAYA REGION NORD-OUEST DE BISKRA. ALGERIE*. Biskra: Université Mohamed Kheider – Biskra.

Références bibliographiques

- CHEBBAH, M. (2007). *Lithostratigraphie, Sédimentologie et Modèles de Bassins des dépôts néogènes de la région de Biskra, de part et d'autre de l'Accident Sud Atlasique (Zibans, Algérie)*. CONSTANTINE: UNIVERSITE MENTOURI .
- CUNAT, P. (2006). *Détection et évaluation des fuites à travers les ouvrages hydrauliques en remblai, par analyse de températures réparties, mesurées par fibre optique*. france: UNIVERSITÉ DE GRENOBLE.
- DESODT, C., & MOLINARO, H. H. (2016). *Phénomènes de boulangerie et d'érosion régressive (renard hydraulique) dans les barrages*. paris: universite paris saclay.
- HAMONI, M. A. (2013). *Détection des fuites d'eau dans les barrages en terre par polarisation spontanée : détermination expérimentale du potentiel zêta et du coefficient de couplage*. Québec Canada: Sherbrooke (Québec) Canada.
- Hassen, B., & Boualem, R. (2008). *Les fuites d'eau à travers le barrage algérien d'Ouizert*. algerie: John Libbey Eurotext.
- Musy, P. A. (2005). <http://echo2.epfl.ch/e-drologie/>. Récupéré sur <http://echo2.epfl.ch: http://echo2.epfl.ch/e-drologie/chapitres/chapitre1/main.html>
- Naudet, V. (2004). *Les methodes de resistivite électrique et de potentiel spontané appliquées aux sites contaminés*. France: Université de Droit, d'Économie et des Sciences d'Aix-Marseille III.
- Patrice Mériaux, C. F. (2004). *Méthodes géophysiques et géotechniques pour le diagnostic de protection contre les inondations Dignes*. canada: ediction Que.
- Rechachi, M. (2010). *thesis.univ-biskra.dz/.../Chap%201%20%20Cadre%20géographique%20et%20climati...*
Récupéré sur thesis.univ-biskra.dz.
- Sari, S. (2013). *Détection des fuites d'eau dans le barrage de Joumine et étude de la sédimentation dans le barrage de Ghezela par la méthode nucléaire*. Jendouba TUNISIE: Ecole Supérieure des Ingénieurs de l'Équipement Rural de Medjez el Bab Université de Jendouba REPUBLIQUE TUNISIENNE.

ANNEXEX

Annexes

	Cote de plan d'eau	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
	2000	362.30	345.50	344.81	345.91	344.67	344.62	347.16	344.73	344.51	344.40	344.39				
362.30		345.53	344.75	346.00	344.57	344.50	347.06	344.64	344.41	344.28	344.25					
362.30		345.37	344.67	346.03	344.57	344.39	346.93	344.46	344.45	344.26	344.14					
362.30		345.56	344.78	346.03	344.54	344.42	346.79	344.72	344.51	344.36	344.24					
362.30		345.76	344.91	346.04	344.65	344.48	346.70	344.82	344.56	344.43	344.33					
365.39		345.88	345.04	346.14	344.77	344.60	346.66	344.93	344.61	344.52	344.46					
365.39		346.00	345.10	346.17	344.83	344.65	346.66	344.98	344.62	344.56	344.50					
364.54		345.99	345.12	344.80	344.85	344.69	346.65	345.00	344.63	344.57	344.56					

Annexes A1: la cote piézomètre et la cote de retenue de barrage à l'an 2000

	Cote de plan d'eau	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
	2001	366.20	346.04	345.22	344.89	344.95	344.78	346.64	345.09	344.66	344.63	344.64	0.00	0.00	0.00	0.00
366.18		346.04	345.22	344.89	344.96	344.78	346.64	345.09	344.66	344.66	344.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
366.17		346.03	345.20	344.86	344.93	344.75	346.64	345.06	344.66	344.65	344.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
366.05		346.05	345.23	344.86	344.93	344.74	346.65	345.09	344.67	344.67	344.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
366.45		346.09	345.22	344.85	344.92	344.73	346.65	345.09	344.67	344.66	344.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
366.32		346.07	345.21	344.84	344.91	344.72	346.66	345.08	344.66	344.64	344.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
366.18		346.03	345.13	344.81	344.86	344.69	346.66	345.00	344.63	344.60	344.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
365.94		345.98	345.10	344.76	344.83	344.67	346.65	344.98	344.62	344.56	344.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
370.41		346.20	345.52	345.12	345.24	345.00	346.67	345.40	344.86	344.88	344.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
370.32		346.34	345.59	345.15	345.29	345.05	347.01	345.46	344.91	344.92	344.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
370.39		346.33	345.60	345.16	345.31	345.06	347.02	345.48	344.91	344.92	344.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
370.33		346.33	345.59	345.14	345.30	345.05	347.02	345.47	344.90	344.89	344.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Annexes A2: la cote piézomètre et la cote de retenue de barrage à l'an 2001

	Cote de plan d'eau	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
	2002	370.31	346.31	345.55	345.09	345.26	345.03	347.01	345.42	344.87	344.85	344.91	0.00	0.00	0.00	0
370.30		346.31	345.53	345.06	345.23	345.01	347.01	345.39	344.86	344.85	344.91	0.00	0.00	0.00	0	0
370.16		346.37	345.46	344.95	345.17	344.89	347.02	345.29	344.80	344.77	344.81	0.00	0.00	0.00	0	0
370.12		346.30	345.44	344.93	345.15	344.93	346.84	345.28	344.79	344.80	344.82	0.00	0.00	0.00	0	0
370.00		346.25	345.42	344.95	345.12	344.90	346.98	345.22	344.78	344.75	344.78	0.00	0.00	0.00	0	0
369.77		346.21	345.37	344.89	345.07	344.84	346.97	345.19	344.72	344.73	344.72	0.00	0.00	0.00	0	0
369.67		346.21	345.32	344.84	345.02	344.79	346.95	345.15	344.70	344.69	344.68	0.00	0.00	0.00	0	0
371.95		346.21	345.32	344.86	345.04	344.78	346.82	345.15	344.71	344.67	344.25	0.00	0.00	0.00	0	0
372.25		346.37	345.46	344.96	345.17	344.90	346.97	345.29	344.80	344.78	344.81	0.00	0.00	0.00	0	0
375.99		346.51	345.89	345.38	345.55	345.31	347.02	345.69	345.14	345.25	345.19	0.00	0.00	0.00	0	0
376.46		347.02	346.45	345.66	345.85	346.44	347.93	346.21	345.77	345.56	345.54	0.00	0.00	0.00	0	0
376.48		347.03	346.61	345.76	345.93	345.57	348.01	346.27	345.83	345.72	345.63	0.00	0.00	0.00	0	0

Annexes A3: la cote piézomètre et la cote de retenue de barrage à l'an 2002

	Cote de plan d'eau	Annexes A3: la cote piézomètre et la cote de retenue de barrage à l'an 2003														
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
2003	378.19	347.44	347.11	346.16	346.47	346.00	348.27	346.74	346.40	346.27	346.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	377.70	347.27	346.95	346.05	346.37	345.96	348.21	346.63	346.26	346.15	346.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	376.99	346.89	346.43	345.70	345.93	345.64	347.87	345.97	345.67	345.65	345.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	378.56	347.11	346.70	345.78	346.03	345.66	348.04	346.33	345.80	345.72	345.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	378.40	347.36	346.92	345.91	346.22	345.81	348.23	346.53	346.08	346.05	345.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	378.25	347.36	347.04	346.00	346.32	345.89	348.24	346.60	346.19	346.06	345.91	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	378.20	347.35	347.04	346.03	346.33	345.91	348.24	346.62	346.20	346.05	345.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	378.27	347.21	347.04	346.03	346.32	345.94	348.23	346.59	346.24	346.08	345.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	378.52	347.21	347.03	346.04	346.32	345.93	348.24	346.58	346.23	345.92	345.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	382.68	347.68	347.49	346.14	346.51	345.97	348.55	346.95	346.63	346.56	346.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	382.38	347.87	347.63	346.18	346.62	346.00	348.68	347.03	346.78	346.63	346.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	382.60	347.86	347.60	346.08	346.47	345.93	348.66	346.95	346.79	346.66	346.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Annexes A4: la cote piézomètre et la cote de retenue de barrage à l'an 2003

	Cote de plan d'eau	Annexes A4: la cote piézomètre et la cote de retenue de barrage à l'an 2004														
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
2004	382.53	347.82	347.58	346.08	346.47	345.93	348.66	346.94	346.80	346.66	346.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	382.59	347.84	347.60	346.10	346.46	345.92	348.66	346.95	346.80	346.66	346.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	383.35	347.93	347.68	346.10	346.53	346.01	348.81	347.04	346.83	346.68	346.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	383.47	348.06	347.75	346.06	346.52	345.94	348.88	347.06	346.84	346.68	346.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	384.00	348.06	347.76	345.91	346.36	346.08	348.93	347.02	346.86	346.71	346.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	384.00	348.05	347.73	345.93	346.41	345.87	348.91	347.06	346.85	346.68	346.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	384.00	348.01	347.70	345.72	346.32	345.70	348.88	347.02	346.82	346.63	346.09	348.85	347.09	0.00	0.00	0.00
	383.68	347.92	347.65	345.72	346.29	345.66	348.87	346.98	346.82	346.61	346.07	348.86	347.11	0.00	0.00	0.00
	383.88	347.90	347.64	345.93	346.25	345.68	348.89	346.99	346.84	346.62	346.10	348.89	347.12	0.00	0.00	0.00
	383.72	347.90	347.61	345.82	346.30	345.66	348.88	346.98	346.84	346.62	346.07	348.87	347.10	0.00	0.00	0.00
	384.00	347.88	347.61	347.06	346.28	345.66	348.89	346.97	346.83	346.61	346.07	348.86	347.11	0.00	0.00	0.00
	384.00	347.87	347.61	348.15	346.38	345.84	348.90	347.00	346.84	346.64	346.07	348.87	347.15	0.00	0.00	0.00

Annexes A5: la cote piézomètre et la cote de retenue de barrage à l'an 2004

	Cote de plan d'eau	Annexes A5: la cote piézomètre et la cote de retenue de barrage à l'an 2005														
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
2005	384.00	347.87	347.60	347.86	346.32	345.86	348.90	346.99	346.84	346.64	346.17	348.89	347.16	0.00	0.00	0.00
	384.00	347.82	347.57	348.41	346.30	345.75	348.90	346.96	346.83	346.62	346.11	348.86	347.12	0.00	0.00	0.00
	384.00	347.85	347.59	345.89	346.37	345.88	348.91	347.01	346.87	346.66	346.19	348.88	347.14	0.00	0.00	0.00
	384.00	347.85	347.55	345.66	346.20	345.68	347.88	346.96	346.89	346.57	346.13	347.63	346.66	0.00	0.00	0.00
	384.00	347.90	347.60	345.68	346.24	345.68	347.94	347.01	346.94	346.62	346.17	347.68	346.72	0.00	0.00	0.00
	383.47	347.84	347.56	345.67	346.24	345.68	347.90	346.98	346.85	346.59	346.03	347.62	346.65	0.00	0.00	0.00
	383.43	347.82	347.55	345.66	346.22	345.67	347.88	346.97	346.90	346.56	346.09	347.60	346.63	0.00	0.00	0.00
	383.13	347.77	347.51	345.64	346.19	345.66	347.84	346.92	346.82	346.53	345.98	347.56	346.57	0.00	0.00	0.00
	382.94	347.72	347.44	345.63	346.18	345.66	347.82	346.90	346.81	346.52	345.98	347.55	346.57	0.00	0.00	0.00
	382.85	347.68	347.45	345.62	346.17	345.65	347.81	346.89	346.80	346.52	345.99	347.52	346.54	0.00	0.00	0.00
	382.67	347.66	347.43	345.61	346.16	345.64	347.81	346.86	346.81	346.52	345.98	347.54	346.56	0.00	0.00	0.00
	382.64	347.67	347.44	345.59	346.17	346.64	347.81	346.86	346.81	346.52	345.98	347.54	346.56	0.00	0.00	0.00

Annexes A6: la cote piézomètre et la cote de retenue de barrage à l'an 2005

	Cote de plan d'eau	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
		2006	382.64	347.60	347.38	345.59	346.15	345.65	347.79	346.84	346.80	346.52	345.98	347.49	346.51	0.00
	382.82	347.60	347.38	345.59	346.16	345.65	347.80	346.84	346.80	346.50	345.96	347.52	346.50	0.00	0.00	0.00
	383.03	347.64	347.40	345.59	346.15	345.66	347.83	346.87	346.80	346.50	345.98	347.50	346.51	0.00	0.00	0.00
	384.00	347.76	347.50	345.68	346.24	345.79	347.93	346.88	346.88	346.62	346.12	347.64	347.09	0.00	0.00	0.00
	384.00	347.85	347.52	345.62	346.23	345.82	347.98	347.00	346.89	346.69	346.24	347.70	347.19	0.00	0.00	0.00
	383.83	346.75	348.10	345.43	346.05	345.50	347.88	346.88	346.80	346.50	345.91	347.53	346.98	0.00	0.00	0.00
	383.59	346.70	348.02	345.38	345.96	345.46	347.81	346.78	346.67	346.37	345.80	347.44	346.88	0.00	0.00	0.00
	383.21	346.62	347.96	345.37	345.87	345.44	347.77	346.73	346.60	346.31	345.78	347.39	346.82	0.00	0.00	0.00
	383.96	346.64	348.00	345.44	346.04	345.54	347.85	346.85	346.80	346.54	345.97	347.53	347.01	0.00	0.00	0.00
	383.78	346.67	348.01	345.39	345.97	345.47	347.84	346.80	346.71	346.43	345.84	347.46	346.91	0.00	0.00	0.00
	383.59	346.62	347.96	345.39	345.95	345.46	347.81	346.76	346.68	346.38	345.83	347.43	346.87	0.00	0.00	0.00
	383.53	346.58	347.93	345.38	345.94	345.47	347.81	346.75	346.67	346.38	345.82	347.43	346.87	0.00	0.00	0.00

Annexes A7: la cote piézomètre et la cote de retenue de barrage à l'an 2006

	Cote de plan d'eau	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
		2007	383.53	346.56	347.90	345.37	345.92	345.47	347.79	346.72	346.64	346.34	345.79	347.40	346.83	0.00
	383.37	346.51	347.85	345.36	345.91	345.46	347.77	346.71	346.62	346.32	345.79	347.39	346.84	0.00	0.00	0.00
	383.26	346.48	347.78	345.35	345.75	345.44	347.75	346.63	346.57	346.31	345.76	347.34	346.80	0.00	0.00	0.00
	383.15	346.45	347.77	345.35	345.74	345.44	347.75	346.63	346.55	346.28	345.76	347.34	346.78	0.00	0.00	0.00
	383.14	346.45	347.75	345.35	345.73	345.45	347.74	346.62	346.53	346.27	345.74	347.33	346.77	0.00	0.00	0.00
	382.80	346.44	347.73	345.34	345.72	345.43	347.71	346.59	346.50	346.20	345.72	347.30	346.74	0.00	0.00	0.00
	382.30	346.34	347.65	345.33	345.69	345.40	347.66	346.52	346.40	346.14	345.68	347.23	346.70	0.00	0.00	0.00
	381.91	346.28	347.58	345.32	345.69	345.40	347.63	346.46	346.33	346.09	345.66	347.19	346.66	0.00	0.00	0.00
	381.61	346.23	347.53	345.34	345.70	345.41	347.60	346.44	346.43	346.10	345.67	347.17	346.65	0.00	0.00	0.00
	381.58	346.26	347.53	345.34	345.68	345.40	347.61	346.45	346.33	346.10	345.67	347.17	346.64	0.00	0.00	0.00
	381.59	346.24	347.53	345.33	345.67	345.39	347.60	346.44	346.34	346.10	345.67	347.17	346.65	0.00	0.00	0.00
	381.42	346.23	347.48	345.33	345.67	345.39	347.61	346.44	346.35	346.11	345.68	347.20	346.66	0.00	0.00	0.00

Annexes A8: la cote piézomètre et la cote de retenue de barrage à l'an 2007

	Cote de plan d'eau	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
		2008	381.26	346.20	347.46	345.32	345.66	345.38	347.59	346.43	346.34	346.10	345.67	347.18	346.65	0.00
	381.10	346.17	347.43	345.32	345.65	345.38	347.58	346.40	346.31	346.07	345.64	347.15	346.63	0.00	0.00	0.00
	380.89	346.17	347.36	345.31	345.64	345.38	347.57	346.37	346.28	346.04	345.63	347.14	346.62	0.00	0.00	0.00
	380.58	346.15	347.29	345.29	345.62	345.37	347.53	346.32	346.22	345.98	345.61	347.10	346.59	0.00	0.00	0.00
	380.46	346.03	347.26	345.29	345.62	345.37	347.53	346.30	346.19	345.96	345.59	347.09	346.58	0.00	0.00	0.00
	380.47	346.02	347.25	345.28	345.62	345.36	347.52	346.30	346.18	345.96	345.59	347.09	346.59	0.00	0.00	0.00
	381.25	346.00	347.20	345.31	345.63	345.35	347.52	346.29	346.15	345.90	345.57	347.07	346.60	0.00	0.00	0.00
	381.06	346.18	347.41	345.33	345.70	345.39	347.62	346.41	346.28	346.02	345.65	347.17	346.60	0.00	0.00	0.00
	380.95	346.16	347.40	345.33	345.68	345.40	347.59	346.38	346.28	346.04	345.65	347.13	346.63	0.00	0.00	0.00
	381.71	346.24	347.50	345.35	345.73	345.45	347.66	346.47	346.44	346.20	345.73	347.20	346.71	0.00	0.00	0.00
	382.37	346.29	347.56	345.37	345.76	345.47	347.69	346.52	346.52	346.29	345.79	347.26	346.71	0.00	0.00	0.00
	382.58	346.34	347.61	345.36	345.80	345.51	347.75	346.57	346.58	346.34	345.82	347.31	346.80	0.00	0.00	0.00

Annexes A9: la cote piézomètre et la cote de retenue de barrage à l'an 2008

	Cote de plan d'eau	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
		2009	383.38	346.45	347.75	345.41	345.99	345.53	347.89	346.71	346.75	346.49	345.91	347.48	346.97	0.00
384.00	346.53		347.85	345.71	346.11	345.70	347.96	346.80	346.81	346.56	346.03	347.57	347.09	0.00	0.00	0.00
384.10	346.59		347.97	346.40	346.51	345.84	347.96	346.97	346.87	346.61	346.24	347.61	347.13	0.00	0.00	0.00
384.08	346.65		348.03	346.32	346.50	346.17	348.04	347.01	346.89	346.68	346.34	347.69	347.22	0.00	0.00	0.00
384.04	346.58		347.90	345.67	346.11	345.67	347.98	346.84	346.81	346.54	346.00	347.57	347.08	0.00	0.00	0.00
383.99	346.56		347.85	345.41	345.99	345.52	347.91	346.76	346.71	346.40	345.85	347.45	346.93	0.00	0.00	0.00
383.69	346.51		347.79	345.40	345.96	345.49	347.87	346.72	346.66	346.36	345.82	347.41	346.90	0.00	0.00	0.00
383.16	346.43		347.67	345.38	345.85	345.47	347.79	346.62	346.54	346.30	345.77	347.33	346.82	0.00	0.00	0.00

Annexes A10: la cote piézomètre et la cote de retenue de barrage à l'an 2009

	Cote de plan d'eau	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
		2010	382.76	346.22	347.48	345.38	345.75	345.47	347.71	346.51	346.51	346.24	345.77	347.19	346.76	346.51
382.73	346.20		347.46	345.37	345.75	345.48	347.74	346.51	346.52	346.27	345.78	347.20	346.76	346.52	346.93	346.09
383.18	346.33		347.59	345.39	345.94	345.51	347.85	346.64	346.71	346.44	345.89	347.40	346.94	346.72	347.15	346.39
382.79	346.26		347.51	345.40	345.91	345.49	347.78	346.57	346.61	346.34	345.80	347.31	346.83	346.60	346.99	346.20
382.33	346.17		347.40	345.35	345.71	345.46	347.69	346.44	346.41	346.14	345.71	347.13	346.70	346.45	346.87	346.01
381.97	346.12		347.34	345.34	345.69	345.44	347.65	346.39	346.35	346.08	345.68	347.09	346.66	346.41	346.83	345.97
382.21	346.14		347.36	345.36	345.72	345.45	347.68	346.42	346.40	346.13	345.71	347.10	346.69	346.45	346.86	346.02
381.82	346.11		347.33	345.35	345.70	345.44	347.65	346.39	346.35	346.09	345.69	347.07	346.67	346.42	346.84	345.98
381.51	346.03		347.23	345.34	345.68	345.44	347.64	346.36	346.35	346.09	345.69	347.03	346.65	346.39	346.83	345.98
381.36	345.99		347.21	345.34	345.67	345.43	347.62	346.34	346.34	346.10	345.68	347.04	346.66	346.41	346.83	345.98
381.19	345.97		347.17	345.34	345.66	345.44	347.61	346.32	346.34	346.09	345.69	347.00	346.63	346.39	346.81	345.97
381.05	345.96		347.14	345.33	345.65	345.44	347.60	346.31	346.32	346.07	345.67	346.99	346.62	346.38	346.81	345.97

Annexes A11: la cote piézomètre et la cote de retenue de barrage à l'an 2010

	Cote de plan d'eau	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
		2011	380.64	345.92	347.08	345.33	345.63	345.43	347.66	346.28	346.31	346.05	345.67	346.99	346.61	346.37
380.45	345.90		347.04	345.32	345.62	345.42	347.63	346.26	346.28	346.02	345.65	346.98	346.59	346.36	346.78	345.95
381.51	346.08		347.30	345.35	345.66	345.47	347.69	346.40	346.45	346.18	345.73	347.10	346.70	346.46	346.88	346.05
382.15	346.20		347.44	345.38	345.69	345.52	347.78	346.51	346.47	346.31	345.82	347.20	346.81	346.56	346.99	346.13
382.87	346.38		347.59	345.39	345.75	345.54	347.90	346.62	346.56	346.37	345.84	347.33	346.92	346.66	347.07	346.18
383.00	346.42		347.63	345.39	345.91	345.53	347.90	346.63	346.64	346.34	345.83	347.30	346.90	346.64	347.05	346.15
382.74	346.37		347.58	345.37	345.90	345.50	347.82	346.56	346.54	346.25	345.77	347.20	346.82	346.56	346.97	346.08
382.24	346.26		347.48	345.37	345.75	345.49	347.76	346.49	346.48	346.19	345.76	347.14	346.77	346.52	346.94	346.06
381.93	346.21		347.51	345.38	345.73	345.47	347.71	346.48	346.41	346.13	345.71	347.13	346.76	346.45	346.89	346.05
381.94	346.12		347.33	345.36	345.70	345.47	347.73	346.58	346.42	346.15	345.72	347.09	346.71	346.47	346.89	346.03
383.24	346.30		347.55	345.39	345.68	345.53	347.83	346.60	346.66	346.37	345.85	347.29	346.91	346.65	347.07	346.20
383.22	346.34		347.56	345.39	345.92	345.53	347.85	346.61	346.66	346.36	345.85	347.29	346.90	346.65	347.07	346.20

Annexes A12: la cote piézomètre et la cote de retenue de barrage à l'an 2011

	Cote de plan d'eau	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
		2012	382.98	346.31	347.54	345.39	345.88	345.52	347.82	346.58	346.62	346.32	345.82	347.24	346.86	346.60
	382.60	346.33	347.57	345.41	345.86	345.54	347.87	346.65	346.74	346.45	345.91	347.38	346.98	346.74	347.17	346.37
	382.29	346.26	347.48	345.39	345.89	345.52	347.77	346.53	346.57	346.27	345.79	347.19	346.81	346.56	346.98	346.11
	382.51	346.25	347.45	345.38	345.76	345.50	347.78	346.51	346.52	346.24	345.78	347.16	346.78	346.52	346.95	346.20
	382.41	346.24	347.45	345.37	345.73	345.49	347.76	346.48	346.48	346.18	345.74	347.13	346.76	346.49	346.92	346.05
	382.08	346.19	347.38	345.36	345.71	345.47	347.72	346.44	346.42	346.13	345.72	347.09	346.72	346.48	346.90	346.03
	381.70	346.13	347.32	345.33	345.67	345.45	347.68	346.39	346.34	346.06	345.68	347.03	346.67	346.42	346.84	345.97
	381.15	346.08	347.22	345.32	345.65	345.44	347.63	346.34	346.30	346.04	345.67	347.00	346.66	346.39	346.81	345.96
	380.80	346.01	347.15	345.31	345.60	345.41	347.58	346.31	346.25	346.03	345.64	346.99	346.66	346.36	346.78	345.92
	380.45	345.95	347.05	345.31	345.59	345.39	347.58	346.26	346.25	346.00	345.63	346.95	346.60	346.35	346.77	345.92
	380.57	345.92	347.06	345.33	345.62	345.43	347.59	346.27	346.26	346.01	345.65	346.95	346.60	346.36	346.79	345.95
	380.83	345.99	347.18	345.34	345.65	345.46	347.63	346.32	346.38	346.11	345.71	347.00	346.67	346.42	346.86	346.03

Annexes A13: la cote piézomètre et la cote de retenue de barrage à l'an 2012

	Cote de plan d'eau	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
		2013	380.22	345.91	347.07	345.34	345.64	345.46	347.61	346.30	346.37	346.11	345.70	346.99	346.65	346.42
	379.97	345.86	346.97	345.32	345.60	345.44	347.55	346.23	346.25	345.99	345.64	346.92	346.58	346.34	346.77	345.95
	380.08	345.86	346.96	345.33	345.61	345.45	347.56	346.23	346.25	345.99	345.65	346.93	346.58	346.35	346.77	345.95
	379.85	345.86	346.95	345.33	345.61	345.45	347.57	346.23	346.24	345.92	345.65	346.92	346.58	346.34	346.77	345.95
	379.76	345.85	346.94	345.32	345.60	345.43	347.56	346.22	346.22	345.89	345.64	346.91	346.58	346.34	346.77	345.94
	379.35	345.82	346.90	345.31	345.58	345.42	347.53	346.18	346.16	345.83	345.59	346.88	346.54	346.29	346.73	345.90
	379.04	345.78	346.86	345.30	345.56	345.40	347.50	346.14	346.10	345.76	345.56	346.85	346.49	346.25	346.68	345.85
	378.68	345.75	346.83	345.30	345.55	345.40	347.47	346.12	346.07	345.73	345.55	346.82	346.47	346.24	346.66	345.84
	378.80	345.80	346.86	345.32	345.58	345.42	347.51	346.17	346.16	345.83	345.60	346.87	346.52	346.29	346.73	345.92
	378.79	345.79	346.86	345.32	345.59	345.43	347.49	346.16	346.14	345.81	345.60	346.88	346.51	346.28	346.70	345.91
	378.62	345.79	346.87	345.33	345.59	345.45	347.49	346.16	346.15	345.82	345.60	346.90	346.53	346.28	346.72	345.92
	378.28	345.77	346.84	345.33	345.58	345.44	347.48	346.15	346.14	345.81	345.60	346.88	346.51	346.28	346.70	345.91

Annexes A14: la cote piézomètre et la cote de retenue de barrage à l'an 2013

	Cote de plan d'eau	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
		2014	378.08	344.77	346.84	345.33	345.58	345.44	347.48	346.15	346.14	345.81	345.60	346.88	346.51	346.28
	377.93	345.75	346.82	345.31	345.57	345.44	347.46	346.14	346.13	345.81	345.58	346.86	346.50	346.26	346.69	345.89
	377.83	345.74	346.82	345.31	345.56	345.44	347.45	346.13	346.12	345.79	345.57	346.85	346.48	346.25	346.68	345.88
	377.70	345.73	346.81	345.30	345.55	345.43	347.45	346.12	346.11	345.78	345.57	346.84	346.47	346.24	346.67	345.87
	377.21	345.72	346.81	345.29	345.53	345.41	347.44	346.10	346.07	345.74	345.54	346.80	346.45	346.22	346.65	345.84
	377.08	345.71	346.79	345.29	345.54	345.40	347.42	346.09	346.01	345.66	345.51	346.77	346.43	346.19	346.62	345.81
	376.59	345.72	346.81	345.30	345.55	345.42	347.43	346.14	346.18	345.86	345.61	346.86	346.53	346.32	346.78	346.03
	376.05	345.70	346.79	345.29	345.53	345.41	347.41	346.11	346.12	345.78	345.59	346.83	346.51	346.28	346.73	345.98
	375.83	345.68	346.79	345.29	345.55	345.42	347.41	346.10	346.08	345.75	345.57	346.80	346.46	346.25	346.69	345.94
	375.51	345.67	346.78	345.29	345.54	345.41	347.40	346.09	346.08	345.74	345.57	346.79	346.45	346.24	346.68	345.93
	375.25	345.65	346.76	345.29	345.54	345.41	347.37	346.08	346.08	345.73	345.52	346.78	346.44	346.23	346.67	345.93
	375.12	345.64	346.76	345.29	345.53	345.41	347.36	346.07	346.06	345.72	345.56	346.77	346.43	346.22	346.66	345.92

Annexes A15: la cote piézomètre et la cote de retenue de barrage à l'an 2014

	Cote de plan d'eau	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
		2015	374.84	345.64	346.74	345.29	345.53	345.41	347.35	346.06	346.04	345.71	345.55	346.76	346.42	346.21
	374.68	345.64	346.74	345.29	345.53	345.41	347.35	346.06	346.02	345.70	345.55	346.76	346.41	346.19	346.64	345.91
	375.80	345.69	346.83	345.32	345.58	345.48	347.46	346.17	346.21	345.91	345.65	346.89	346.56	346.35	346.80	346.07
	375.84	345.68	346.80	345.31	345.56	345.44	347.45	346.12	346.12	345.80	345.59	346.83	346.50	346.27	346.72	345.97
	375.39	345.67	346.79	345.28	345.54	345.41	347.42	346.11	346.11	345.79	345.59	346.82	346.51	346.29	346.74	345.99
	375.59	345.66	346.79	345.27	345.53	345.41	347.41	346.10	346.08	345.76	345.57	346.80	346.48	346.26	346.71	345.96
	375.09	345.65	346.75	345.26	345.52	345.41	347.37	346.06	346.00	345.67	345.53	346.76	346.42	346.20	346.65	345.90
	375.22	345.66	346.78	345.29	345.54	345.42	347.40	346.10	346.11	345.79	345.60	346.74	346.50	346.28	346.74	346.03
	376.08	345.70	346.83	345.31	345.57	345.45	347.47	346.17	346.22	345.91	345.65	346.91	346.58	346.36	346.82	346.11
	376.77	345.75	346.87	345.22	345.59	345.47	347.50	346.20	346.25	345.93	345.67	346.94	346.61	346.39	346.84	346.12
	376.50	345.74	346.87	345.22	345.59	345.47	347.50	346.22	346.32	345.99	345.70	346.95	346.65	346.43	346.89	346.18
	376.23	345.72	346.85	345.31	345.59	345.47	347.48	346.20	346.29	345.98	345.68	346.93	346.62	346.40	346.86	346.15

Annexes A16: la cote piézomètre et la cote de retenue de barrage à l'an 2015

	Cote de plan d'eau	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
		2016	376.09	345.72	346.85	345.31	345.58	345.47	347.47	346.19	346.27	345.95	345.68	346.92	346.61	346.39
	375.89	345.71	346.85	345.31	345.59	345.47	347.47	346.19	346.28	345.97	345.69	346.93	346.63	346.40	346.86	346.16
	375.78	345.71	346.84	345.30	345.58	345.46	347.46	346.19	346.27	345.95	345.69	346.93	346.62	346.40	346.86	346.16
	380.04	346.06	347.16	345.39	345.86	345.58	347.79	346.48	346.68	346.33	345.88	347.26	346.93	346.70	347.16	346.44
	379.69	346.12	347.27	345.39	345.86	345.57	347.80	346.51	346.66	346.30	345.87	347.25	346.94	346.70	347.15	346.40
	379.37	346.07	347.22	345.38	345.77	345.55	347.76	346.47	346.59	346.24	345.84	347.20	346.89	346.66	347.10	346.35
	378.81	346.00	347.15	345.37	345.72	345.54	347.77	346.41	346.52	346.16	345.80	347.14	346.83	346.60	347.05	346.30
	378.42	345.92	347.08	345.36	345.69	345.53	347.65	346.37	346.48	346.12	345.79	347.11	346.80	346.58	347.02	346.27
	377.97	345.84	346.99	345.36	345.66	345.51	347.59	346.30	346.41	346.06	345.75	347.04	346.75	346.51	346.96	346.23
	377.72	345.82	346.97	345.36	345.65	345.51	347.58	346.29	346.39	346.05	345.74	347.03	346.72	346.50	346.94	346.21
	377.63	345.84	346.99	345.38	345.67	345.54	347.59	346.31	346.42	346.09	345.77	347.04	346.75	346.52	346.97	346.25
	377.50	345.83	347.00	345.39	345.68	345.55	347.60	346.32	346.45	346.10	345.77	347.05	346.77	346.54	346.98	346.25

Annexes A17: la cote piézomètre et la cote de retenue de barrage à l'an 2016



Photo 01 : débit de fuite d'eau



Photo 02 : Formulaire de stalagmites et stalactites



Photo 03 : cas de tunnel de barrage



Photo 04 : fuit sur le mur de tunnel (en bas)



Photo 05 : fuit sur le mur de tunnel (en haut)