

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Mémoire de Master

Présenté à l'Université 8 Mai 1945 de Guelma

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de : Génie Civil & Hydraulique

Spécialité : Hydraulique

Option : Hydraulique et techniques des eaux

Présenté par : LEMZADMI Chemseddine et SAIDI Hamza

Perte de capacité de stockage en eau dans quelques barrages de l'est Algérien

Sous la direction de : Dr. TOUMI Abdelwaheb

Juin 2017

Remerciement

Au terme de la rédaction de ce mémoire ;

Je ne manque pas d'adresser mes sincères remerciements à notre Dieu, qui a éclairé mon itinéraire du savoir.

Il m'est également agréable de remercier aussi toutes les personnes qui ont contribué à son élaboration :

Dr. TOUMI Abdelwaheb de l'université du 8 mai 45 Guelma, de m'avoir encadré et suivi avec sa rigueur scientifique, ses conseils ainsi que sa gentillesse qui m'ont permis de mener à bien ce travail.

J'exprime également mon profond remerciement et ma vive gratitude à mes enseignants du département d'Hydraulique de l'université du 8 mai 45 Guelma,

Mes remerciements les plus sincères au staff technique du barrage de

Zit-El-Emba

En fin je saisis l'occasion de remercier tous les membres jury qui ont bien voulu en faire partie.

Résumé

L'Algérie par son climat se trouve confrontée à une rareté et à une distribution irrégulière des pluies dans le temps et dans l'espace. Donc l'insuffisance de l'eau nous oblige à protéger toutes les ressources disponibles. L'étude de la perte de capacité de stockage des barrages est nécessaire pour conserver les réserves en eau.

Dans ce travail une analyse sur les facteurs qui influent sur le bilan hydrique a été réalisée. Les problèmes liés aux pertes par l'évaporation, par fuites (infiltrations) et par envasement ont été largement débâtés pour le cas des barrages Zit El Emba, Béni Haroun, Zardezas et Hammam Grouz.

L'influence de ces phénomènes sur la perte de capacité de stockage dans le cas de ces barrages, situés à l'Est Algérien a été clairement mise en évidence ainsi, que les moyens pour limiter leurs effets et par conséquent préserver cet élément indispensable pour la vie.

Liste des figures

Fig. 1.1 : Photo du barrage de Zit-El-Emba	4
Fig. 1.2 : Photo par satellite de l'emplacement du barrage de Zit-El-Emba	5
Fig. 1.3 : Photo satellite du sol de la région d'étude (Zit El Emba)	6
Fig. 1.4 : L'extrait de la carte topographique d'Algérie 2016	9
Fig.1.5 : Carte des principaux barrages du bassin de Kèbir-Rhumel(ABH, C.S.M, 2009)	10
Fig. 1.6 : photo satellite du barrage de Hammam-Grouz	11
Fig. 1.7 : photo satellite du barrage Beni-Haroun	12
Fig. 1.8 : photo de la digue du barrage de zardezas	15
Fig. 1.9 : Photo satellite du barrage de Zardezas	16
Fig. 2.1 : Schéma approximatif du bac de type classe A	21
Fig. 2.2 : Schéma du bac de type Colorado	21
Fig.2.3 : Bac de type classe A, installé au barrage de Zit El Emba	21
Fig. 2.4 : Photo prise de la rive gauche représentant une vue générale du barrage Zit El Emba	25
Fig. 2.5 : Variation de la surface d'eau en fonction de cote d'eau de Zit-El-Emba	25
Fig. 2.6: Variation de l'évaporation mensuelle en mm durant la période allant de l'année hydrologique 2003/2004 à 2015/2016 au bac classe A installé au barrage de Zit-El-Emba	26
Fig. 2.7: Variation de l'évaporation en mm durant la période allant de l'année hydrologique 2003/2004 à 2015/2016 au bac classe A installé au barrage de Zit-El-Emba	27
Fig. 2.8 : Variation de l'évaporation mensuelle en Hm^3 au barrage de Zit-El-Emba pour la Période allant de l'année hydrologique 2003/2004 à 2015	28
Fig. 2.9 : Variation de la perte d'eau annuelle par évaporation en Hm^3 à Zit-El-Emba	28
Fig. 2.10: Fluctuation de l'évaporation à l'échelle du bac du 1 ^{er} mars au 15 avril 2017 au barrage Zit-El-Emba	30
Fig. 2.11 : Fluctuation de la quantité d'eau évaporée à l'échelle du lac du mois de mars au mois d'avril 2017 au barrage de Zit-El-Emba	30
Fig. 2.12 : Variation au cours du temps de l'évaporation au barrage des Zardezas	31
Fig. 2.13: Variation de l'évaporation moyenne mensuelle au barrage des Zardezas	31
Fig.2.14: Représentation des moyennes mensuelles de l'évaporation au lac du barrage de Béni - Haroun, de 2003 à 2008	33
Fig. 2.15 : Variation au cours du temps de l'évaporation au barrage de Béni-Haroun	34

Fig.2.16 : Courbe d'évaporation dans le barrage de Hammam Grouz de 1987 à 2015	35
Fig. 2.17: Photo des balles en polyéthylène relâchées dans le barrage de Californie afin de minimiser les quantités d'eau évaporées	37
Fig. 3.1: Dépôt de vase (REMINI, 2003)	40
Fig. 3.2: Modes de transport solide	42
Fig.3.3: Mode d'envasement du barrage	42
Fig.3.4: Photo prise de l'embouchure d'oued El-Hammam dans le barrage eZit-El-Emba	46
Fig.3.5 :Photo de la vase dans le barrage de Zit-El-Emba du côté de la route de Bouati-Mahmoud	46
Fig. 3.6 : Situation du barrage de Beni Haroun [Remini 2003]	47
Fig. 3.7 : La digue du barrage de Beni Haroun [Remini 2003]	47
Fig. 3.8 : Evolution de l'envasement en fonction du temps (REMINI. B et TOUMI. AW, 2017)	49
Fig.3.9:Graphes de l'envasement du barrage de BENI HAROUN pour les années 2004, 2008, 2013, 2014. (REMINI. B et TOUMI. AW, 2017)	49
Fig. 3.10 : Variation des volumes d'eau stockés en fonction des cotes du lac dans le barrage des Zardezas, Algérie (Source desdonnées, ANBT)	50
Fig.3.12: Photo élucide l'état dramatique vis-à-vis la vase dans la cuvette, du barrage de Zardezas	52
Fig. 3.13 :Photo d'une plantation par banquettes continues	54
Fig. 3.14 : Exemple du système de dragage dans le barrage de Zardezas	56
Fig.4.1 : Tracé de ligne de saturation et la parabole de KOSENY	59
Fig. 4.1 : Schéma de la pression interstitielle	61
Fig.4.3 : Photo d'un drain (PON) à manomètre dans la galerie du barrage de Zit El Emba	61
Fig. 4.4 : Drain tapis filtrant	63
Fig. 4.5 :Drain vertical	64
Fig. 4.6 : Représentation schématique de la piézométrie	65
Fig. 4.7 : Photo d'un piézomètre dans le barrage de Zit El Emba	66
Fig. 4.8 : Schéma du piézomètre ouvert (ANBT)	67
Fig.4.9 : Vue générale de la disposition des piézomètres au barrage de Zit EL Emba	68
Fig. 4.10 : Traçage de ligne d'eau du profil 01	68
Fig. 4.11 : Traçage de ligne d'eau du profil 02	69
Fig. 4.12 : traçage de ligne d'eau du profil 03	69
Fig. 4.13 : Traçage de ligne d'eau du profil 04	70

Fig. 4.14 : Traçage de ligne d'eau du profil 05	70
Fig. 4.15 : Traçage de ligne d'eau du profil 06	71
Fig. 4.16 : Traçage de ligne d'eau du profil 07	71
Fig. 4.17 : Traçage de ligne d'eau du profil 08	72
Fig. 4.18 : Traçage de ligne d'eau du profil 09	72
Fig. 4.19 : Traçage de ligne d'eau du profil 10	73
Fig. 4.20 : Les fuites mensuelles durant l'année 2016/2017 à Zit EL Emba	73
Fig.4.21 : Bilan de fuite dans le barrage de Zit El Emba de 2001 à 2017	74
Fig. 4.22 : Variation annuelle des pertes d'eau par fuites au barrage des Zardezas	75
Fig. 4.23 : Photo de l'évacuation des eaux qui fuient dans la galerie inférieure	76
Fig.4.2 : Photo de la résurgence à l'aval de la rive droite	76
Fig. 4.25 : Photo du forage situé à l'aval de la digue du barrage de Hammam-Grouz	77
Fig.4.26 : Disposition des piézomètres par rapport au lac du barrage	78
Fig.4.27 : Fluctuation en fonction du niveau du lac du niveau piézométrique du P53	78
Fig.4.28 : Fluctuation en fonction du niveau du lac despiézomètres p54, p55 et p58	79
Fig.4.29 : Variation mensuelle de la pluviométrie et de l'apport au barrage de H.Grouz	81
Fig.4.30 : Débits des fuites mesurés dans le barrage de Hammam-Grouz par l'A.N.R.H	81
Fig.4.31: Variation annuelle des réserves et des fuites au niveau du barrage de H.Grouz	82
Fig.4.32: Variation journalière des réserves du barrage de H.Grouz, (2014/Mars 2015)	83

Liste des tableaux

Tab.1.1 : Précipitations moyennes mensuelles	7
Tab.1.2 : Pluies annuelles de 15 ans	7
Tab.1.3 :Températures moyennes mensuelles de 20 ans	8
Tab.1.4 : Caractéristiques des barrages Hammam Grouz et Béni Haroun	12
Tab.1.5 : Températures moyennes mensuelles à la station Ain El Bey Constantine	13
Tab.1.6 : Pluviométrie (en mm et nombre de jours de pluie j) de septembre 2013 à mars 2014 de 5 stations du bassin versant Kebir-Rhumel (ANRH 2014)	14
Tab.1.7 :Tableau des caractéristiques du barrage de Zardezas	15
Tab.2.1 :Résultats des mesures de l'évaporation au barrage de Zit-El-Emba durant la période allant du 01/03/2017 au 15/04/2017	29
Tab.2.2 : Les moyennes mensuelles de l'évaporation au lac du barrage de Beni Haroun, Algérie de l'an hydrologique 2003/2004 à l'an 2007/2008	33
Tab.2.3 : l'évaporation dans le barrage de Hammam ,Grouz de 87 jusqu'au 2015	35
Tab.3.1 : Réduction de capacité suite à l'envasement dans certains barrages	43
Tab.3.2 : capacité de certains barrages Algériens en 2010 (REMINE, 2003)	44
Tab.3.3 : Etat d'envasement dans le barrage de Zit El Emba en 2004	46
Tab.3.4 : Volumes et surfaces aux niveaux normaux et des plus hautes eaux pour les 3 levés	50

Sommaire

I. Présentation de la zone d'étude.

Introduction générale	1
I.1 Introduction	3
I.2 Présentation du barrage de Zit-El-Emba	4
I.2.1 Situation Géographique	4
I.2.2 Situation du barrage de Zit El Emba	5
I.2.3 Destination et rôle du barrage	6
I.2.4 Relief	6
I.2.5 Sol	6
I.3 Hydro climatologie	7
I.3.1 Aspect du climat	7
I.3.2 Les précipitations	7
I.3.3 Pluies moyennes mensuelles	7
I.3.4 Pluies moyennes annuelles	7
I.3.5 Température	8
I.3.6 L'humidité	8
I.3.7 Le vent	8
I.4 Milieux physique	8
I.4.1 Délimitation du bassin versant	8
I.4.2 L'hydrographie de la région d'étude	9
I.5 Présentation de la Zone d'étude de Hammam-Grouz et de Béni-Haroun	10
I.5.1 Présentation du bassin versant Kebir-Rhumel	10
I.5.2 Barrage de Hammam Grouz	11
I.5.3 Barrage de Béni Haroun	11
I.5.4 Climat	13
I.5.4.1 Température	13
I.5.4.2 Pluviométrie	13
I.6 Présentation de la zone d'étude du barrage de zerdesaz	14
I.6.1 Caractéristiques du barrage de Zardezas	15
I.7 Conclusion	16

II. Perte de capacité de stockage par évaporation, des barrages de l'Est Algérien, cas de Zit-El-Emba, Zardézas, Hammam-Grouz et Béni Haroun

II.1 Introduction	18
II.2 L'évaporation des lacs de barrages	18
II.3 Les facteurs favorisant l'évaporation	19
II.4 Moyens de mesure de l'évaporation dans les lacs d'eau	20
II.4.1 Le Bac de classe A	20
II.4.2 Le bac Colorado	21
II.5 Méthodes de calcul de l'évaporation	22
II.5.1 Méthode du bilan hydrique des étendues d'eau (cas d'une retenue)	22
II.5.2 Méthode hydrométéorologique	22
II.5.3 Méthode des bacs 'évaporation	23
II.6 Estimation de l'évaporation d'eau au lac du barrage de Zit El Emba	24
II.7 Estimation de l'évaporation d'eau au barrage de Zardézas	31
II.8 Estimation de l'évaporation dans le barrage de Beni-Haroun	32
II.9 Estimation de l'évaporation dans le barrage de Hammam-Gouz	35
II.10 Moyen de lutte contre le phénomène de l'évaporation	36
II.11 Conclusion	37

III. Perte de capacité de stockage par envasement

III.1 Introduction	39
III.2 Problématique de l'envasement	39
III.3. Causes de l'envasement	40
III. 3.1 L'érosion	40
III.3.1.1 l'érosion hydrique	40
III.3.1.1.1 Origine et mécanisme de l'érosion hydrique	40
III.3.1.1.2 Les facteurs de l'érosion hydrique	41
III.3.2 Le transport solide	41
III.3.3 La sédimentation	42

III.4 Problèmes posés par l'envasement	43
III.4.1 La réduction de la capacité de la retenue	43
III.4.2 Obturation des organes de vidange	44
III.4.3 La Sécurité de l'ouvrage	45
III.4.4 Envasement des canaux d'irrigation	45
III.4.5 Dégradation de la qualité de l'eau	45
III.5 Perte de capacité par envasement du barrage de Zit-El-Emba	45
III.6 Perte de capacité par envasement du barrage de Béni-Haroun	47
III.7 Perte de capacité par envasement au barrage de Zardézas	50
III.8 La lutte contre l'envasement	53
III.8.1 Le reboisement, la restauration des sols, la plantation de végétation	53
III.8.2 Réalisation de barrage de décantation	54
III.8.3 Surélévation des barrages	54
III.8.4 Chasses dites à l'Espagnole	55
III.8.5 Soutirage des courants de densité	55
III.8.6 Dragage des barrages	55
III.9 Conclusion	56

IV. Perte de capacité de stockage par infiltration

IV.1 Introduction	58
IV.2 Les infiltrations	58
IV.3 Etude des infiltrations dans le barrage et ses fondations	58
IV.3.1 Détermination de la ligne de saturation	59
IV.3.2 Tracé de ligne de saturation dans une digue homogène	59
IV.3.3 Tracé des lignes équipotentielles et des lignes de courant	60
IV.3.4 Evaluation du débit de fuite	60
IV.3.5 Calcul de la pression interstitielle	61
IV.4 Dispositifs de protection	61
IV.4.1 Le drain	61
IV.4.2 Le filtre	62
IV.4.3 Disposition des drains et des filtres dans un barrage en terre	63
IV.4.3.1 Drain tapis filtrant	63

IV.4.3.2 Drain vertical	64
IV.5 L'infiltration dans le barrage de Zit El Emba	64
IV.5.1 Étude piézométrique dans le barrage de Zit El Emba	64
IV.5.1.1 Types de piézomètres	66
IV.5.1.2 Traçage des lignes d'eau au piézomètre	68
IV.6 L'infiltration dans le barrage de Zardezas	74
IV.7 L'infiltration dans le barrage de Hammam Grouz	75
IV.7.1 Étude piézométrique, débit de fuites et vitesse d'infiltration	78
IV.7.2 Événement extrêmes des fuites dans le barrage de Hammam-Grouz	80
IV.8 Conclusion	83
Conclusion général	84

Introduction générale

La pénurie d'eau surtout dans les régions arides et semi arides et particulièrement en saisons chaudes a conduit les services concernés, à la construction des barrages pour subvenir la demande en eau. Toutefois, ces ouvrages se trouvent confronter aux problèmes hydrauliques tels que l'évaporation et les fuites qui entraînent des pertes d'eau et l'envasement qui réduit la capacité initiale de stockage. Et pour faire face à ces phénomènes physiques, il est impératif de les mettre en exergue afin de comprendre les facteurs qui les régissent.

C'est dans cette optique que s'inscrit notre étude des pertes d'eau aux barrages. En effet, l'évaluation des quantités moyenne annuelle évaporée, perdue par fuites et occupée par la vase permet de prévoir les réserves futures des ouvrages et par conséquent faire face aux échéances futures.

Le premier chapitre aura pour objectif de poser la problématique de stockage d'eau aux barrages et présenter ce qu'il apparaissait nécessaire sur les barrages pris comme des cas pilotes.

Le second chapitre sera consacré à l'étude de la perte d'eau par évaporation aux quatre barrages choisis en essayant de les quantifier afin d'avoir une idée sur sa fluctuation moyenne au cours du temps.

Le troisième chapitre sera réservé, quant à lui à l'estimation de l'envasement en se basant, surtout, sur les levés bathymétriques réalisés par l'agence nationale des barrages et transfert (A.N.B.T).

Que se soit l'étanchéité de la fondation, du corps et des appuis de n'importe quel barrage, les fuites d'eau par infiltration apparaissent et peuvent engendrer des menaces sur la stabilité de la digue d'une part et d'autre part elles entraînent des pertes en eau précieuse, surtout, en zones arides et semi arides où cette ressource se fait rare. Toutefois, la bonne compréhension de ce phénomène doit nécessairement passer par une présentation détaillée de tous les facteurs qui entrent de près ou de loin à la génération de ce phénomène. Ce qui nous a incités à prendre en charge les cas de quelques barrages, situés à l'Est Algérien, ayant un sérieux problème de fuites.

Chapitre I

Problématique des pertes en eau aux barrages et présentation des cas pilotes

I. Présentation de la zone d'étude

I.1 Introduction

L'Algérie par son climat se trouve confrontée à une rareté et à une distribution irrégulière des pluies dans le temps et dans l'espace.

Néanmoins ces ressources en eau, aussi bien de surface que souterraines, constituent l'une des principales richesses sur lesquelles repose la prospérité de ce pays dans l'avenir, ainsi que la réussite de son développement économique, agricole et social.

Donc l'insuffisance de l'eau nous oblige à protéger toutes les ressources disponibles contre toutes pertes et à l'utiliser d'une manière rationnelle et scientifique, et ce, pour satisfaire les besoins des différents secteurs (AEP, l'industrie, l'irrigation).

Par ailleurs pour pallier au déficit observé dans l'exploitation des eaux souterraines considérées comme potables, la mobilisation des eaux superficielles par la construction de barrages et de retenues collinaires, s'avère indispensable. Cependant la durée de vie de ces infrastructures de stockage et leur exploitation peut être réduite principalement par l'érosion climatique, l'évaporation et l'infiltration.

Dans ce chapitre nous allons montrer la zone d'étude des barrages au quelle nous ferons notre mémoire, il s'agit des barrages de Zit-El-Emba, Beni-Haroun, Zardezas, et Hammam-Grouz.

I.2 Présentation du barrage de Zit-El-Emba

La figure 1.1, montre une photo récente du barrage de Zit-El-Emba.



Fig.1.1 photo du barrage de Zit-El-Emba

I.2.1 Situation Géographique

Le barrage de Zit-El-Emba est située au nord est Algérien dans la commune de Bekkouche Lakhdar wilaya de Skikda. Cette dernière se situe sur la frange tellienne de l'est d'Algérie.

Elle est limiter:

- Au Nord par la mer méditerranéenne.
- Au Sud par la wilaya de Constantine.
- A l'Est par la wilaya d'Annaba.
- A l'Ouest par la wilaya de Jijel.



Fig. 1.2 photo par satellite de l'emplacement du barrage de Zit-El-Emba

I.2.2 Situation du barrage de Zit El Emba

Le barrage de Zit El Emba est situé au Sud Est de la wilaya de Skikda, elle est délimitée :

- Au Nord par la commune de Ben-Azzouz (wilaya de Skikda).
- Au Sud par la commune de Berknia et Bouati-Mahmoud (wilaya de Guelma)
- A l'Est par la commune de Berrahal et Eulma (wilaya d'Annaba)
- A l'Ouest par la commune de Ain Charchar et Es-Sebt (wilaya de Skikda).

Ces coordonnées géographiques sont :

X= 883.50, Y=207.50, Z=80.50.

I.2.3 Destination et rôle du barrage

- Régularisation de l'écoulement sur plusieurs années
- AEP des communes Azzaba, Djendel.Ain, cherchar + renforcement AEP Skikda ville. 33000 m³/jour.
- Irrigation par réseaux(ONIDE).
- Irrigation des terres adjacents au barrage : 2500 ha : 3.5 hm³/an .
- Irrigation par lâchers : Ben Azzouz –Marsa Oued El Kebir – Boumaiza –El Hamma 6.0 hm³/an.

I.2.4 Relief

La région fait partie de l'Atlas tellien. Le relief est constitué de plaines et de vallées fertiles irriguées par des cours d'eaux, de collines à pentes régulières, de montagnes (Djebel Elgrar 1078 m, Djebel Bouaslouge 879 m etc..) et d'Oueds. Les principaux Oueds sont Oued El Hammam et Emchekel affluents de l'Oued Kebir.

I.2.5 Sol

La commune de Bekkouche Lakhdar a en général un sol de texture argilo limoneuse



Fig. 1.3 : photo satellite du sol de la région d'étude (Zit El Emba)

I.3 Hydro climatologie

1.3.1 Aspect du climat

Le climat est de type méditerranéen, il est caractérisé par des hivers doux pluvieux et des étés chauds et secs.

1.3.2 Les précipitations

La pluie est un facteur climatique très important qui conditionne l'écoulement saisonnier et influence directement le régime des cours d'eau ainsi que celui des nappes aquifères. La région d'étude est considérée parmi les régions les plus arrosées avec une moyenne annuelle de l'ordre de 700 mm. Elles sont relativement importantes, variables et irrégulières d'une année à une autre.

- **Pluies moyennes mensuelles**

Le mois le plus pluvieux est le mois de décembre. Sa pluviométrie peut atteindre parfois les 123 mm. Tableau N°1.1

Tableau N°1.1 : Précipitations moyennes mensuelles

MOIS	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Août	TOT
Pluie moyenne mensuelle	32	64	91	123	104	87	82	57	57	14	4	9	724

- **Pluies moyennes annuelles**

Elles sont assez importantes, elles varient entre 491 mm et 1080 mm. La moyenne annuelle de 15 ans d'observation égale 708.44 mm. Tableau N°:1.2.

Tableau N°1.2 : Pluies annuelles de 15 ans.

Année	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Pluies moyenne	491	786	963	626.10	739.40	596.80	883.40	769.40	1080.40	715.60
Année	2012	2013	2014	2015	.	Moyen
Pluies moyenne	738	669	811.8	760	.	708.44

I.3.3 Température

La température moyenne saisonnière varie entre 10°C en hiver et 24,52°C en été. Par contre la moyenne annuelle est de l'ordre de 17.06 °C

Tableau N°:II-03.

Tableau N° 1.3: Température moyennes mensuelles de 20 ans.

MOIS	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Août
Température °C	22.6	18.82	14.8	11.7	10.89	11.35	12.3	14.4	17.7	21.1	24.1	24.74

I.3.4 L'humidité et vent

L'humidité est plus élevée en hiver qu'en été, le taux d'humidité moyen au cours de l'année est de 70%.

Le vent est un facteur important du climat, il influe sur la température, l'humidité et l'évaporation. La direction, la fréquence et la vitesse des vents sont variables au cours de l'année. En générale, la connaissance de la vitesse et de la direction des vents est primordiale pour la mise en place d'un ouvrage quelconque. Les vents dominants dans la région sont ceux du Nord-Ouest avec une vitesse assez constante au cours de l'année, entre 1.9 et 2.5 m/s, avec un maximum en hiver et un minimum en été.

I.4 Milieux physiques

I.4.1 Délimitation du bassin versant

La superficie du bassin versant du barrage Zit-El Emba est de 485 km². Le bassin a une forme compacte triangulaire et comprend la branche Est de l'Oued Hammam (2/5) de la superficie générale, et la branche Ouest de l'Oued Mouguer (3/5) de la superficie générale. La digue est implantée sur les terrains de la wilaya de Skikda et la majeure partie des eaux sont stockées sur les terrains de la wilaya de Guelma.

Les côtes de prise d'eau varient de 1200 m en tête jusqu'à 50 m dans le site de l'aménagement. Quoique la majeure partie du bassin (68%) est située entre les côtes 600–200 m, la hauteur moyenne du bassin est de 376 m, son réseau hydrographique est bien développé. La vallée du fleuve est trapézoïdale, les versants de la vallée sont abrupts, envahis de buissons, en grande partie en herbes.

Le climat du bassin est conditionné par sa situation géographique, l'influence de la mer d'une part et du relief d'autre part.



Fig. 1.4 : L'extrait de la carte topographique d'Algérie 2016

I.4.2 L'hydrographie de la région d'étude

Le secteur étudié est jalonné par un réseau hydrographique très développé, L'hydrographie de la région Bekkouche Lakhdar est caractérisée, principalement, par Oued EL-Hammam qui prend sa source à partir des sources thermales d'Ouled Ali sur les versants nord du tell. Au début, il se dirige vers l'ouest, en suivant le pli anticlinal en altitude, ensuite il tourne au nord, en rejoignant l'oued Emchekel près de la bourgade de Ain Charchar et forme ainsi l'Oued Kebir (Ouest). Les deux oueds sont de direction sud nord, le site du barrage est situé à 5 km plus haut que le confluent de ces deux fleuves.

Pour étudier le régime hydrique de l'Oued Hammam, une station de jaugeage Zit-El Emba a été installée à 0.2 km en amont du site le 21.02.1969.

Cette station avait pour tâche l'étude du régime chimique et thermique de l'oued EL-Hammam ainsi que son régime d'écoulement. Mais nous n'avons trouvé aucun document sur le chimisme de cet Oued ni sur la turbidité sauf les différents jaugeages effectués au cours des années. Nous pensons que l'étude chimique n'a pas été faite car le barrage était destiné à l'irrigation et le problème de pollution inexistant pendant ce temps.

I.5 Présentation de la Zone d'étude des barrages de Hammam-Grouz et de Beni-Haroun

Les barrages de Hammam-Grouz et de Beni-Haroun sont pas loin l'un de l'autre et ont le même bassin versant le Kebir-Rhumel et donc les mêmes conditions hydrologique.

I.5.1 Présentation du bassin versant Kèbir-Rhumel

Le bassin versant Kèbir-Rhumel centré à 36° de latitude Nord et à 7° de longitude Est est l'un des plus important et grands bassins d'Algérie, s'étendant sur une superficie de 8815 Km², il se compose de 7 sous-bassins hydrographiques et possède une façade maritime d'environ 7 Km².

Le bassin est limité :

- au Nord par les deux bassins côtiers Constantinois Ouest et Centre.
- au Sud, le bassin des hauts plateaux constantinois.
- à l'Ouest les bassins de l'Algérois-Hodna-Soummam et a l'Est le bassin de la Seybouse.

Le bassin du Kèbir-Rhumel compte trois barrages : Hammam-Grouz, Bèni-Haroun et Berla, dont deux sont en exploitation actuellement et sur lesquels notre étude va porter. (ABH, 2009).

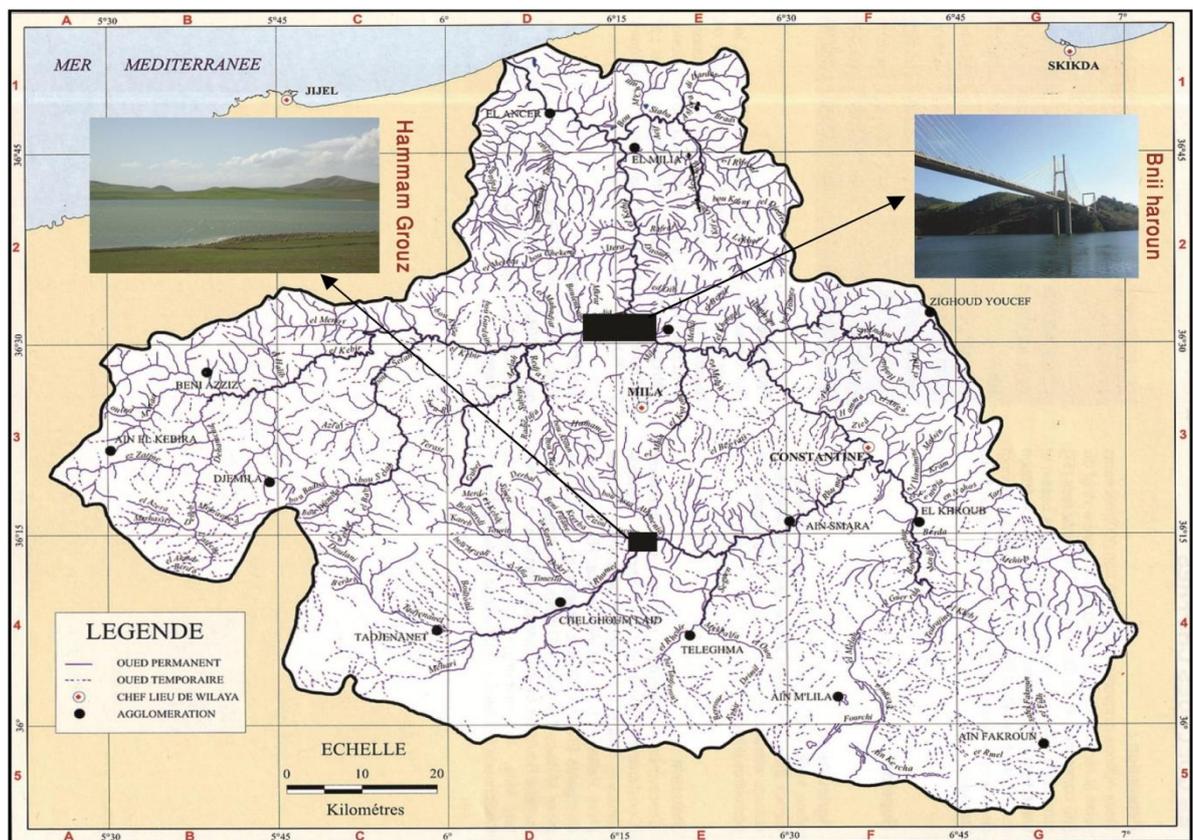


Fig.1.5 : Carte des principaux barrages du bassin de Kèbir-Rhumel.(ABH, C.S.M, 2009).

I.5.2 Barrage de Hammam Grouz

Le barrage de Hammam Grouz achevé en 1987 est situé dans le haut Rhumel, à 50 Km à l'Ouest de la ville de Constantine, au Sud de la wilaya de Mila et à l'amont de l'agglomération d'Oued Athménia, il a été construit dans la cluse calcaire d'Hammam Grouz, et s'étend sur une superficie de 1130 km², conçu initialement pour garantir l'alimentation en eau potable de Constantine et de Ain Smara

Les eaux qui alimentent le barrage proviennent essentiellement d'oued Dekri, oued Rhumel et oued Benifilane.



Fig. 1.6 photo satellite du barrage de Hammam-Grouz.

I.5.3 Barrage de Béni Haroun

Le barrage de Béni Haroun constitue actuellement le plus imposant aménagement hydraulique réalisé en Algérie. Sa mise en eau a commencé en Août 2003. Il est situé à l'aval de la confluence d'oued Rhumel et oued Endja au nord ouest de la région de Grarem, wilaya de Mila, et à une quarantaine de km au nord de Constantine avec 7 725 km² de bassin-versant répartis sur 3 900 hectares (voir fig.1.7). Avec une capacité de 960 millions m³, le barrage mobilise les eaux d'oued Rhumel, oued Endja et oued Smendou, En février 2012, il a atteint une réserve de 1 milliard de m³ d'eau soit 40 millions de m³ au-delà de sa capacité d'objectif.



Fig. 1.7 photo satellite du barrage Beni-Haroun.

Les caractéristiques des deux barrages sont résumées dans le tableau 1.4 :

Tab 1.4 : Caractéristiques des barrages Hammam Grouz et Béni Haroun

Caractéristiques	Barrage Hammam Grouz	Barrage Béni Haroun
Année d'achèvement	1987	2003
Capacité	45 millions de m ³	960 millions de m ³
Volume de la digue du barrage	65000 m ³ de béton	1.9 millions de m ³ de BCR
Hauteur au-dessus du lit	49.5 m	114 m
Largeur du barrage a la base	30 m	100 m
Longueur du barrage en crête	217 m	710 m

BCR* : béton compacté au rouleau.

I.5.4 Climat

La climatologie représente un ensemble de variables permettant d'expliquer quantitativement les variations du régime hydrologique.

La connaissance des conditions climatiques de notre zone d'étude et de ses caractéristiques va nous permettre de mieux comprendre le comportement hydrologique des cours d'eaux. D'une manière générale, le climat de la région est de type continental, semi-aride au Sud et subhumide au Nord avec un hiver pluvieux et froid et un été Sec et chaud (Mebarki, 1982).

I.5.4.1 Température

Les données de température se limitent à celles fournies à l'ANRH par la station météorologique de l'aéroport d'Ain El Bey à Constantine (Tableau 1.5). Les moyennes de température de l'année en cours ont été assez clémentes de 22,6 °C en septembre 2013, elles diminuent jusqu'à 8 °C en novembre et atteignent les 10 °C en janvier et février 2014.

Tab. 1.5 : Températures moyennes mensuelles à la station Ain El Bey Constantine, (Données ANRH 2014).

Mois en 2013-2014	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.
Température moyenne mensuel (°C)	22.6	21 .4	8	9.5	10.2	10.1

I.5.4.2 Pluviométrie

L'intensité, la continuité et la périodicité de la pluviométrie représentent l'origine même de l'écoulement ; notre zone d'étude est caractérisée par des précipitations à la fois faibles et irrégulières à forte variabilité inter-mensuelle et interannuelle.

Le tableau 5 représente la pluviométrie mensuelle en (mm) et le nombre de jours de pluie pour chaque mois de quelques stations pluviométrique sur l'oued Rhumel considérées comme les plus proches des barrages Hammam Grouz et Bèni Haroun de septembre 2013 au mios de mars 2014.

Tableau 1.6 : Pluviométrie (en mm et nombre de jours de pluie j) de septembre 2013 à mars 2014 de 5 stations du bassin versant Kebir-Rhumel (ANRH 2014).

Mois mm/j ///Station	Sept	Oct	Nov	Dec	Janv	Fév	Mars
Athmania	14.5/4j	18.4/3j	39.9/6j	18.8/8j	24.4/4j	14.4/4j	112.1/6j
Ain smara	16/3j	2.7/3j	52.3/9j	1.1/2j	1.7/2j	1.8/2j	5.5/6j
Constantine	20.5/5j	27/7j	154.2/17j	44/10j	27.4/14j	52.1/14j	158/21j
Hamma bouziane	41.9/4j	57.7/6j	137.2/16j	44/9j	53.5/13j	42.5/11j	158.2/18j
Boumalek	35.5/3j	14.5/2j	104.1/7j	14.6/2j	25/5j	12.5/3j	107.7/13j

À partir des données du tableau 1.6, nous remarquons que :

- le taux de précipitation diffère d'une station à une autre et aussi d'un mois à un autre ; à Ain Smara, la pluviométrie est faible surtout de décembre à mars ;
- le maximum de précipitation est enregistré au mois de mars 2014 au niveau de la station de Constantine et celle de Hamma Bouziane.

I.6 Présentation de la zone du barrage de Zardezas.

Le barrage des Zardezas est situé sur l'Oued Saf-Saf à 350 km à l'Est d'Alger et à 30 km au sud de la ville côtière de Skikda. Il assure l'irrigation de 1000 hectares du périmètre de la plaine du Saf-Saf et l'alimentation en eau potable de la ville chef lieu et des communes de Zerdaza, El-Harrouch, Aïn Bouziane et Mzedj Edchich ainsi que la zone industrielle (Raffinerie pétrolière) de Skikda. Le barrage des Zardezas assure également la régularisation du débit d'oued Saf-Saf contre les crues violentes qui se produisent surtout durant les moments pluvieux de l'automne, du printemps et de l'hiver.

L'ancien barrage, d'une capacité initiale de 15 millions de m³, construit de 1926-1945, suite à son envasement, a été surélevé durant la période allant de 1971 à 1974 (ANBT) pour augmenter sa capacité de stockage à environ 32 Hm³.

Ce barrage, qui date de 1926, dispose d'une capacité instable au cours du temps à cause des quantités élevées des sédiments arrivant à sa cuvette. En effet, le dernier levé bathymétrique indique que sa capacité de stockage n'excède pas 18.6 millions de m³.

Le barrage des Zardezas (fig.1.8) est de 74,2 m de hauteur à partir de la fondation, sa largeur à la base est de 44 m alors qu'à la crête est de 6,50 m, il a une longueur à la crête de 242 m. Le niveau normal de la retenue (NNR) se trouve à 197,30 NGA et celui des plus hautes eaux (NPHE) à 199,00 NGA. Au niveau de la digue du barrage des Zardezas quatre (4) vannettes de dévasement, de 300 mm de diamètre, sont installées à la cote 178 m.



Fig.1.8 : photo de la digue du barrage de zardezas

I.6.1 Caractéristiques du barrage de Zardezas

Les principales caractéristiques du barrage de Zardezas sont présentées sur le tableau 1.7. Une photo satellite du barrage est montrée sur la figure 1.9.

Tab. 1.7 Tableau des caractéristiques du barrage de Zardezas

Année de construction	(126-1945)
Année mise en eau	(1971-1973)
Capacité	31.00 hm ³
Capacité dernier levé(2006)	16.86 hm ³
Apport moyen annuel	53.00hm ³ /an
Envasement annuel	0.4 hm ³ /an
Surface du bassin versant	345.00 km ²
Hauteur	74,2m
Longueur	242 m
Cote retenue Normale (R.N)	197.30 m
Cote plus hautes eaux (P.H.E)	199.20m



Fig. 1.9 : Photo satellite du barrage de Zardezas.

I.7 Conclusion.

Les principales caractéristiques des barrages de Zit-El-Emba, Beni-Haroun, Zardezas, et Hammam-Grouz sont résumées dans ce chapitre, ainsi que les conditions climatiques spécifiques pour chaque barrage. La capacité de stockage du barrage Zit-El-Emba est de $120 \cdot 10^6 \text{ m}^3$; Beni-Haroun est de $960 \cdot 10^6 \text{ m}^3$; Hammam-Grouz est de $45 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ et finalement celle de Zardezas elle est estimée $31 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. On constate que le barrage récemment construit (2003) de Bni Haroun est de loin le plus important.

Chapitre II

Pertes de capacité de stockage par Evaporation des barrages de Zit-El-Emba, Zardézas, Hammam-Grouz et Beni Haroun

II Perte de capacité de stockage par Evaporation des barrages de Zit-El-Emba, Zardézas, Hammam-Grouz et Béni Haroun

II.1 Introduction

La plupart des barrages sont soumis à une perte de capacité due essentiellement à trois phénomènes à savoir, les fuites d'eau, l'envasement des retenues et l'évaporation intense. L'étude de ces phénomènes s'avère d'une très grande importance, car ils peuvent mettre en danger la stabilité du barrage et réduire sa capacité utile surtout pour les pays situés dans les zones arides à l'instar de notre pays qui a été affecté par une période sèche depuis environ une trentaine d'année. Devant ce fléau qui menace nos barrages et dans le souci que représente la diminution galopante des capacités en eau de nos retenues par ces phénomènes, nous avons vu très utile de faire une étude des pertes d'eau au niveau des barrages algériens, spécialement dans le barrage de Zit-El-Emba.

Dans ce chapitre nous allons étudier et estimer l'évaporation dans le barrage de Zit-El-Emba, de définir les conséquences et les causes de l'évaporation et aussi faire une comparaison avec d'autres barrages comme le barrage de Beni-Haroun et Hammam-Grouz et de Zardezas, on va montrer par des courbes et des figures les méthodes et les outils utilisés pour mesurer l'évaporation dans les barrages et voir comment on peut lutter contre ce phénomène.

II.2 L'évaporation des lacs de barrages

L'évaporation est un passage progressif de l'état liquide à l'état gazeux. Ce phénomène est donc une progressive qui a pour effet d'absorber des calories et donc de réduire la température de l'environnement [<https://fr.wikipedia.org/wiki/Évaporation>].

Lorsqu'il existe un volume libre au-dessus d'un liquide, une fraction des molécules composant le liquide est sous forme gazeuse. À l'équilibre, la quantité de matière sous forme gazeuse définit la pression de vapeur saturante dans le cas d'un liquide (solvant) pur, et qui dépend de la température. Cette pression peut être partielle ou totale. [<https://fr.wikipedia.org/wiki/Évaporation>].

Lorsque la pression partielle de la vapeur dans le gaz est inférieure à la pression de vapeur saturante une partie des molécules passe de la phase liquide à la phase gazeuse : c'est l'évaporation, qui demande de fournir la chaleur latente correspondante, ce qui refroidit le liquide.

Le débit massique par unité d'aire est décrit par la relation d'Hertz-Knudsen [https://fr.wikipedia.org/wiki/Relation_de_Hertz-Knudsen]:

$$m = \alpha \sqrt{\frac{M}{2\pi RT}} (p_s - p)$$

p_s , pression de vapeur saturante ; M , masse molaire ; R , constante universelle des gaz ;

T , température et α est le coefficient d'efficacité du phénomène dépendant de l'espèce et de la température.

On parle de déplacement vers l'équilibre, l'équilibre étant caractérisé par l'égalité simultanée de la pression partielle et de la pression de vapeur saturante du liquide d'une part, et d'autre part des températures (à l'équilibre, les bilans des flux de chaleur et de matière sont nuls, les masses et les températures sont constantes), Lorsque le solvant n'est pas pur, les liaisons entre solvant et soluté diminuent la pression de vapeur en équilibre avec la phase condensée ou adsorbée, l'équilibre étant toujours défini par un flux nul (chaleur et matière) : dit autrement, à une température donnée, la pression de vapeur en équilibre n'est plus forcément saturante dans ce cas. On parle alors d'une diminution d'activité du solvant

[<https://fr.wikipedia.org/wiki/Évaporation>].

II.3 Les facteurs favorisant l'évaporation

Certains facteurs peuvent favoriser ou accélérer le processus d'évaporation, c'est-à-dire permettre à un plus grand nombre de molécules d'eau de quitter la surface d'eau liquide pour se retrouver dans l'atmosphère, parmi ces facteurs on peut citer ce qui suit :

- La température

Un temps chaud permettra à la masse d'eau de se réchauffer et d'augmenter l'énergie cinétique de ses molécules. Un plus grand nombre de molécules auront alors l'énergie suffisante pour s'arracher à la surface d'eau (pour s'évaporer). On a tous remarqué que l'eau dans une casserole s'évapore plus vite lorsqu'on la chauffe

- Faible pression atmosphérique

Quand la pression atmosphérique de l'air est faible, l'air pousse moins fort sur la surface de l'eau. Les molécules d'eau auront alors plus de facilité à s'arracher de la surface de l'eau pour se retrouver à l'état de vapeur.

- Humidité relative faible

Lorsque l'humidité relative est faible, l'air est loin d'être saturé en vapeur d'eau. Dans ce cas, il est possible d'ajouter beaucoup plus de vapeur d'eau par évaporation que lorsque l'humidité relative est forte.

- Vent fort

On sait que les vêtements sèchent beaucoup plus rapidement sur la corde à linge lorsqu'il y a un bon vent. Cela est dû au fait que la mince couche d'air qui se trouve autour des vêtements devient éventuellement saturée de vapeur d'eau à cause de l'évaporation. À mesure que l'air se rapproche de la saturation, l'évaporation diminue. Le vent chasse constamment la mince couche d'air autour des vêtements et la remplace. La nouvelle couche d'air contient moins de vapeur d'eau et permet une évaporation plus importante.

- Grande surface d'eau

Une grande surface d'eau facilite l'évaporation, car dans ce cas, un plus grand nombre de molécules d'eau ont la possibilité de se détacher de la masse d'eau.

La vitesse d'évaporation (mm/j) est fonction de la température de l'air, de l'insolation, de la vitesse et de la turbulence du vent (Emsalem R., 1970; Remenieras G., 1986; Mamou A., 1990; Godard A. et Tabeaud M., 1993). Le phénomène de l'évaporation des lacs de barrages en Algérie est considérable. Une perte de volume très élevée est enregistrée annuellement. Chaque barrage est équipé d'un bac Colorado ou d'un bac classe A, installé à proximité de la retenue. Il permet aux techniciens chargés de l'exploitation au niveau des barrages de prendre des mesures journalières de l'évaporation.

II.4 Moyens de mesure de l'évaporation dans les lacs d'eau

II.4.1 Le bac classe A

Le bac de mesure de l'évaporation de type classe A est recommandé par l'Organisation météorologique mondiale. Il s'agit d'une cuve ronde de 1220 mm de diamètre et 254 mm de hauteur, rempli jusqu'à entre 50 et 75 mm de son bord. Le bac d'évaporation est surélevé du sol (en général 10 cm) sur une palette en bois ajouré afin que l'air puisse circuler sous celui-ci. Cela empêche la transmission d'énergie thermique entre le sol et le bac qui pourrait fausser les résultats. Il permet de mesurer la vitesse d'évaporation d'un volume d'eau et d'une surface donnée exposée à l'air (exprimée en mm par jour, par mois ou par an). Cette donnée dépend exclusivement de la température et de l'humidité ambiante, ainsi que des précipitations. La figure (2.1) représente un schéma approximatif du bac classe A

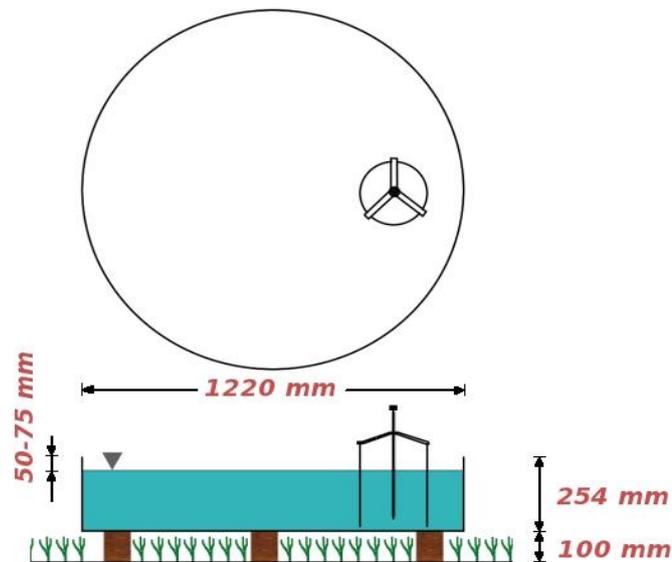


Fig. 2.1 : Schéma approximatif du bac de type classe A [https://fr.wikipedia.org/wiki/Bac_d%27évaporation].

II.4.2 Le bac Colorado

Les bacs d'évaporation enterrés dont le type est celui dit «Colorado», mis au point par la Station Expérimentale d'Agriculture du Colorado : il mesure trois pieds (91,4 cm) de côté et a une profondeur de 18 pouces (45,7 cm); l'eau est maintenue à 4 pouces (10,2 cm) du rebord, au niveau du sol. Il existe une version «métrique» de ce bac ayant un mètre carré de superficie et 50 centimètres de profondeur; il est enterré, son bord supérieur restant à dix centimètres au-dessus du sol et l'eau est maintenue à peu près au même niveau que le sol. La figure 2.2 donne une idée sur le bac Colorado et comment l'installer [<http://www.btb.termiumplus.gc>].

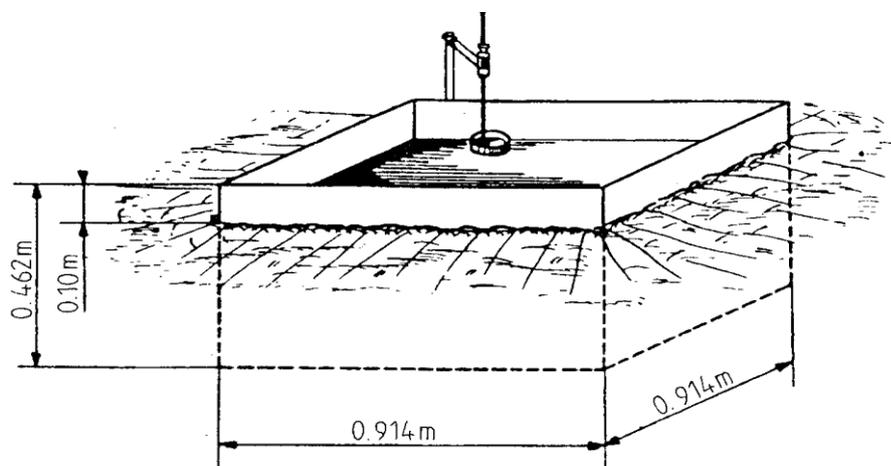


Fig. 2.2: Schéma du bac de type Colorado [https://fr.wikipedia.org/wiki/Bac_d%27évaporation].

II.5 Méthodes de calcul de l'évaporation

Il existe plusieurs méthodes de calcul de l'évaporation. Les plus connues entre eux, on peut noter la méthode du bilan hydrique, la méthode des bacs d'évaporation et celle hydrométéorologique.

II.5.1 Méthode du bilan hydrique des étendues d'eau (cas d'une retenue)

La méthode du bilan hydrique est basée sur l'égalité de la recette et de la dépense du volume d'eau dans la retenue, tout en prenant en compte la variation du stockage. L'évaporation en volume d'eau est déterminée par la relation suivante [Boutoutaou D., 1995.- Evaporation des surfaces des plans d'eau des retenues et barrages en Algérie]

$$V_E = V_P + V_S + V_{ST} - V_{QS} - V_{QST} \pm \Delta V \quad (2.2)$$

L'estimation de l'évaporation par cette méthode du bilan est très peu employée du fait de l'imprécision et de la difficulté d'effectuer des mesures de la plupart des composants de l'équation (2.2), en particulier les entrées et les sorties souterraines.

Les composantes d'entrée (recette) sont :

V_P : volume de pluie reçu par la retenue (m^3) ;

V_S : volume d'eau superficiel entrant dans la retenue (m^3) ;

V_{ST} : volume d'eau souterrain entrant dans la retenue (exfiltration) (m^3).

Les composantes de sortie (dépense) sont les suivantes:

V_{QS} : volume d'eau évacué (m^3) ;

V_{QST} : volume d'eau souterrain sortant de la retenue (infiltration) (m^3);

V_E : volume d'eau évaporé de la surface de la retenue (m^3) ;

$\pm \Delta V$: stockage ou déstockage subi par la retenue (m^3).

II.5.2 Méthode hydrométéorologique

La méthode hydrométéorologique est la méthode la plus employée pour la détermination de l'évaporation des étendues d'eau. Elle est basée sur la loi physique de Dalton. Les valeurs numériques de cette méthode sont des données standards qui sont toujours disponibles dans les atlas et les bulletins météorologiques de l'Office National de la Météorologie (O.N.M) [Boutoutaou D, 1995]

Pour l'établissement de la méthode hydrométéorologique en Algérie, [BOUTOUTAOU. DJ, 1995] a considéré que les données de 5 à 10 ans d'observation, disponibles aux niveaux des

stations météorologiques où sont implantées près des sites des barrages réservoirs algériens (barrage Meffrouche, Gargar, Hamiz, Guenitra, Bakhada, Keddara, Beni Bahdel, barrage Sidi Mohamed Ben Aouda et la station expérimentale d'El Abiod Sidi Cheikh), sont nécessaires. La formule de calcul de l'évaporation proposée par BOUTOUTAOU.DJ (1995) [1], est la suivante :

$$E = 0,233n(e_s - e_a)(1 + 0,39V) \quad (2.3)$$

Où, E est l'évaporation (mm), e_s est la tension de vapeur d'eau saturante correspondant à la température de la surface évaporant (millibar), e_a est la tension de vapeur d'eau dans l'atmosphère (millibar), $(e_s - e_a)$: déficit de saturation dans l'atmosphère (millibar), V : vitesse du vent (m/s), n : nombre de jours du mois considéré (pour Janvier n = 31, Février n = 28 etc., pour les calculs journaliers n = 1).

II.5.3 Méthode des bacs d'évaporation

Le phénomène de l'évaporation à partir des bacs d'évaporation (fig. 2.1 et 2.2), est aussi basé sur la loi du bilan hydrique, avec l'absence totale des débits souterrains et des pertes par infiltration qui sont très difficiles à estimer, [Boutaoutaou Dj., 1995].

L'expression simplifiée du bilan hydrique d'un bac peut se traduire comme suit :

$$E_{\text{Bac}} = dH \pm P$$

E_{Bac} : évaporation du bac (mm).

P : pluie tombante sur le bac (mm).

dH : différence de côte du plan d'eau dans le bac entre deux mesures (mm).

Le passage de l'évaporation du bac à l'évaporation du plan d'eau se fait en multipliant les résultats de mesures sur le bac par le coefficient du bac, d'où:

$$E = K.E_{\text{Bac}}$$

E : évaporation du plan d'eau (mm).

K : coefficient du bac, (K= 0,7- 0.8, pour le bac class A et le bac Colorado).

E_{Bac} : évaporation mesurée sur le bac (mm).

Il existe d'autres méthodes de calcul de l'évaporation des plans d'eau, telles que la méthode du bilan énergétique et la méthode de la diffusion turbulente. Quoique précises, ces deux méthodes ne sont employées que dans des études exceptionnelles.

II.6 Estimation de l'évaporation d'eau au lac du barrage de Zit El Emba

Au niveau du lac du barrage de Zit el Emba, situé au Nord-Est de l'Algérie et à environ 50 Km à l'Est de la ville de Skikda, l'équipe chargée de l'exploitation de cet ouvrage estime la quantité d'eau perdue par évaporation par la méthode des bacs d'évaporation, à cet effet un bac de type classe A est installé au niveau de la rive gauche à une altitude égale à la cote du niveau normal de la retenue comme il est indiqué sur la figure 2.3.



Fig. 2.3 : Photo du bac de type classe A installé au barrage de Zit El Emba

La mesure de l'évaporation, au niveau de ce bac se fait, chaque 24 H à 08 :00 h du matin, selon le procédé présenté au titre précédent (Méthode des bacs d'évaporation).

La quantité d'eau évaporée dans le bac est donnée par l'expression suivante :

$E \text{ évaporée dans le bac} = \text{Eau ajouté} / 11304 * 10 ;$

Alors que la quantité d'eau évaporée à l'échelle du lac de ce barrage, au même temps, est exprimée par :

$\text{Eau évaporée dans le barrage} = E \text{ bac} * 0.7 * \text{surface d'eau du lac}$

Sachant que la surface du lac est en fonction du niveau d'eau lit sur l'échelle limnométrique installée sur la tour de prise d'eau construit à la rive droite du barrage. La photo représentée sur la figure 2.4 donne une vue générale du barrage de Zit-El-Amba.



Fig. 2.4 : Photo prise de la rive gauche représentant une vue générale du barrage Zit El Emba

Pour mettre en évidence la variation de la surface d'eau dans le lac du barrage de Zit-El-Emba, nous allons tracer la surface d'eau en fonction de la cote d'eau dans le barrage.

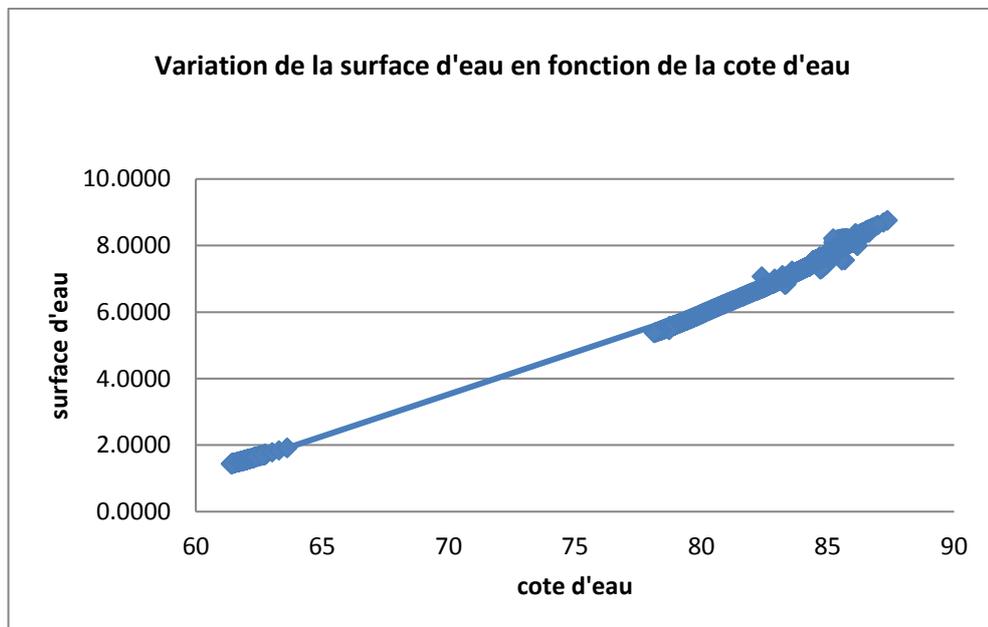


Fig. 2.5 : Variation de la surface d'eau en fonction de cote d'eau au barrage de Zit-El-Emba.

La somme mensuelle des pertes par évaporation à l'échelle du bac est représentée par la figure 2.6.

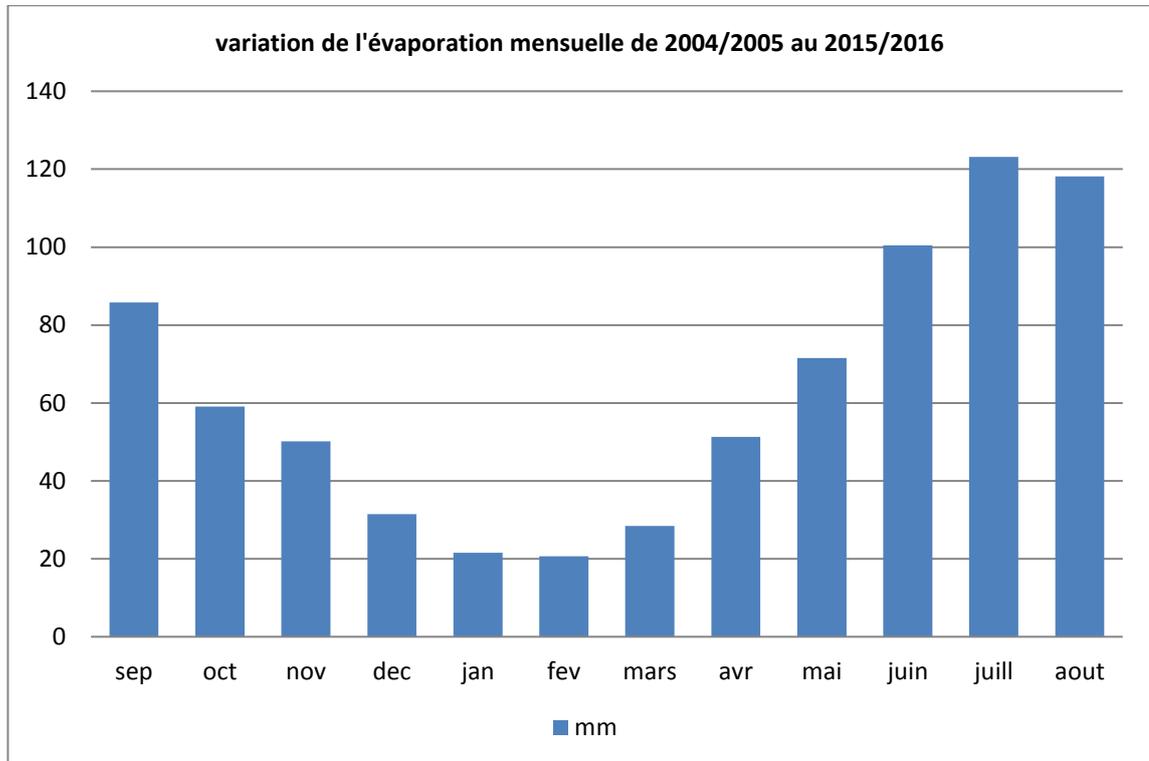


Fig. 2.6: Variation de l'évaporation mensuelle en mm durant la période allant de l'année hydrologique 2003/2004 à 2015/2016 au bac classe A installé au barrage de Zit-El-Emba (source de données, ANBT, 2017).

On constate que l'évaporation est maximale durant la saison d'été et prend son pic au mois d'Aout. Les mois de la saison d'hiver indiquent les valeurs les plus faibles malgré que durant cette période la surface du lac est plus importante que celle enregistré en été, cela nous permet de dire que la température est un facteur plus dominant que la surface.

Pour savoir quelle est la plus grande quantité d'eau perdue, durant l'année hydrologique, à l'échelle du bac depuis la première mise en eau, nous allons représenter sur la figure 2.7 la fluctuation de cette perte annuelle au cours du temps.

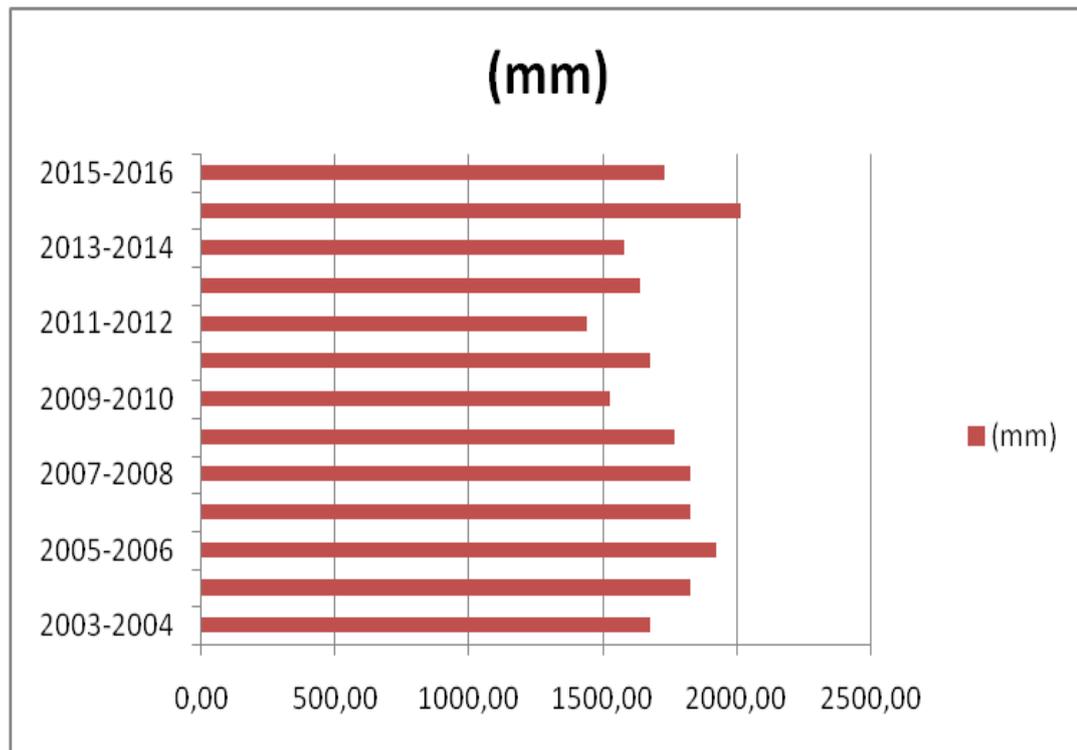


Fig. 2.7: Variation de l'évaporation en mm durant la période allant de l'année hydrologique 2003/2004 à 2015/2016 au bac classe A installé au barrage de Zit-El-Emba (source de données, ANBT, 2017).

Les mesures de l'évaporation effectuées par l'équipe chargée de l'exploitation du barrage de Zit-El-Emba montre que les années hydrologiques 2005/2006 et 2014/2015 indiquent respectivement 2150 et 2000 mm qui sont les valeurs les plus importantes depuis la première mise en eau. Ces pics peuvent être justifiés par la réunion de plus d'un facteur favorisant l'évaporation à savoir par exemple une température élevée et une grande surface d'eau. Alors que la quantité moyenne annuelle perdue est de l'ordre d'environ 1700mm.

Le calcul de l'évaporation journalière à l'échelle du barrage se fait de la manière suivante : On prend le volume évaporé à l'échelle du bac, on le multiplie par le coefficient du bac, qui est égal à 0,7, et par la surface du lac tirée de la courbe représentant la surface en fonction de la cote du lac indiquée sur la figure 2.5.

Pour avoir la valeur mensuelle on fait la somme des quantités d'eau évaporées durant les 30, 31 et 28 ou 29 jours du mois considéré. La figure 2.8 illustre la variation de l'évaporation d'eau au barrage de Zit -El-Emba durant la période hydrologique allant de 2003/2004 jusqu'à l'année 2015/2016.

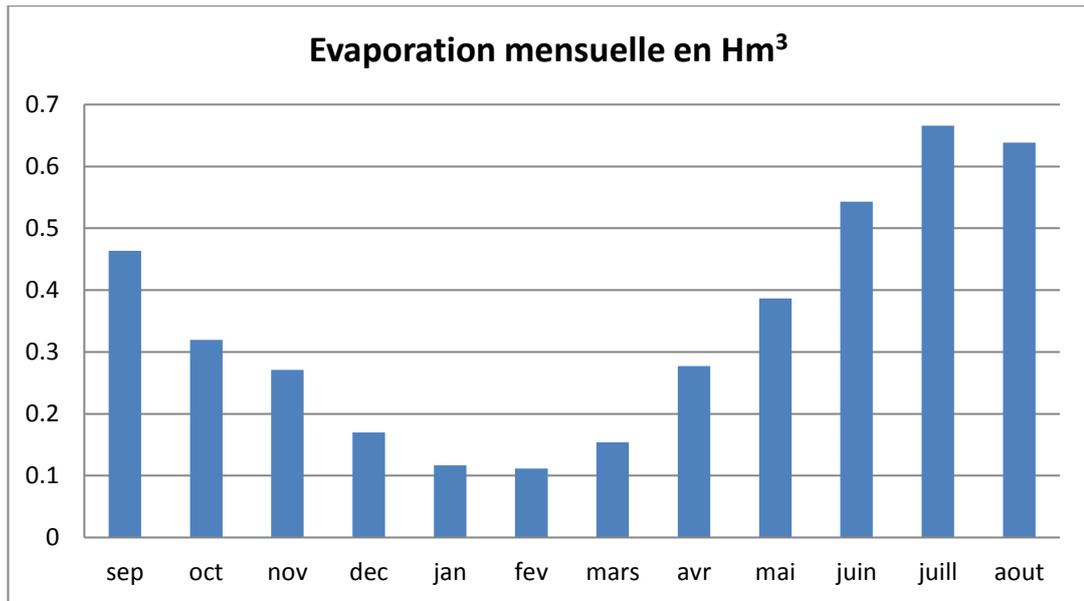


Fig. 2.8 : Variation de l'évaporation mensuelle en Hm³ au barrage de Zit-El-Emba pour la période allant de l'année hydrologique 2003/2004 à 2015/2016 (source de données, A.N.B.T, 2017).

De cette représentation on peut dire que les quantités moyennes mensuelles des eaux perdues par évaporation varient de 0.11 Hm³ à 0.7 Hm³. Toutefois, le pic atteint 0.67 en 2006/2007 au mois de juillet.

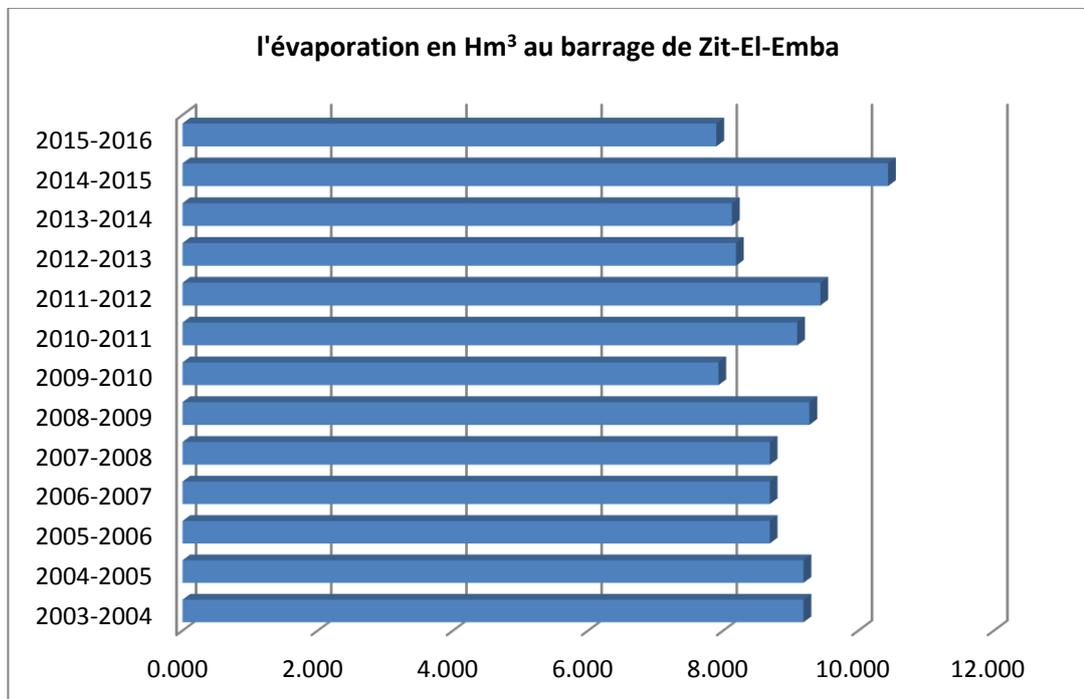


Fig. 2.9 : Variation de la perte d'eau annuelle par évaporation en Hm³ au barrage de Zit-El-Emba

D'après cette représentation, on remarque que les valeurs des pertes d'eau par évaporation, durant les années hydrologiques depuis la mise en eau, au niveau de cet ouvrage se trouvent entre 7.9 et 10.43 Hm³. Toutefois, la valeur moyenne est de l'ordre de 8.8 Hm³.

Tableau (2.1): Résultats des mesures de l'évaporation au barrage de Zit-El-Amba durant la période allant du 01/03/2017 au 15/04/2017

Dates	Evapo (mm)	Evapo (Hm ³)	Dates	Evapo (mm)	Evapo (Hm ³)
01/03/2017	3,1	0,012	24/03/2017	6,0	0,023
02/03/2017	3,1	0,012	25/03/2017	6,5	0,025
03/03/2017	4,1	0,016	26/03/2017	6,3	0,024
04/03/2017	4,0	0,015	27/03/2017	5,6	0,021
05/03/2017	4,1	0,016	28/03/2017	5,7	0,022
06/03/2017	4,4	0,017	29/03/2017	4,3	0,016
07/03/2017	4,8	0,019	30/03/2017	4,2	0,016
08/03/2017	4,8	0,019	31/03/2017	5,7	0,021
09/03/2017	4,8	0,019	01/04/2017	5,3	0,020
10/03/2017	4,8	0,019	02/04/2017	2,9	0,011
11/03/2017	4,8	0,019	03/04/2017	3,2	0,012
12/03/2017	5,5	0,021	04/04/2017	2,9	0,011
13/03/2017	4,4	0,017	05/04/2017	3,7	0,014
14/03/2017	3,9	0,015	06/04/2017	4,2	0,016
15/03/2017	3,9	0,015	07/04/2017	4,1	0,016
16/03/2017	3,9	0,015	08/04/2017	2,9	0,011
17/03/2017	5,0	0,020	09/04/2017	4,4	0,017
18/03/2017	5,1	0,020	10/04/2017	4,8	0,018
19/03/2017	5,7	0,022	11/04/2017	4,4	0,017
20/03/2017	5,9	0,023	12/04/2017	5,3	0,020
21/03/2017	6,3	0,024	13/04/2017	5,3	0,020
22/03/2017	5,9	0,023	14/04/2017	5,6	0,021
23/03/2017	6,3	0,024	15/04/2017	3,8	0,014

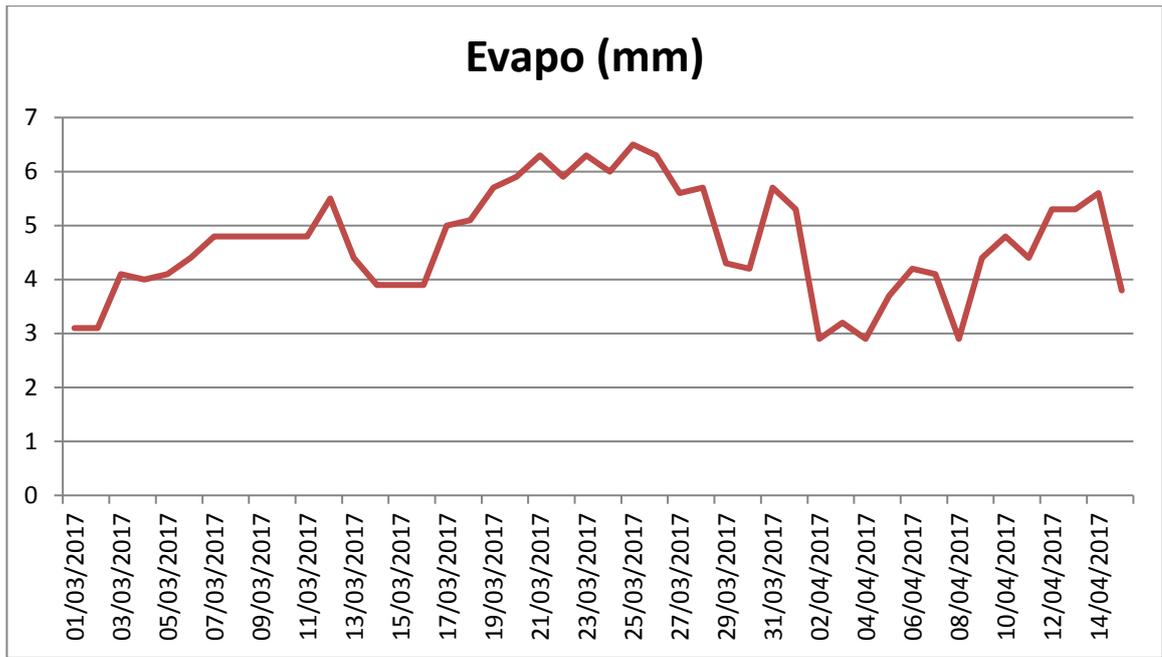


Fig. 2.10 : Fluctuation de l'évaporation à l'échelle du bac du 1^{er} Mars au 15 Avril 2017 au barrage de Zit-El-Emba

Durant la période de notre stage la quantité d'eau évaporée au bac se trouve entre 2.9 et 6.5 mm. Pour voir la fluctuation, au cours du temps, des quantités d'eau perdues par évaporation, au barrage de Zit-El-Amba, durant la période allant du 1^{er} Mars au 15 Avril 2017, nous avons mis en relief cette dernière sur la figure 2.11.

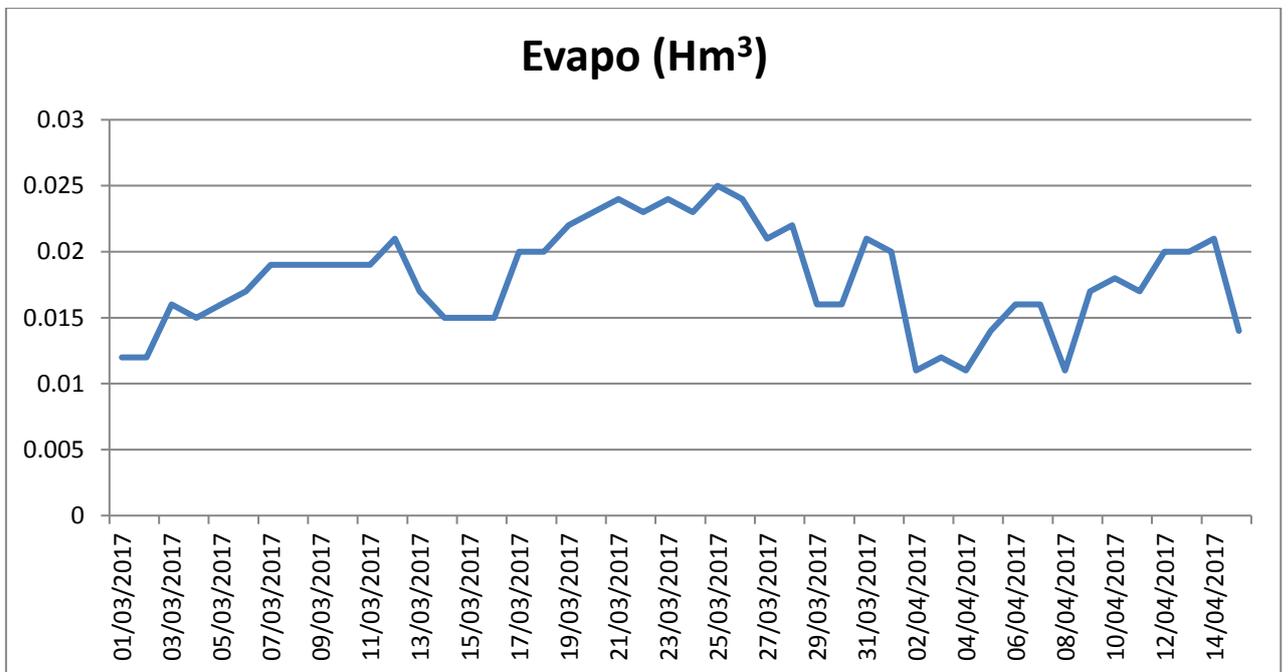


Fig. 2.11 : Fluctuation de la quantité d'eau évaporée à l'échelle du lac du mois de Mars au mois d'Avril 2017 au barrage de Zit-El-Emba

On remarque que ce relief prend la même allure que celle enregistrée à l'échelle du bac. Les valeurs journalières maximales de l'évaporation sont atteintes du 20 au 25 Mars.

II.7 Estimation de l'évaporation d'eau au barrage de Zardézas

Malgré que la réserve en eau du barrage des Zardezas, en 1974, était de l'ordre de 32 Hm³. Cependant, les quantités d'eau évaporées du lac sont importantes surtout durant la période allant du début du mois de Mai jusqu'à la fin du mois de Septembre. La figure 2.12 donne la variation au cours du temps de l'évaporation au lac du barrage des Zardezas.

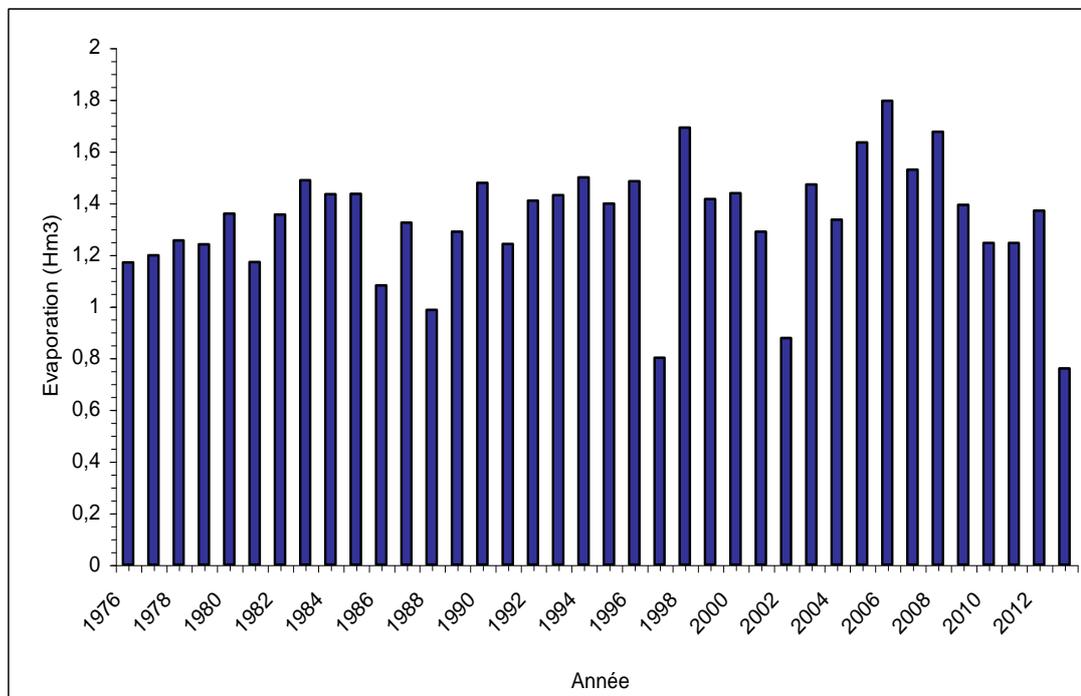


Fig. 2.12 : Variation au cours du temps de l'évaporation au barrage des Zardezas, Algérie (Données du barrage de Zardézas)

La quantité d'eau moyenne évaporée durant cette période (1976-2015) est estimée à 1,33 Hm³, le plus faible volume évaporé annuellement est enregistré durant l'an 1998 à cause de la sécheresse qui a touché la région à cette époque-là.

La figure 2.13 indique la variation de l'évaporation moyenne mensuelle au lac du barrage des Zardezas.

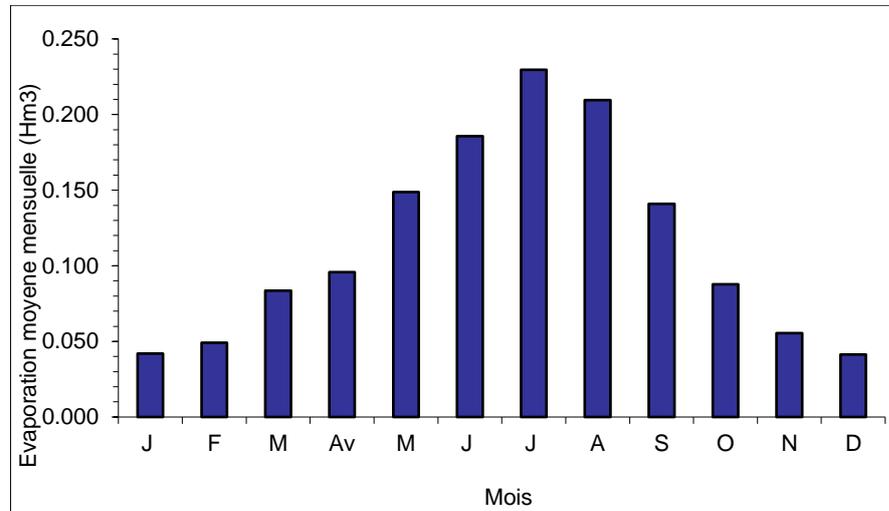


Figure 2.13: Variation de l'évaporation moyenne mensuelle au barrage des Zardezas, Algérie (REMINI.B, 2005).

Cette pyramide, qui prend son sommet au mois de Juillet, montre que la période de forte évaporation commence du mois de Mai et prend fin au mois d'Octobre. Il montre clairement que durant la saison d'été l'évaporation est maximale, suivi des saisons du printemps, l'automne et enfin la saison d'hiver.

L'établissement d'une carte de prévision de l'évaporation et l'obtention de relations entre l'évaporation et la superficie des lacs permet d'estimer le volume d'eau évaporée pour tout barrage en projet ou en exploitation (REMINI.B, 2005).

II.8 Estimation de l'évaporation dans le barrage de Beni-Haroun

Pour mesurer la quantité d'eau évaporée du lac du barrage, un bac classe A est installé à la rive droite du lac, exactement à côté de la route nationale n°27. Les mesures s'effectuent quotidiennement (chaque vingt quatre heures) à 8 heures du matin. Le bac enregistre des quantités évaporées en mm, alors que la quantité d'eau évaporée du lac se calcul par le biais d'une transformation de la quantité évaporée sur la surface du bac à celle du lac en se basant sur la formule suivante.

$$V_{\text{évp}} = ((\text{surface} \times h)/1000)^{0,78}$$

où 0,78 est un coefficient de correction ;

h : la lame d'eau évaporée durant 24 heures en mm ;

Surface: surface du lac pour une cote du plan d'eau correspondant à la journée de mesure et à l'heure de mesure en Km^2 .

$V_{\text{év}}$: le volume évaporé du lac durant 24 heures en Hm^3 .

La somme des volumes journaliers évaporés durant le mois donnent la quantité d'eau mensuelle évaporée.

Dans le tableau n° 2.2, nous représentons les moyennes annuelles de l'évaporation durant l'année hydrologique 2003/2004, 2004/2005 et 2005/2006 au niveau de cette infrastructure hydraulique.

Tableau n° (2.2) : Les moyennes mensuelles de l'évaporation au lac du barrage de Beni Haroun, Algérie de l'an hydrologique 2003/2004 à l'an 2007/2008.

L'année hydrologique	2003/2004	2004/2005	2005/2006	2006/2007	2007/2008
L'évaporation (Hm^3)	0,383	1,3248	2,34267	2,691	1,42

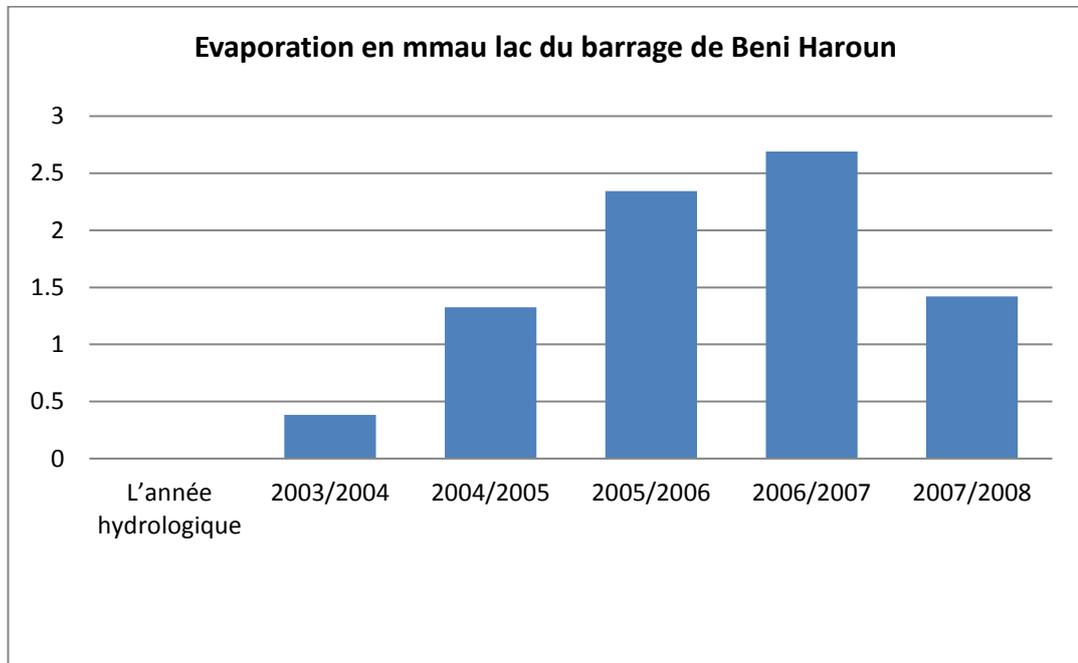


Fig. 2.14 : Représentation des moyennes mensuelles de l'évaporation au lac du barrage de Beni Haroun, Algérie de l'an 2003 à l'an 2008

En remarquant ici que l'évaporation augmente au cours du temps, bien sur, avec l'accroissement de la surface du lac et nous avons enregistré un volume moyen annuel de 16,20 millions de m³d'eau, sachant que l'évaporation brute est égale à 1094 mm. Donc, on constate une perte d'une quantité importante d'eau du lac du barrage de Béni Haroun où cette ressource se fait rare et précieuse.

Le phénomène de l'évaporation des lacs des barrages en Algérie est considérable. Annuellement, ils enregistrent une perte de volume d'eau très élevée, au niveau du barrage de Beni-Haroun les mesures se font à l'aide d'un bac Classe A. La figure (2.15) indique la variation de l'évaporation au cours du temps au barrage de Beni-Haroun, Algérie.

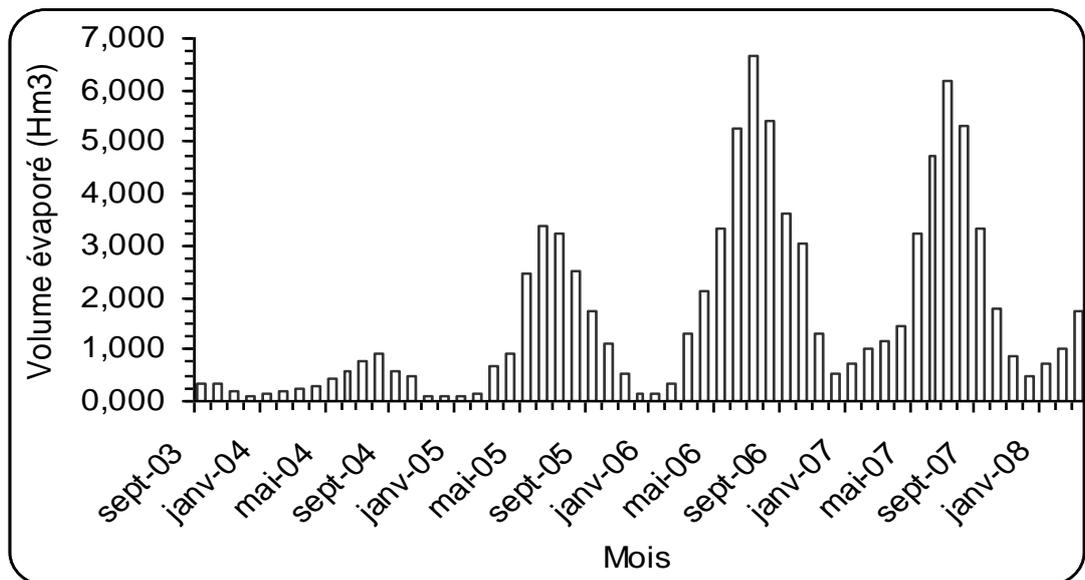


Fig. 2.15 : Variation au cours du temps de l'évaporation au barrage de Beni-Haroun

Nous constatons clairement que les valeurs maximales de l'évaporation au barrage de Beni -Haroun sont maximales du mois de mai à novembre et qu'il y a un accroissement du volume évaporé au lac à cause de la montée de l'eau dans le lac (l'étendue du lac donne une grande surface d'eau) et également la période de sécheresse qui a touché la région nord de l'Algérie, surtout, l'an 2006.

Durant l'année hydrologique 2003/2004 le barrage avait perdu 4,6 millions de m³ d'eau, en celle 2004/2005 un volume de 14,703 millions de m³ et également en 2005/2006 un volume de 36,868 millions de m³, ce qui donne un volume moyen annuel d'eau évaporée de 18,72 millions de m³. Sans oublier que l'évaporation augmente avec l'élévation du plan d'eau dans le lac du barrage, puisque l'élévation de cette dernière fait augmenter la surface d'eau.

II.9 Estimation de l'évaporation dans le barrage de Hammam Grouz

Tab. (2.3) : l'évaporation dans le barrage de Hammam Grouz de 87 jusqu'au 2015

ANNEE HYDROL.	EVAPOR. hm ³								
86-87	1,576	92-93	2,180	98-99	3,042	04-05	4,223	10-11	3,163
87-88	2,069	93-94	1,520	99-00	3,036	05-06	3,662	11-12	3,682
88-89	2,220	94-95	1,198	00-01	2,033	06-07	1,224	12-13	3,946
89-90	1,923	95-96	1,210	01-02	1,842	07-08	0,215	13-14	4,247
90-91	2,346	96-97	1,338	02-03	4,684	08-09	2,476	14,15	4,849
91-92	2,086	97-98	1,369	03-04	2,590	09-10	2,868		

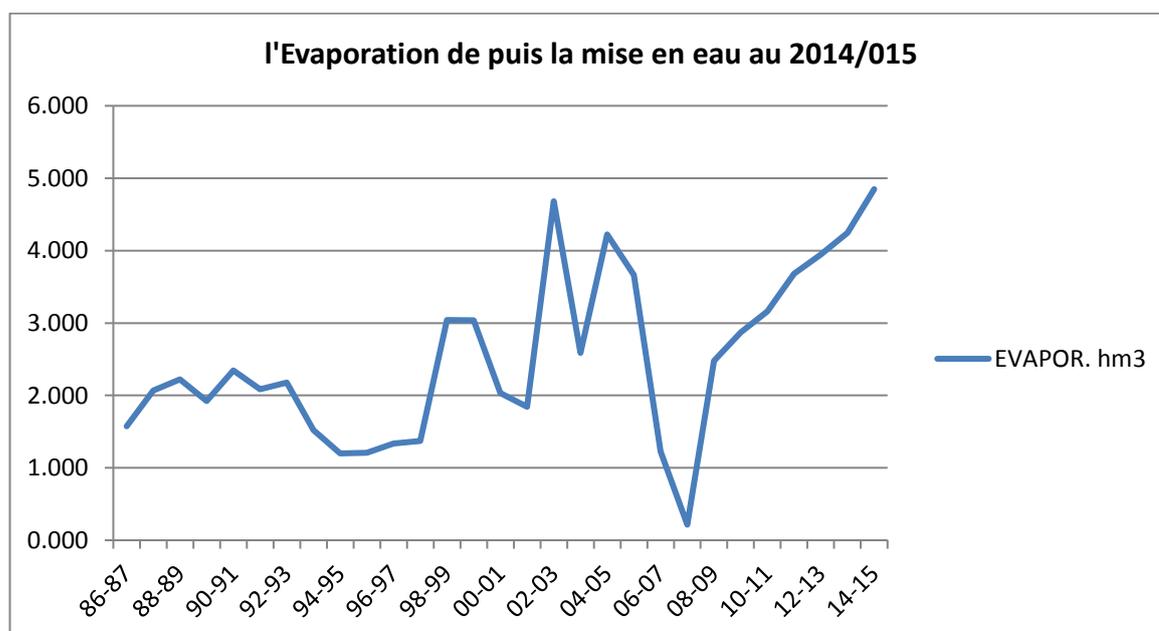


Fig. 2.16 : Courbe d'évaporation dans le barrage de Hammam Grouz de 1987 à 2015

On remarque que l'évaporation commence à augmenter de 99 au 2008 elle diminue, après elle reprend dès 2009 au 2015. D'après nos données et le bilan hydrologique le barrage de Hammam a un faible taux d'évaporation

II.10 Moyen de lutte contre le phénomène de l'évaporation

Depuis sept ans, la Californie est confrontée à une grave sécheresse, la pire de ces 500 dernières années. Le phénomène a frappé les plus grands cours d'eau et profondément modifié les paysages, entraînant de sérieuses conséquences. En un an et demi seulement, plus de 200 milliards de litres d'eau auraient été perdus, selon les estimations des spécialistes. Face à la situation devenue critique, les autorités de Los Angeles ont décidé d'agir et trouvé la solution pour préserver ses réserves d'eau: des balles de plastique noire. Si elle peut paraître surprenante, elle serait efficace à la fois d'un point de vue économique et d'un point de vue environnemental. Le 10 août, le maire de la ville californienne, Eric Garcetti, a participé au lâcher des 20.000 dernières balles en plastique dans le réservoir d'eau de Van Norman, faisant grimper le nombre total à 96 millions de balles. Faites de polyéthylène, ces dernières sont censées aider à stopper l'évaporation en bloquant les rayons ultraviolets diffusés par le soleil. Une économie de plusieurs millions de litres par an "En réduisant l'évaporation, les balles noires permettront d'économiser plus de 1.130 millions de litres par an". Mais ce n'est pas tout, ces balles en plastique devraient également permettre de conserver la qualité de l'eau contenue dans les quelque 70 hectares que compte ce réservoir. Comment ? En minimisant les risques de prolifération d'algues et en protégeant l'eau de potentielles agressions extérieures telles que la poussière ou les animaux. Ces balles, d'un diamètre de dix centimètres seulement, sont lestées avec de l'eau. C'est ces caractéristiques qui leur confèrent toute leur efficacité en les empêchant de bouger. Produites localement à Los Angeles, les balles coûtent environ 30 centimes. Mais multiplié par 96 millions, le coût total de cette opération s'élève tout de même à quelque 31 millions de dollars. "Nous voulons aller plus loin" Mais pour les autorités de Los Angeles, ce coût n'est rien comparé aux économies que le projet devrait engendrer. Par ailleurs, ces balles sont conçues pour durer dix ans et seront recyclées après avoir été retirées. Los Angeles fait ainsi figure de ville pionnière puisque trois autres réservoirs expérimentent désormais ce type de système. [http://www.maxisciences.com/secheresse/pour-lutter-contre-la-secheresse-los-angeles-a-trouve-une-etonnante-solution_art35659.html]



2.17 : Photo des balles en polyéthylène relâchées dans le barrage de Californie afin de minimiser les quantités d'eau évaporées

II.11 Conclusion

Dans ce chapitre, des taux d'évaporation pour les quatre barrages qui sont traités dans le présent travail ont été bien développés. Aussi sont présentés les méthodes utilisées pour la détermination du taux d'évaporation et les moyens pour limiter son effet.

Les valeurs moyennes des pertes d'eau par évaporation, durant les années hydrologiques depuis la mise en eau, au niveau du barrage de Zit-El-Amba est de l'ordre de 8.8 Hm^3 .

Durant la période de notre stage la quantité d'eau évaporée au bac se trouve entre 2.9 et 6.5 mm. Fluctuation de la quantité d'eau évaporée à l'échelle du lac du mois de Mars au mois d'Avril 2017 au barrage de Zit-El-Emba est entre 0.12 et 0.25 Hm^3 .

D'après le bilan hydrologique, le barrage de Hammam Grouz a un faible taux d'évaporation.

La quantité d'eau moyenne évaporée dans le barrage de Zerdazas durant la période (1976-2015) est estimée à $1,33 \text{ Hm}^3$.

Les mesures enregistrées pour le barrage de Béni Haroun montrent un volume moyen annuel de 16,20 millions de m^3 d'eau de pertes, sachant que l'évaporation brute est égale à 1094 mm.

Chapitre III

Perte de capacité de stockage par envasement dans le barrage de Zit-El- Emba. Béni-Haroun. Zardezas et Hammam-Grouz.

III Perte de capacité de stockage par envasement

III.1 Introduction

L'Algérie dispose de plus de 110 barrages en exploitation totalisant une capacité de 4,5 milliards de m³ et permettant de régulariser un volume annuel de 2 milliards de m³ utilisées pour l'A.E.P, l'industrie et l'irrigation. Or du fait de l'érosion assez sensible (pluie de courte durée, de forte intensité, absence du couvert végétal et relief assez jeune ...), l'Algérie perd annuellement une capacité estimée à 20 millions de m³ par le dépôt des sédiments dans les retenues.

Nous avons abordé dans cette étude, l'importance de l'envasement dans les retenues de barrages en Algérie, et la mise en évidence du rôle joué par la dégradation du bassin versant, les problèmes posés par ce phénomène sont abordés à partir d'exemples Algériens. La réduction de la capacité de la retenue et l'obturation des organes de vidange sont des menaces qui pèsent lourdement sur la rentabilité des infrastructures hydrotechniques quand ce n'est pas sur la sécurité même de l'ouvrage.

III.2 Problématique de l'envasement

L'infrastructure hydraulique des pays du Maghreb arabe est amputée annuellement de 2% à 5% de la capacité utile globale, ou l'envasement des retenues est classé parmi l'un des facteurs les plus importants de la perte en capacité. La réduction de la réserve de stockage des ouvrages hydrauliques se voit croître sans cesse au fil de ces derniers temps et ce pour les deux raisons essentielles suivantes : la première, d'origine naturelle, est favorisée par l'agressivité du climat, l'alternance des périodes sèches et humides, la fragilité des formations géologiques et l'absence du couvert végétale suffisant. La seconde, due d'une part aux mauvaises études et évaluation du problème avant l'implantation du barrage permettant de prévoir des solutions avant que le phénomène est fait ses effets, et d'autre part à une mauvaise exploitation des ouvrages annexes, tels que les vannes de vidange et les ouvrages de soutirage (Benaïcha, 2011).

La figure 3.1, élucide comment se dépose la vase dans un barrage.

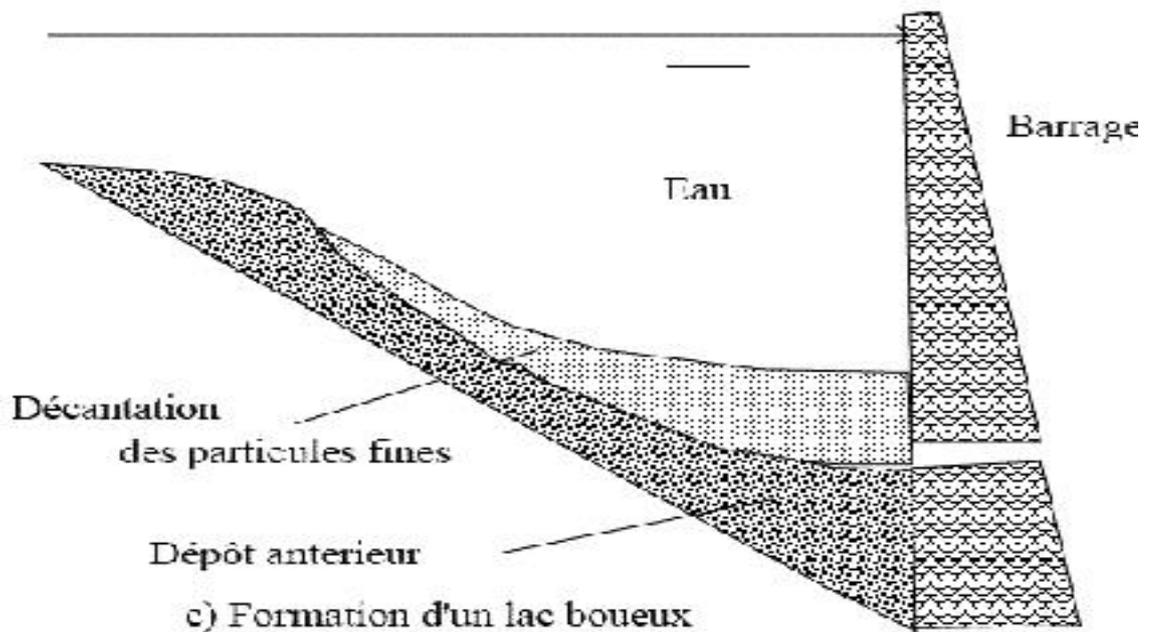


Fig. 3.1 : Dépôt de vase (REMINE, 2003)

[http://www.lopinion.ma/def.asp?codelangue=23&id_info=16289&date_ar=2010-2-13]

III.3. Causes de l'envasement

III.3.1 L'érosion

Le terme érosion vient du latin « ERODERE » qui signifie « Ronger », donc l'érosion est le détachement des particules du sol de leur emplacement initial pour les transportés en aval. Malgré que l'érosion ait un effet néfaste sur les zones amont, elle enrichit les plaines qui constituent les principaux terrains agricoles.

Il y a plusieurs formes de l'érosion : l'érosion chimique, éolienne, mécanique, thermique ...etc. Ce qui nous concerne dans ce sujet-là, est l'érosion hydrique.

III.3.1.1 l'érosion hydrique

L'érosion hydrique est composée d'un ensemble de processus complexes et interdépendants qui provoquent le détachement et le transport des particules du sol. Elle se définit comme la perte de sol due à l'eau qui arrache et transporte la terre vers un lieu de dépôt.

III.3.1.1.1 Origine et mécanisme de l'érosion hydrique

La pluie et le ruissellement superficiel sont à l'origine de l'arrachage du transport et du dépôt de la terre enlevée

L'arrachage est du à la fois aux gouttes d'eau (par rejaillissement) et aux eaux de ruissellement, dont le transport est assuré par elles.

a) Impact de la goutte de pluie

Les sols subissent un martèlement considérable causé par les gouttes de la pluie les premières gouttes s'infiltrent dans le sol d'autant plus aisément qu'il est meuble et que sa porosité est élevée. Cette première phase s'accompagne d'un déplacement des particules et d'un tassement du sol. Lorsque la couche superficielle s'humidifie trois processus se développent simultanément à savoir :

- La dégradation de la structure.
- La formation d'une pellicule de battance.
- L'érosion par splash ou érosion par rejaillissement

b) Le ruissellement

Comme les précipitations, le ruissellement agit sur le sol par des actions de détachement et de transport.

III.3.1.1.2 Les facteurs de l'érosion hydrique

- a) Les précipitations
- b) La texture du sol
- c) La pente du terrain
- d) L'état hydrique initial
- e) La couverture végétale

III.3.2 Le transport solide

Ce phénomène est le principal élément moteur après l'érosion, conduisant au processus d'envasement des barrages. Ce processus fait le lien entre les sols du bassin versant et la retenue du barrage. il est définie par un écoulement biphasique caractérisé par deux phases l'une liquide (eau) et l'autre solide (granulats, sol) dans les cours d'eau naturels, les particules solides vont être transportées en suspension ou en charriage.

Dans le transport en suspension les particules solides élémentaires se déplacent en suspension au sein de l'écoulement avec une vitesse de même ordre de grandeur que celle du fluide, ou la turbulence maintienne les éléments fins en suspension.

Dans le transport par charriage une partie de gros granules se déplace sur le fond des lits des cours d'eau, soit par glissement (ou roulement), soit par saltation (Benaïcha, 2001).

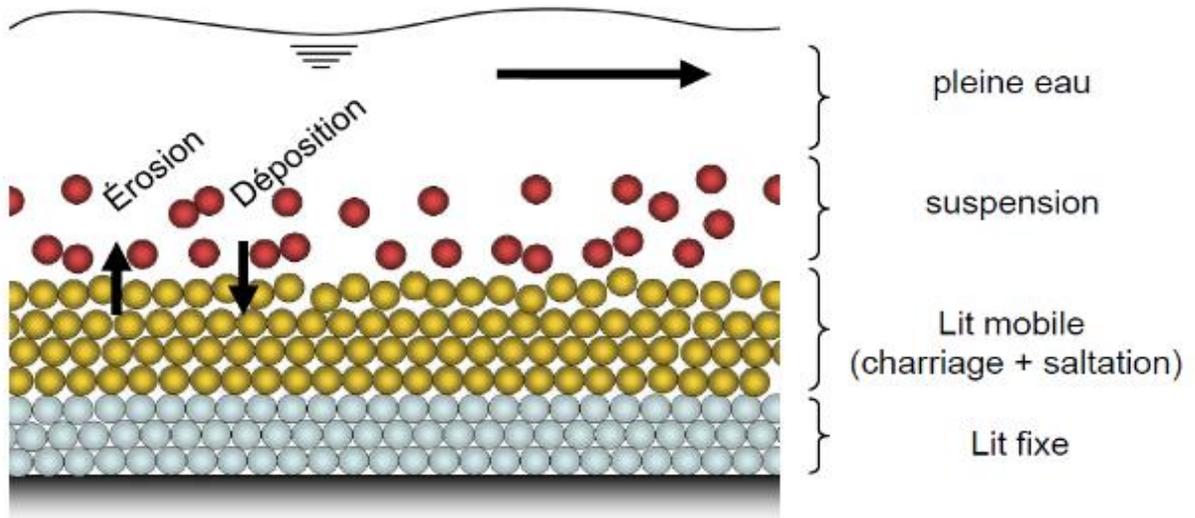


Fig. 3.2: Modes de transport solide [\[hmf.enseeiht.fr\]](http://hmf.enseeiht.fr)

III.3.3 La sédimentation

C'est l'étape finale de l'envasement des retenues, à l'état naturel les oueds transportent progressivement des quantités importantes de sédiments, soit par charriage soit en suspension, les eaux chargées de matériaux fins forment un courant de densité qui s'écoule sur le long de la retenue et transporte ainsi la vase jusqu'au pied du barrage. Dans ce trajet, les sédiments se déposent, des plus grandes aux plus petites, de l'amont vers l'aval de la retenue (Ben Aïcha 2011).

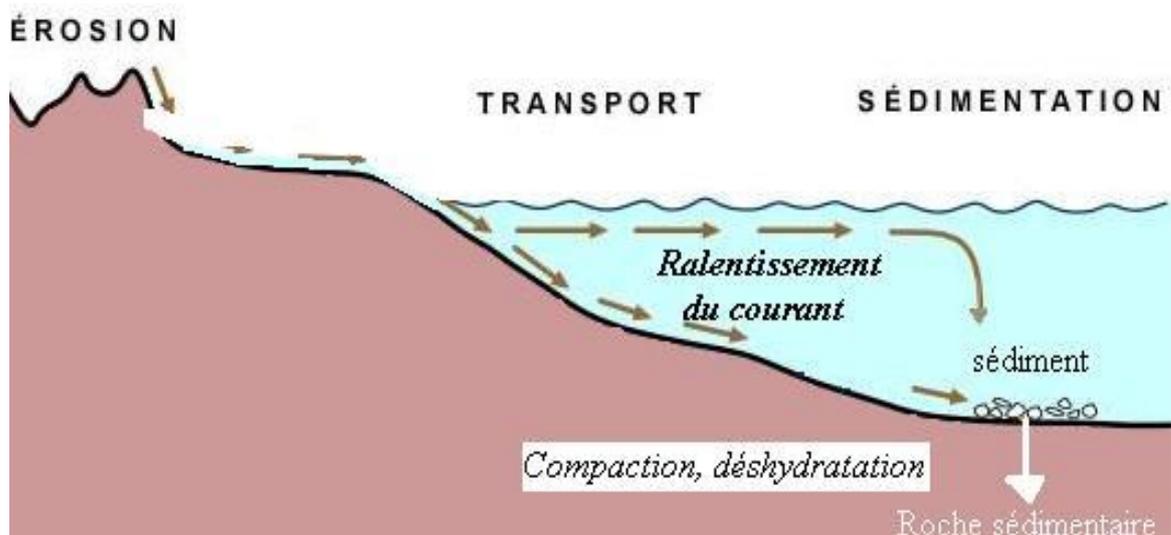


Fig.3.3 : Mode d'envasement du barrage www2.ggl.ulaval.ca

III.4 Problèmes posés par l'envasement

Parmi les problèmes que pose l'envasement des retenues de barrages, on peut retenir quatre inconvénients majeurs qui sont la réduction de la capacité, l'obturation des organes de vidange, la sécurité de l'ouvrage, l'envasement des canaux d'irrigation et la dégradation de la qualité de l'eau.

III.4.1 La réduction de la capacité de la retenue

Cette réduction de la capacité de stockage de l'eau est sans aucun doute la conséquence la plus dramatique de l'envasement : chaque année le font vaseux évolué et se consolide avec une occupation d'un volume considérable de la retenue.

Le tableau (3.1) donne une idée sur les pertes de capacité de quelques barrages dans le monde dû à l'envasement.

Tab 3.1 : Réduction de capacité suite à l'envasement dans certains barrages (RMINI, 2003)

Pays	Barrages	Capacité Initiales 10 ⁶ m ³	% annuel de perte De capacité
Algérie	K'sob	1.6	2.5
	Cheurfa	14.4	2
	Foum El Guerza	47	1.7
	Ghrib	280	1.1
Autriche	Bachental	0.7	3
	Brug	0.24	2.5
Chine	Hesenglin	8.6	6.5
	Dona Al Donza	23	6.5
Espagne	Pedro Martin	19	5.9
	Las trocas	8.9	1.9
France	Beauvoir	11	3
	Escale	15.7	4.2
Grèce	Lauros	1	4.3
	Tungbhadra	3750	1.4
Inde	Nizamascar	1050	1.4
	Panchet Hill	1580	0.7
Maroc	Lalla Takerkouste	77	2
	Mohamed 5	72.5	2
USA	Laguanda (colorado Arizona)	25	10
	Imperial	104	11.2

La quantité de sédiments déposée dans les 98 barrages Algériens était évalué à 560.10^6m^3 en 1996, soit un taux de comblement de 12.5 % ; celle-ci sera de 650.10^6 en l'an 2000, soit un taux de comblement de 14,5 %.

A titre d'exemple, la capacité initiale du barrage de GHRIB (Médéa) était de 280.10^3m^3 en 1939 et n'était plus que de 109.10^6m^3 en 1977.

Une projection a été faite pour l'an 2010, d'où il ressort que certains barrages comme par exemple ceux de FERGOUG et de ZARDAZAS finiront par périr si des dispositions radicales ne sont pas prises.

Les barrages de OUED EL FOUDDA, GHRIB, BOUHANIFIA, K'SOB, et FROUM EL GHERZA ne pourront plus garantir les quantités d'eau potable et d'irrigation nécessaires.

Tableau n° 3.2 : capacité de certains barrages Algériens en 2010 (REMINI, 2003)

Barrages	Capacité initiale 10^6m^3	Quantité de vase en 2010(10^6m^3)
Fergoug	18	31
Zerdaza	31	37
Oued- El- Fouda	228	82
Ghrib	280	227
K'sob	11.6	11.1
Foum- El-Gherza	47	39.5

III.4.2 Obturation des organes de vidange

Un autre danger causé par l'envasement est celui du non fonctionnement des organes de vidange de fond. Le cas du barrage d'OUED EL FOUDDA (Chleff) peut servir d'exemple. En effet la vanne de fond a été bloquée depuis 1948 et elle se trouve maintenant sous plus de 40 m de vase. Toute opération de vidange de la retenue est de ce fait est impossible.

III.4.3 La Sécurité de l'ouvrage

Indépendamment du problème de la diminution de la capacité du réservoir, l'envasement pose celui de la stabilité de l'ouvrage. A titre d'exemple pour le barrage de ZARDAZAS les services concernés ont diminué le volume de l'eau claire de 9.10^6 m^3 en 1990 uniquement pour assurer la sécurité de l'ouvrage bien évidemment cela s'est fait au détriment de l'approvisionnement de la population de la ville de SKIKDA et du périmètre du SAF-SAF le volume régularisé qui était de 20.10^6 m^3 s'est trouvé réduit à environ 10.10^6 m^3 .

III.4.4 Envasement des canaux d'irrigation

Le dépôt des sédiments dans une retenue de barrage destinée à l'irrigation pose le problème de comblement des canaux du réseau d'irrigation se trouvant à l'aval du barrage, en effet dans les pays arides et semi-arides, l'irrigation se fait généralement par de l'eau chargée en sédiments c'est ainsi que ces particules fines vont se déposer dans les canaux réduisant leur section mouillées et bien sûr le débit d'eau véhiculé le curage et le nettoyage des canaux devient des opérations quotidiennes (Remini et al 2003).

III.4.5 Dégradation de la qualité de l'eau

Les sédiments véhiculent des produits chimiques (nitrates, sulfates ...) provenant en particulier des apports en éléments fertilisants ainsi une dégradation de la qualité de l'eau et favorisant l'eutrophisation de ces réservoirs (Remini et al 2003).

III.5 Perte de capacité par envasement du barrage de Zit-El-Emba

Le suivi de l'envasement aux barrages se fait par la réalisation des levés bathymétriques, ces derniers peuvent être réalisés périodiquement. Toutefois, cette opération n'a été réalisée qu'une seule fois au barrage de Zit-El-Emba en l'an 2004, ce qui rend délicat le suivi, au cours du temps, de la quantité de vase déposée. Dans telle situation le recours aux études faites sur les barrages situées dans les zones ayant le même climat et même situation géographique, que celui du barrage de Zit-El-Emba peut nous renseigner d'une manière approchée sur l'évolution de l'envasement dans la cuvette de cet ouvrage.

Tableau n° 3.3 : Etat d'envasement dans le barrage de Zit El Emba en 2004

Barrage	Commune	Wilaya	Année de mise en eau	Capacité initial en Hm ³	Capacité relevée en 2004 en Hm ³	Taux d'envasement
Zit-El- Emba	B- Lakhdar	Skikda	2002	117.390	116.590	0.800

Les figures 3.4 et 3.4, montrent la vase déposée dans la cuvette du barrage de Zit-El-Emba, on peut voir que le volume de la vase progresse dans le barrage.



Fig. 3.4 : Photo prise de l'embouchure d'oued El-Hammam dans le barrage de Zit-El-Emba

Quelque soit l'état du bassin versant la vase arrivant à la cuvette peut modifier sa forme initiale.



Fig. 3.5 photo de la vase dans le barrage de Zit-El-Emba du coté de la route de Bouati-Mahmoud.

III.6 Perte de capacité par envasement du barrage de Beni-Haroun

a) Situation et caractéristiques du barrage

Considéré comme le plus grand barrage de l'Algérie d'une capacité de 1 milliards de m³, le barrage de Beni Haroun est d'une grande importance économique pour toute la région de l'Est (Fig. 3.7 Situé à 500 km à l'est d'Alger, le barrage de Beni Haroun a été mis en exploitation en 2003 Fig. (3.6).

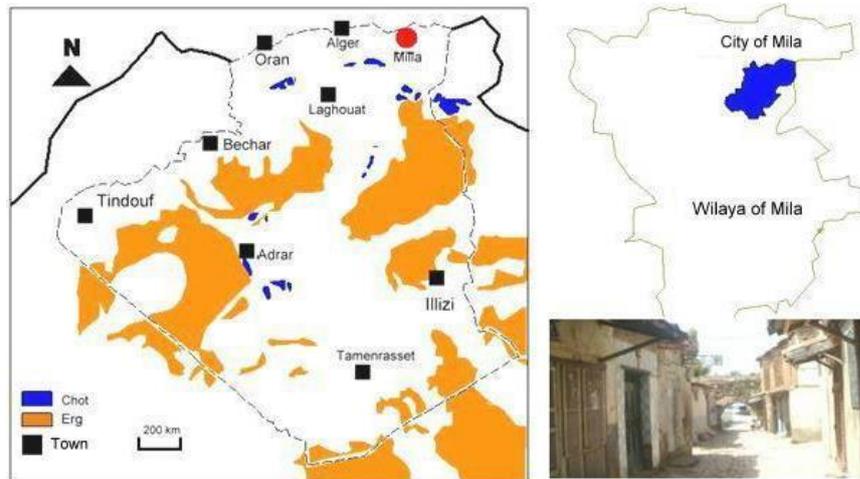


Fig. 3.6 : Situation du barrage de Beni Haroun [Remini 2003]



Fig. 3.7 : La digue du barrage de Beni Haroun [Remini 2003].

b) Classement du barrage de Béni Haroun vis-à-vis de l'envasement

Sur la base du levé bathymétrique réalisé par l'Agence Nationale des Barrages et Transferts en 2013, la capacité du barrage au niveau normal a diminué de 998 Hm³ en 2003 jusqu'à 958 Hm³ en 2013, soit un taux d'envasement moyen égal à 12 millions de m³/an, soit un taux de comblement de 12% en 2013, donc le taux de comblement annuel est de 1.2%/an. Sur la base de ces valeurs le barrage de Béni Haroun peut être classé comme un barrage à fort taux d'envasement. La quantité de 12 millions m³ de boue déposée annuellement au fond du barrage de Beni Haroun ne peut être transportée que par les courants de densités dans les deux branches : Rhumel et Nadja. (REMINI. B et TOUMI. AW, 2017).

c) Evolution de l'envasement dans le barrage de Béni Haroun

Pour suivre l'évolution de l'envasement au cours des années d'exploitation nous avons besoin d'au moins une dizaine de levés bathymétriques. Cependant, il existe que deux levés bathymétriques, le levé de 2004 exécuté par l'équipe du barrage et le levé de 2013 effectué par l'agence nationale des barrages et transferts. Pour compenser le manque de données nous avons utilisé la méthode de prévision de l'envasement obtenu pour les barrages du Maghreb (Hallouche et Remini, 2005). La relation appliquée pour les barrages à fort taux d'envasement est $V/V_0 = 1.62 t^{0.87}$.

Nous avons représenté sur la figure (3.8) l'envasement en fonction du temps. Il est intéressant de constater que l'envasement évolue suivant deux lois, une linéaire et l'autre parabolique. Au débit, l'envasement évolue linéairement : les particules entrantes ne pouvaient plus être évacuées, le seuil des vannes est plus haut que le fond, au fur et à mesure que les particules se décantent la pente du fond tend vers la pente d'équilibre. Le dépôt diminue de plus en plus dans le lac qui se compense par des dépôts de plus en plus à l'amont du barrage. Dans ce cas on assiste à un fléchissement de la courbe de l'envasement qui prend la forme d'une parabole.

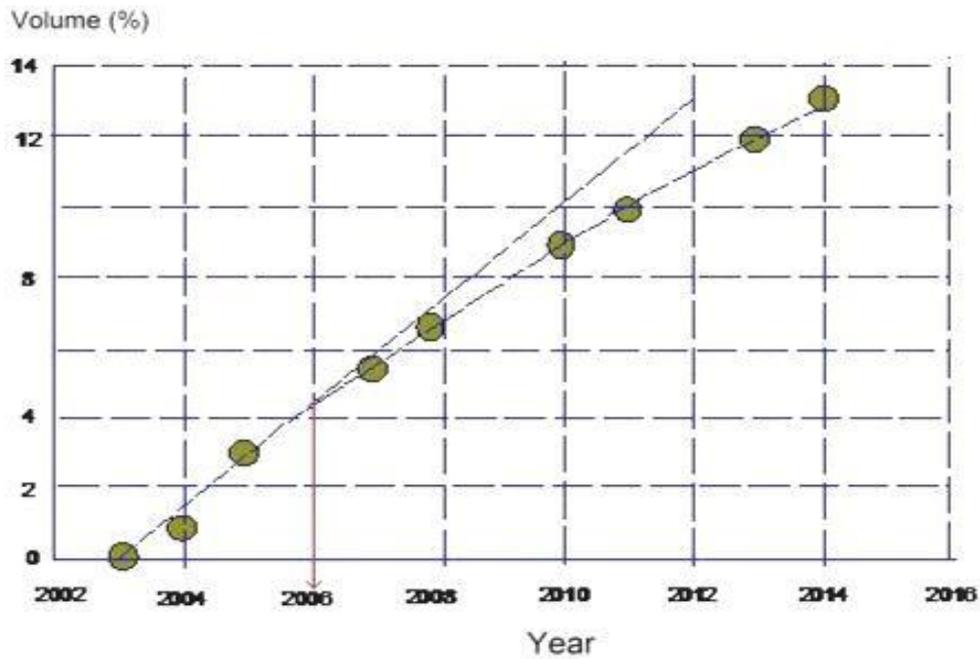


Fig. 3.8 : Evolution de l'envasement en fonction du temps. (REMINI. B et TOUMI. AW, 2017).

d) Graphe de l'envasement de Béni Haroun

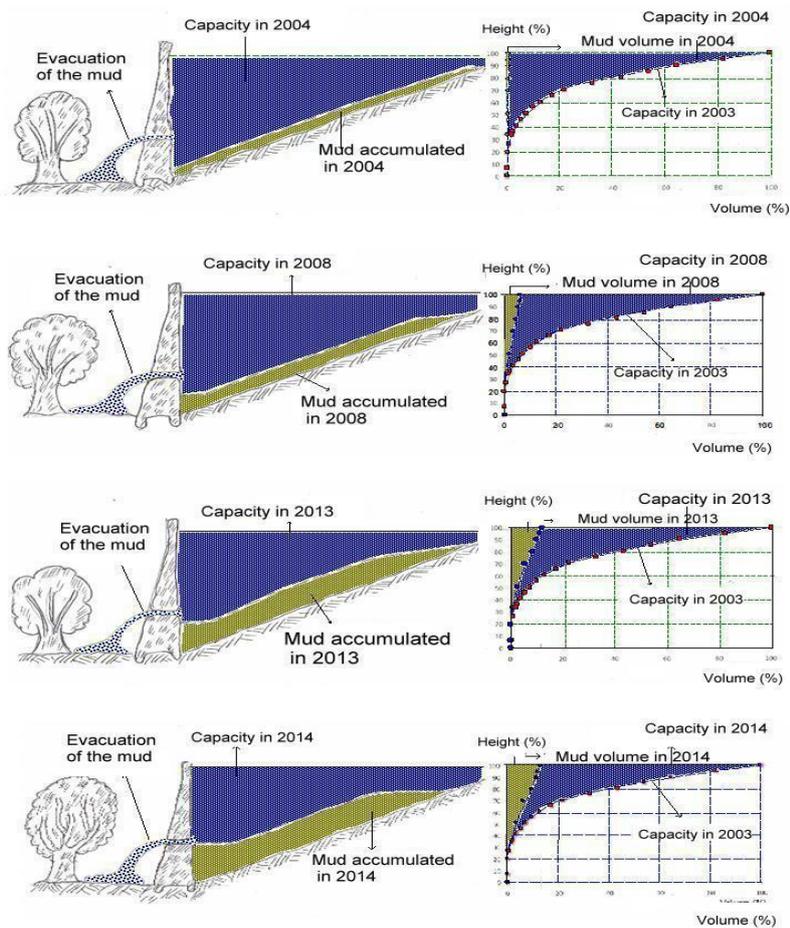


Fig.3.9:Graphes de l'envasement du barrage de BENI HAROUN pour les années 2004.2008.2013.2014. (REMINI. B et TOUMI. AW, 2017).

III.7 Perte de capacité par envasement au barrage de Zardézas

Nous avons synthétisé les principaux résultats, des trois levés topo-bathymétriques, pour les niveaux normale de la retenue et des plus hautes eaux dans le tableau 3.4.

Tableau 3.4 : Volumes et surfaces aux niveaux normal et des plus hautes eaux pour les 3 levés topo-bathymétriques

Paramètres	Levé 1986	Levé 2003	Levé 2006
Surface au NNR (Hectares)	193.4787	189.963091	187.738
Volume stocké au NNR en (m ³)	20.802.476	18.67885503	17.421000
Surface au NPHE (Hectares)	205.7000	202.58	202.058
Volume au NPHE en (m ³)	24.194.464	20.010000	20.744000

Des trois levés bathymétriques réalisés, on peut constater une diminution de la capacité de stockage à la cote normale de la retenue, l'explication qui peut être donnée est que, malgré les travaux de dévasement qui se sont déroulés dans cette cuvette, la vitesse de sédimentation est supérieure à celle de dévasement.

Pour mettre en exergue la variation de la capacité de stockage au cours du temps, nous avons représenté dans la figure 3.10 la variation des volumes d'eau dans la retenue en fonction des cotes pour les trois levés bathymétriques réalisés.

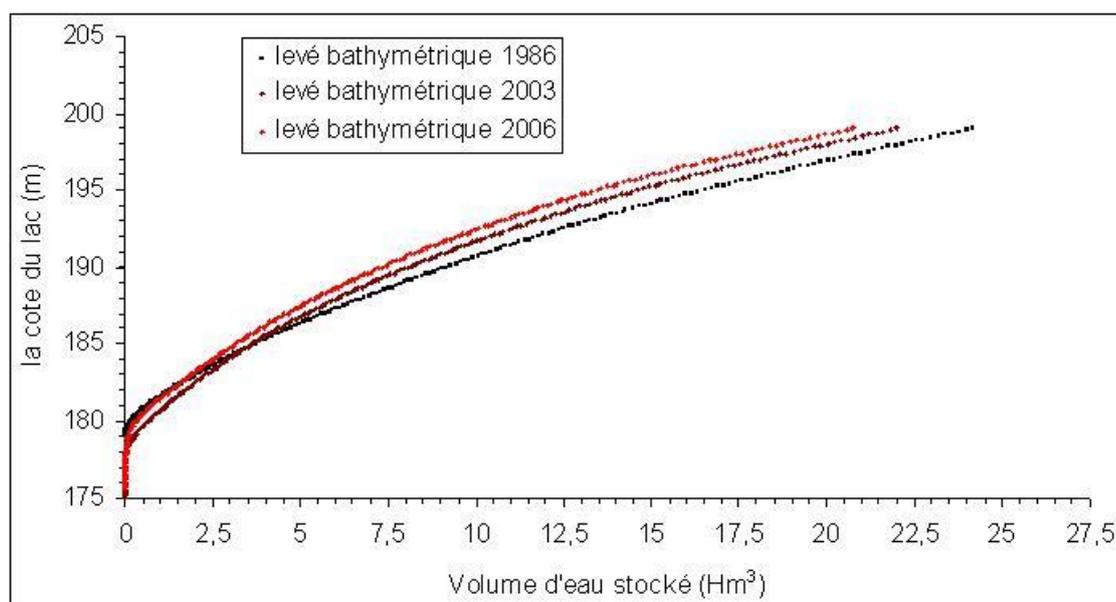


Fig. 3.10 : Variation des volumes d'eau stockés en fonction des cotes du lac dans le barrage des Zardezas, Algérie (Source de données, ANBT)

La différence enregistrée entre les trois courbes témoigne de la modification qu'a subi la forme initiale de la cuvette du barrage des ZRDZS. Ce changement de forme est dû aux matériaux transportés par l'eau et déposés dans sa cuvette.

Le volume se trouvant entre les trois courbes est considéré comme perdu, car la vase a pris la place de l'eau. Après 20 ans du premier levé bathymétrique et pour la même cote du lac, on enregistre une diminution à chaque levé bathymétrique, du volume d'eau stocké dans la retenue du barrage des Zardezas, cette perte est due sans aucun doute à la quantité de vase déposée dans cette retenue.

En effet, une vitesse faible de sédimentation de $0,1247 \text{ Hm}^3/\text{an}$ est enregistrée entre 1986 et 2003 du fait que la cuvette a subi un très fort dévasement durant cette période, alors que la forte vitesse d'envasement, $0,42 \text{ Hm}^3/\text{an}$, constatée entre l'an 2003 et l'an 2006 est due aux quantités faibles de sédiments extraites par dévasement de la retenue d'une part et d'autre, ce qui est possible, à la grandeur de quantité de vase arrivée à la cuvette du barrage.

Sous le niveau de 184 m, on assiste à une augmentation du volume stocké par rapport à celui en 1986, cette augmentation est due au dragage stationnaire et aux vases extraites par les six vannes de dévasement. L'analyse des plans topo-bathymétriques de l'an 2006 montre que la zone située entre la digue et 1200 m en amont du barrage est draguée jusqu'à la cote moyenne 180 m. Au de là des 1200 m le talus abrupte montre la limite entre la zone draguée et la zone non draguée avec une pente de 24% (ANBT, 2006). Près du talus, des fosses qui atteignent la cote 176 m sont dues au dragage stationnaire. Pour mettre en évidence l'influence des actions curatives et préventives sur la capacité de stockage actuelle et future de cette cuvette et les quantités de sédiments entrantes dans laquelle, nous avons tracé la courbe représentons la variation dans le temps de la capacité de stockage de la cuvette du barrage. L'action curative, par dragage, effectuée dans la cuvette du barrage des Zardezas n'arrivaient pas encore à mettre sa capacité de stockage même pas au-dessus de la moitié de son volume de stockage initial. En effet, malgré ces travaux, le phénomène de sédimentation persiste et on assiste chaque année à des pertes d'eau difficilement récupérables à cause de la complexité du phénomène et du coût élevé du dévasement. La forte diminution de la capacité de stockage d'eau de la retenue du barrage des Zardezas d'un côté et d'un autre côté l'importance de cet ouvrage vis-à-vis la région où il était inauguré, a poussé l'Agence Nationale des Barrages et Transferts, au mois de septembre 1992, à entamer des opérations de dévasement par dragage de sa cuvette.

La figure 4 donne la variation au cours du temps de la quantité de sédiments déposées dans la cuvette du barrage des Zardezas en tenant compte des quantités arrachées au dévasement par dragage.

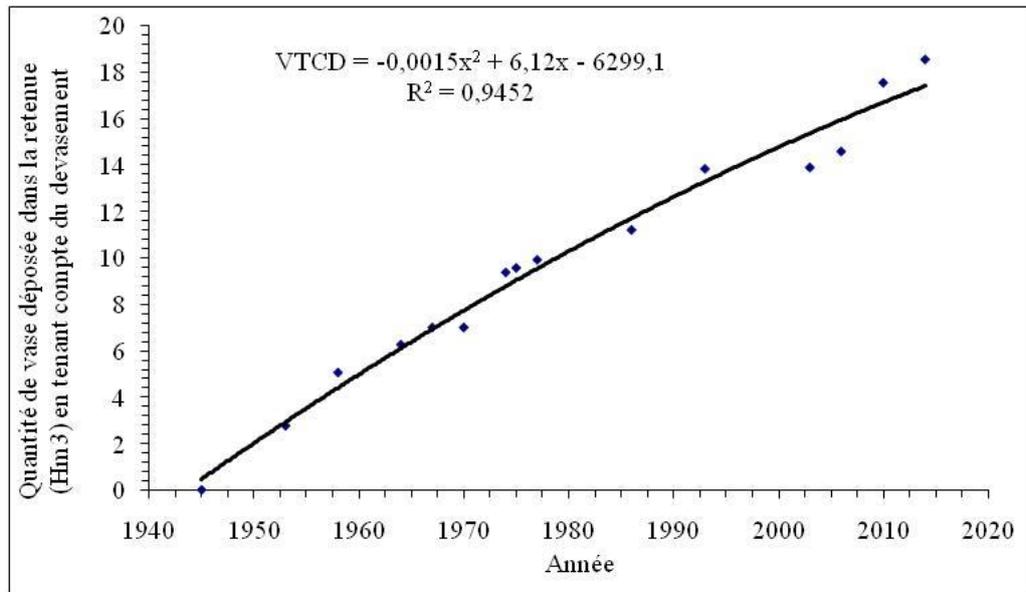


Fig.3.11 : Quantités de sédiment déposées au cours du temps, en tenant compte du dévasement, dans la cuvette du barrage des Zardezas, Algérie (ANBT & REMINI.B)

La courbe représentant la quantité de sédiments déposée dans la cuvette de ce barrage est devenue plongeante à cause des quantités de vase enlevées par dragage. Donc le dévasement effectué à cette cuvette à prolonger la durée de vie de cette infrastructure mais il est insuffisant du fait que sa capacité de stockage persiste à diminuer. La figure 3.12, illustre l'ampleur de la quantité de vase déposée dans la cuvette du barrage de Zardézas.



Fig.3.12 : Photo élucide l'état dramatique vis-à-vis la vase dans la cuvette, du barrage de Zardezas (TOUMI, Janvier 2017)

De ces représentations, nous pouvons juger que le dévasement, par dragage, effectué au barrage des Zardezas a prolongé sa durée de vie, il a permis également à cet ouvrage de continuer à jouer une grande part de ses rôles dans la région où il est inauguré. Sans parler du coût du dévasement par dragage au barrage des Zardezas et sans cette action curative sa capacité de stockage serait de 3 Hm³ au lieu de 32 Hm³.

III.8 La lutte contre l'envasement

La majorité des barrages en Algérie ont une durée de vie de l'ordre d'une trentaine d'année. Il est rare cependant, que l'on puisse admettre à l'issue d'une période aussi courte, l'abandon d'un aménagement hydraulique particulièrement lorsqu'il s'agit de réservoirs destinés à l'adduction en eau potable ou l'irrigation dont les intérêts socio-économiques justifient une garantie de service illimitée. Il importe donc, non seulement de prévoir le rythme de comblement de la retenue de façon aussi précise que possible, de manière à prendre les dispositions économiques et sociales qui s'imposent mais aussi et surtout de sauvegarder au maximum l'existence de la retenue en luttant contre ce phénomène utilisés en Algérie. Nous pouvons citer:

III.8.1 Le reboisement, la restauration des sols la formation des banquettes, la plantation de végétation à longues tiges dans les oueds sont des actions nécessaires pour lutter contre l'envasement.

Il est à noter que les tamaris qui ont poussé à l'amont des barrages de Bouhanifia, du Fergoug, de Cheurfas, constituent de véritables pièges à sédiments. Dans le cadre de la protection des bassins, un programme spécial a été lancé par les services des forêts. Il s'agirait de traiter une superficie de 1,5 millions d'hectares d'ici l'an 2010. Soit un rythme de réalisation de 67000 hectares par an. Les coûts sont évalués à environ 16 milliards de DA.

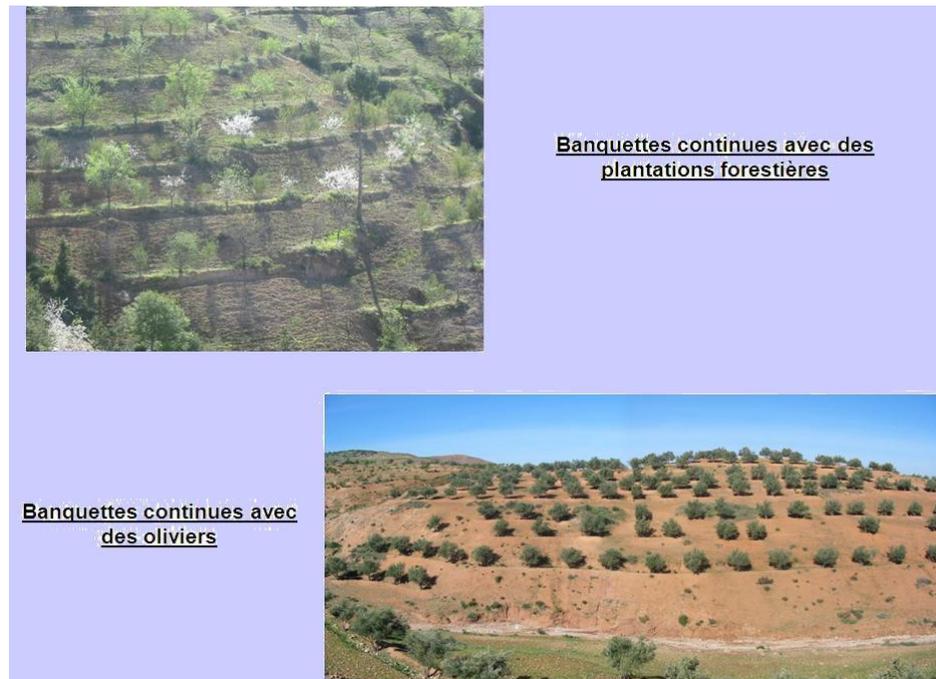


Fig. 3.13 photo d'une plantation par banquettes continues [www.ma.auf.org]

III.8.2 Réalisation de barrage de décantation

Il existe un cas en Algérie, c'est le cas du barrage de Bougezoul qui est exploité partiellement comme bassin de décantation du barrage de Ghrib. Ce barrage a permis de retenir depuis sa création environ 35106 m³ de vase. Il réduit l'envasement de Ghrib de près de 24 %.

III.8.3 Surélévation des barrages:

Cette technique a été réalisée sur cinq barrages: Fergoug, Mefiouch, Bakhada, K'sob, Zardézas. La surélévation des barrages permet d'augmenter la capacité de la retenue et donc de compenser la valeur envasée. Exemple :

- **Barrage de Zardezas**

Il a été mis en eau en 1945, sa hauteur de 37 m lui permet d'assurer un volume de 14,9 10⁶ m³. Du fait de l'envasement accéléré, la capacité du barrage est passé de 7,5 10⁶ m³. En 1977, la hauteur du barrage a été portée à 45 m (12, 5 m de plus). Le volume ainsi obtenu est de 31. 10⁶m³.

- **Barrage de K'sob**

Barrage de capacité de 11,5 10⁶ m³ pour une hauteur de 32 m construit en 1939 pour l'irrigation du périmètre de K'sob. Du fait de la progression de l'envasement de la retenue, la capacité a été réduite à moins de 4 10⁶ m³. En 1975, la hauteur du barrage a été porté à 43 m (15 m de plus) pour porter sa capacité à 31 10⁶ m³.

III.8.4 Chasses dites à l'Espagnole

Méthode utilisée pendant les premières crues pour les barrages de moindre importance (tel que barrage du barrage Hamiz, Beni Amrane, K'sob, ...). Cette méthode est efficace quand elle est possible. Elle consiste à vider complètement le barrage au début de l'automne et à le laisser vide, toutes vannes ouvertes, jusqu'aux premières pluies. La première crue enlève sans difficulté les vases de l'année non encore consolidées.

III.8.5 Soutirage des courants de densité

Le soutirage des courants de densité a donné des résultats spectaculaires en Algérie. Cette méthode est utilisée aux barrages d'Ighil Emda et Oued El Fouda

- **Barrage d'Ighil Emda**

Le barrage d'Ighil Emda est de capacité $156 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ à la cote 532 m au-dessus du niveau de la mer. Il a été mis en eau en 1953. Notons que près de 50 % de vases ont été soutirés grâce au système de soutirage à savoir sur $88.773.564 \text{ m}^3$ d'apports solides jusqu'à l'année 84. Seulement $45.657.458 \text{ m}^3$ ont réussi à se décanter et se consolider alors que $43.116.106 \text{ m}^3$ ont été soutirés. [REMINI B., KETTAB A., HMAT H. 1995]

- **Barrage de Oued el Fouda**

Il a été mis en service en 1932 avec une capacité initiale de $28 \cdot 10^6$ de m^3 . Devant la progression de l'envasement de la retenue et ce qui a entraîné le blocage de la vanne de fond, le barrage a été percé de 04 vannettes de dévasement (opérationnelles en 1961). Ce système a permis d'évacuer de 1961 jusqu'à 1993 environ $12 \cdot 10^6$ de m^3 de vase.

- **Barrage de Fom El Gherza**

Grâce à la vanne de fond $600 \cdot 000 \text{ m}^3$ de vase ont été évacuées de 1989 jusqu'à 1993. Notons que de 1982 jusqu'à 1989, la vanne a été bloquée par la vase. [REMINI B. , AIENARD J-M. KETTAB A. – 1996]

III.8.6 Dragage des barrages

A travers l'expérience algérienne, le dragage s'est avéré une solution sûre mise à part les difficultés de mise en dépôt et le coût. Jusqu'à maintenant, l'Algérie a procédé à huit dragages sur quatre barrages: Le barrage des Cheurfas, le barrage de Sig, deux barrages de Fergoug et Hamiz. L'Algérie a acquit en 1989 un matériel complexe de dragage à savoir une drague suceuse refouleuse baptisée (Rezoug Youcef N). Cette drague, d'un poids total de 300 t est conçue pour

refouler à une hauteur de 28 m dans une conduite de 700 mm avec un débit maximum de mixture (vase -I- eau) de 1600 Vs et pour draguer à une profondeur de 3 à 16 m [REMINI B., AIENARD J-M., KETTAB A. – 1996]



Fig. 3.14 Exemple du système de dragage dans le barrage de Zardezas.

III.9 Conclusion

L'envasement des retenues est classé parmi l'un des facteurs les plus importants de la perte en capacité. La réduction de la réserve de stockage des ouvrages hydrauliques se voit croître sans cesse au fil de ces derniers temps. Parmi les problèmes que pose l'envasement des retenues de barrages, on peut retenir quatre inconvénients majeurs qui sont la réduction de la capacité, l'obturation des organes de vidange, la sécurité de l'ouvrage, l'envasement des canaux d'irrigation et la dégradation de la qualité de l'eau.

Le suivi de l'envasement aux barrages se fait par la réalisation des levés bathymétriques. Sur la base de ces levées réalisées par l'Agence Nationale des Barrages et Transferts en 2013, le barrage de Béni Haroun peut être classé comme un barrage à fort taux d'envasement. Pour le cas de Zit El Emba il n'y a pas de levées bathymétriques, par contre pour le cas de Zerdazas le taux d'envasement est très élevé, ceci à pousser à une opération couteuse de dragage pour réduire la vase.

Chapitre IV

Perte d'eau par infiltration dans quelques barrages de l'Est Algérien

IV Perte d'eau par infiltration dans quelques barrages de l'Est Algérien

IV.1 Introduction

Un barrage n'est pas totalement imperméable, il y a toujours des infiltrations d'eau. Les mesures des débits de fuites dues aux infiltrations pour quantifier d'une manière approchée la quantité d'eau perdue ont été faites pour les barrages de Zit ELemba, Hammam Grouz et le barrage de Zardezas.

Les infiltrations qui se produisent à travers le corps du barrage et ses fondations, doivent être considérées sous deux aspects :

- Le premier : est la perte d'eau qui réduit le volume emmagasiné.
- Le deuxième : est que ces pertes d'eau peuvent compromettre la stabilité de l'ouvrage sous l'influence du phénomène de renard et des sous pressions.

IV.1 Etude des infiltrations dans le barrage et ses fondations

Aussi faible que soit la perméabilité d'un barrage en terre, il 'ya toujours infiltration d'eau, L'étude des infiltrations doit permettre de déterminer les éléments suivants :

- a) La ligne de saturation du massif du barrage, qui est en pratique confondue avec la ligne le long de laquelle la pression hydrostatique de l'eau au sein du massif est nulle, cette dernière est appelée ligne phréatique, cette ligne délimite la partie sèche ou humide de la partie saturée d'eau du barrage.
- b) La pression de l'eau interstitielle dans le massif, qui peut être déterminée à partir d'un réseau de lignes équipotentiels, c'est -à-dire, des lignes reliant les points d'égal potentiel hydraulique au sein du barrage et des fondations, la position de la ligne de saturation et la connaissance des pressions interstitielles sont utiles pour le calcul de la stabilité de l'ouvrage.
- c) Le débit de fuites dû aux infiltrations qui peut s'obtenir à partir du réseau de lignes de courant orthogonales aux lignes équipotentiels. Ces lignes de courant représentent théoriquement la trajectoire de l'eau à travers le barrage
(ROLLEY. René et all, 1974, technique des barrages en aménagement rural)

IV.3.1 Détermination de la ligne de saturation

La ligne de saturation peut être déterminée par les méthodes suivantes :

a) Le calcul numérique

Le calcul numérique est réalisé sur ordinateur, il peut résoudre le problème des infiltrations par le biais des programmes mis au point, afin de déterminer la position de la ligne de saturation, le potentiel hydraulique et le débit de fuite d'eau.

b) Le modèle électrique

L'analogie électrique est basée sur le fait que le potentiel électrique est régi par la même loi que le potentiel hydraulique.

c) Le modèle graphique

Il représente une méthode simplifiée, la plus souvent utilisée. Cette méthode donne des résultats approchés, mais en général suffisants. L'écoulement des eaux d'infiltrations dans le barrage est régi par la loi de DARCY, $V = K * i$ où K est le coefficient de perméabilité en (m/s) et i : le gradient hydraulique.

IV.3.2 Tracé de ligne de saturation dans une digue homogène

KOSNEY a montré que dans un barrage en terre homogène non drainé, la ligne de saturation peut être assimilée dans sa partie médiane à une parabole d'axe horizontal dont le foyer est situé au pied du parement aval du barrage. L'équation de cette parabole s'écrit,

$$y^2 - y_0^2 - 2xy_0$$

Avec $y_0 = \sqrt{h^2 + d^2} - d$ (d – étant la largeur en base du barrage diminuée de 0.7 et b étant la projection horizontale de la partie mouillée du parement amont. (ROLLEY. René et all, 1974, technique des barrages en aménagement rural)

Les paramètres d , h , y_0 sont représentés sur la figure (4.1)

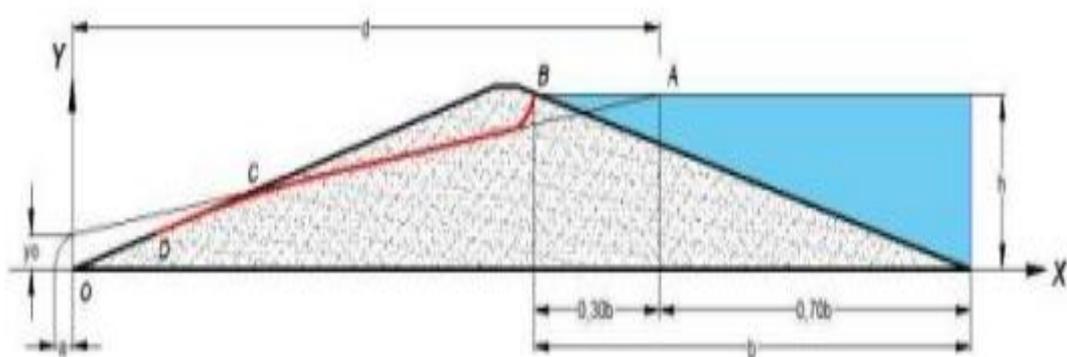


Fig.4.1 : Tracé de ligne de saturation et la parabole de KOSNEY

La parabole de base coupe le plan d'eau au point A à une distance ($AB = 0.3b$). La ligne de saturation dans le massif se confond sensiblement avec la parabole de KOSENY. Pour tracer cette ligne il faut raccorder la parabole de KOSENY au point B du plan d'eau par une courbe normale au parement amont en B (ROLLEY. René et all, 1974, technique des barrages en aménagement rural).

IV.3.3 Tracé des lignes équipotentiels et des lignes de courant

La ligne phréatique confondue avec la ligne de saturation, étant tracée, la construction des équipotentiels peut être faite graphiquement comme indiqué ci-après. Le parement amont est une équipotentielle. La ligne phréatique ainsi que le contact avec la fondation imperméable sont des lignes de courant. La pression hydraulique étant nulle le long de la ligne phréatique, le potentiel en un point de cette ligne est du uniquement à la cote de ce point on construit un certain nombre de points de potentiel, c'est-à-dire de cotes régulièrement décroissant le long de la ligne phréatique.

IV.3.4 Evaluation du débit de fuite

Connaissant le réseau des équipotentiels et des lignes de courant, on peut évaluer approximativement le débit de fuite en appliquant la loi de darcy, le gradient hydraulique moyen le long d'une ligne de courant de longueur moyenne L étant pris égal à $I = H/L$, H étant la hauteur de l'eau à l'amont du barrage, en appelant S la longueur mouillée amont du barrage, le débit q par mètre linéaire de barrage sera :

$$q = K * S * I = K * S * \frac{H}{L}$$

Avec

q : débit par mètre linéaire du barrage ;

S : longueur mouillée du parement amont du barrage,

K : coefficient de perméabilité de DARCY ;

H : la hauteur d'eau à l'amont du barrage, $h = NNR - 60$;

L : longueur moyenne des lignes de courant. Elle est prise comme étant la distance séparant l'extrémité amont du drain horizontal et le centre de la digue mouillée du parement amont.

IV.3.5 Calcul de la pression interstitielle

Quand on dispose du réseau d'équipotentiels il est aisé d'en déduire la pression interstitielle en tout point. Soit à calculer cette pression en M_0 . A partir de M_0 on trace à l'estime une courbe équipotentielle s'intégrant dans le réseau. Cette courbe coupe la ligne phréatique en un point M_1 de potentiel égal à la cote de ce point soit z_1 .

L'égalité des potentiels en M_0 et M_1 s'écrit $z_0 + p_0 = z_1$

D'où la pression interstitielle : $p_0 = z_1 - z_0$

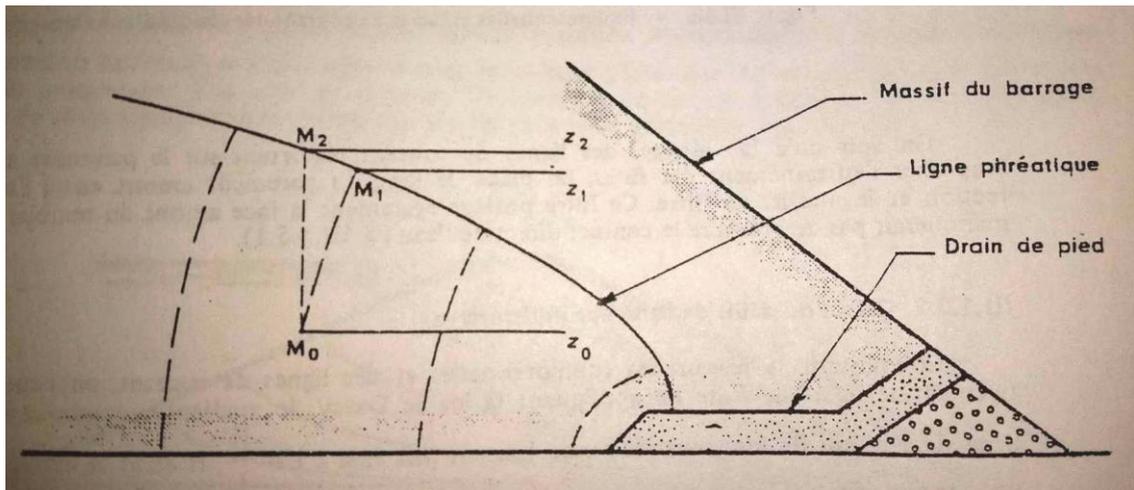


Fig. 4.2 Schéma de la pression interstitielle

IV.4 Dispositifs de protection

IV.4.1 Le drain



Fig.4.3 : Photo d'un drain (PON) à manomètre dans la galerie du barrage de Zit El Emba.

C'est un organe qui est destiné à évacuer les eaux infiltrées à travers le massif. Il est constitué soit de gravier perméable, de tuyau en béton poreux ou en plastique perforé, ces derniers sont entourés d'une couche de gravier. Ils existent plusieurs types de drains à savoir le drain horizontal, le drain vertical et, le drain à tapis filtrant. Les systèmes de drainage sont constitués des matériaux ayant une forte perméabilité ($K = 10^{-4}$ m/s). De ce fait la circulation des eaux d'entraîner des particules adéquates. Pour maîtriser ces phénomènes on renforce le drain par un filtre.

IV.4.2 Le filtre

Il est destiné à retenir les fines particules entraînées par les filets d'eau, circulant dans le massif il est constitué de couches successives de matériaux perméables de granulométrie de plus en plus étroite, pour empêcher le passage des particules les plus fines du massif ainsi, chaque couche du filtre doit jouer le rôle de filtre pour la couche précédente dans le sens de l'écoulement de l'eau.

Pour éviter le colmatage et la dégradation du filtre, il est conseillé d'utiliser des sables dont le coefficient d'uniformité est $D_{60} / D_{10} < 2$

D₆₀ : pourcentage des grains de diamètres < 60 mm

D₁₀ : pourcentage des grains de diamètres <10mm.

Par ailleurs un filtre ne doit pas se dégrader par entraînement ni se colmater. Pour cela, on réalise un filtre d'une composition granulométrique telle que :

- les particules les plus fines du barrage seraient retenues, si non elles étaient entraînées hors de l'ouvrage.
- Les fines particules qu'il contient soient retenues à l'intérieur des vides existants entre les particules les plus importantes.

1) D_{15} du filtre / D_{85} du matériau de base = 4 à 5.

Cependant le filtre ne contient pas plus de 5% de matériaux fins de diamètre 0.07 mm.

2) D_{15} du filtre / D_{85} du matériau de base ≤ 5 .

3) D_{85} du filtre / ouverture maximale du drain ≥ 2 .

4) Les courbes granulométriques des filtres doivent être sensiblement parallèles à celle de la terre du remblai.

IV.4.3 Disposition des drains et des filtres dans un barrage en terre

IV.4.3.1 Drain tapis filtrant

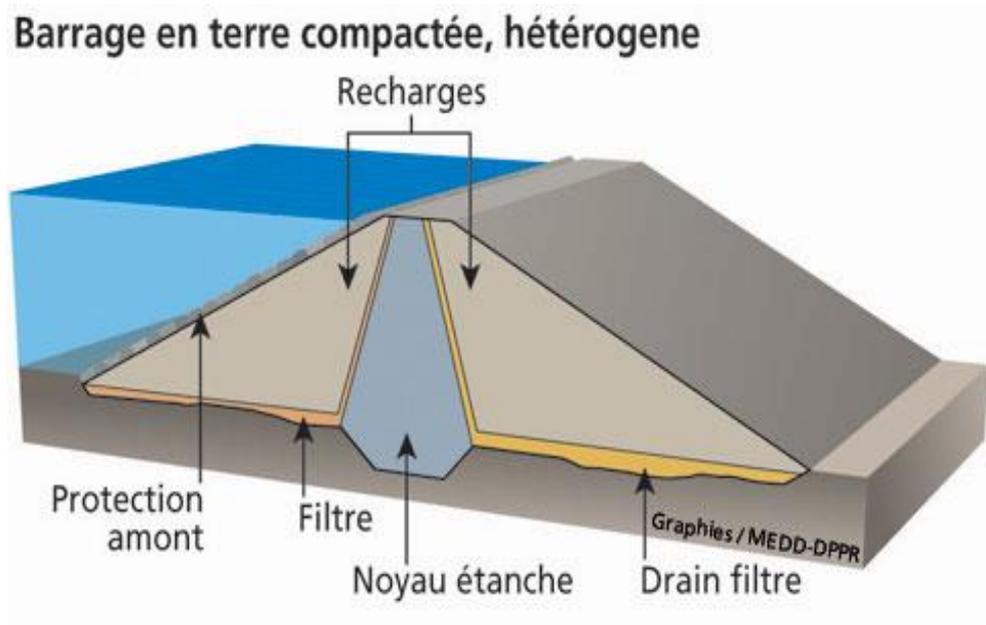


Fig. 4.4 Drain tapis filtrant

Souvent ce type de drains est placé à l'aval de massif. Son rôle est d'intercepter les infiltrations dans le massif, c'est-à-dire de rabattre la phréatique d'une part et d'autre part pour évacuer le débit de fuite qui s'infiltré à travers le massif. Ce type de drain s'étend sur 1/4 ou 1/3 de l'emprise de barrage. On note aussi que ce type de drain est efficace que dans les massifs isotropes pour les quels la conductivité verticale est égal à la conductivité horizontale ($k_v = k_h$). Par ailleurs dans le cas d'un massif anisotrope, le drain tapis n'est pas efficace. En revanche, le drain tapis peut être bâti sur deux types de fondations :

- fondations perméables
- fondations imperméables

Puisque les eaux infiltrées sont interceptées par le massif des fondations, donc il entraîne des éléments fins qui constituent l'ouvrage, d'où la nécessité de protéger par un filtre inverse.

IV.4.3.2 Drain vertical

Barrage en terre compactée, homogène

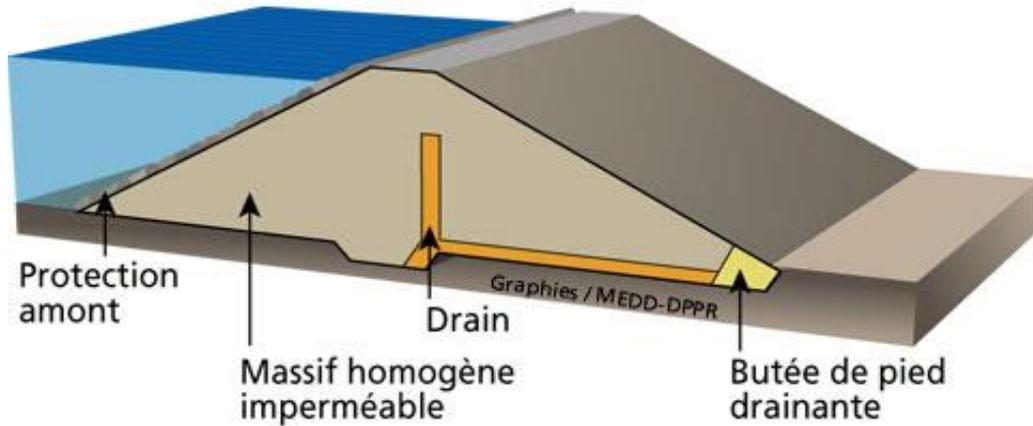


Fig. 4.5 Drain vertical

Le drain vertical placé au centre de la digue constitue une solution plus efficace pour intercepter les eaux d'infiltration. Un tel drain est constitué d'un rideau d'une largeur minimale de 1m en matériau grossier (gravier et sables) dont la granularité est choisie de manière à ce que les conditions de filtre soient réalisées. ce rideau peut être mis en œuvre par déversement du matériau convenable dans une tranchée d'une profondeur de 1.5 à 2m recreusée dans le massif comparé, au fur et à mesure de l'avancement du terrassement du barrage. Il peut remonter pratiquement jusqu'à la cote moyenne du plan d'eau dans la retenue.

IV.5 L'infiltration dans le barrage de Zit El Emba

Durant la période de notre stage dans le barrage de Zit-El-Emba on a remarqué que dans le barrage il' ya des infiltrations dans le saint de la galerie d'injection, en ouvrant les drains nous avons remarqué que l'eau sort, donc on a fait notre étude piézométrique.

IV.5.1 Etude piézométrique dans le barrage de Zit El Emba

Afin de connaître l'état de la ressource en eau en termes de quantité, il est indispensable de surveiller la profondeur de la surface des nappes (niveau piézométrique), les mesures sont réalisées dans des forages, puits ou piézomètres.

La piézométrie est la mesure de profondeur de la surface de la nappe d'eau souterraine. Elle est exprimée soit par rapport au sol en m, soit par rapport à l'altitude zéro du niveau de la mer en m NGF (Nivellement Général Français).

La surface de la nappe correspond au niveau piézométrique. En cas de pompage de l'eau d'un forage, le niveau de la nappe s'abaisse en formant un cône de rabattement. L'illustration suivante montre l'exemple d'une nappe située à 5 m de profondeur, et schématise l'influence d'un pompage.

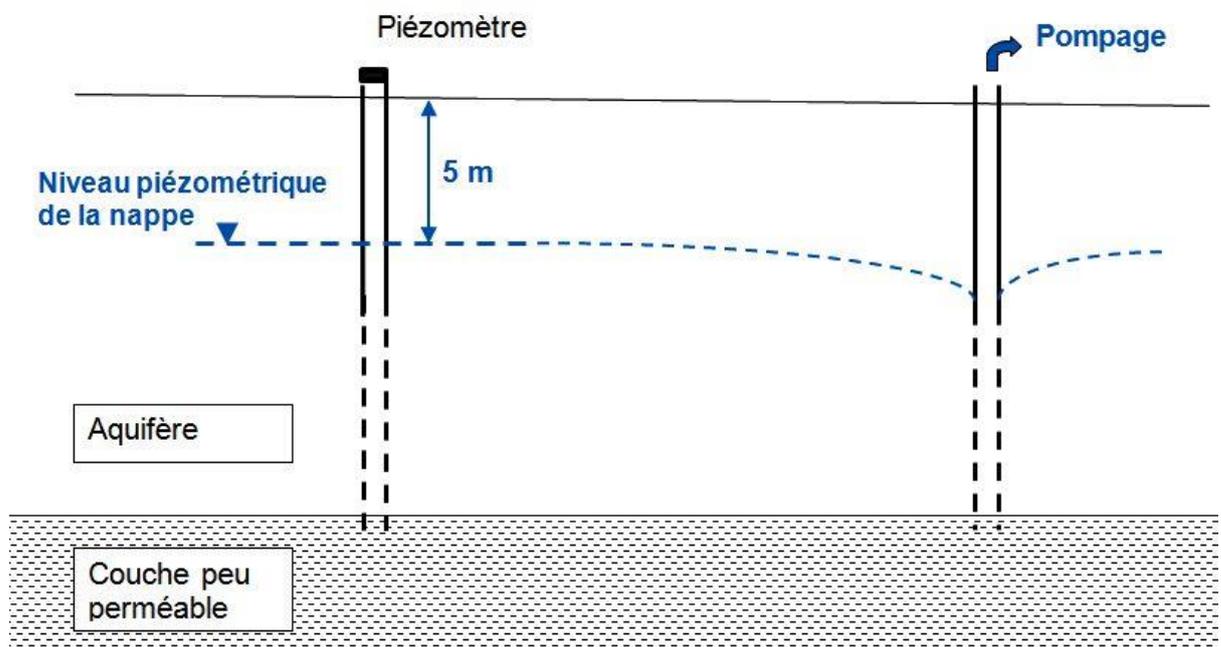


Fig. 4.6 : Représentation schématique de la piézométrie



Fig. 4.7 : Photo d'un piézomètre dans le barrage de Zit El Emba

La retranscription cartographique de la surface de la nappe d'eau souterraine se lit comme une carte topographique. Les courbes de niveau ou iso pièzes donnent des indications sur le sens des écoulements et leur vitesse. L'analyse des fluctuations des niveaux piézométriques permet de déterminer des cycles de recharge et de vidange de la nappe, hautes eaux et basses eaux, à des échelles de temps annuelles ou pluriannuelles.

La piézométrie est indispensable à la compréhension du comportement d'un aquifère, à sa caractérisation, à l'évaluation de ses capacités. Elle permet également de déceler des interactions entre exploitation de différents ouvrages. Des piézométries peuvent être mesurées à différentes échelles : d'un ouvrage à plusieurs nappes, suivant les objectifs poursuivis.

IV.5.1.1 Types de piézomètres

a) Piézomètre ouvert

Les piézomètres « ouverts » sont des tubes qui permettent depuis la surface d'accéder à l'eau d'une nappe phréatique. Ils permettent d'en relever le niveau piézométrique à l'aide d'une sonde poids

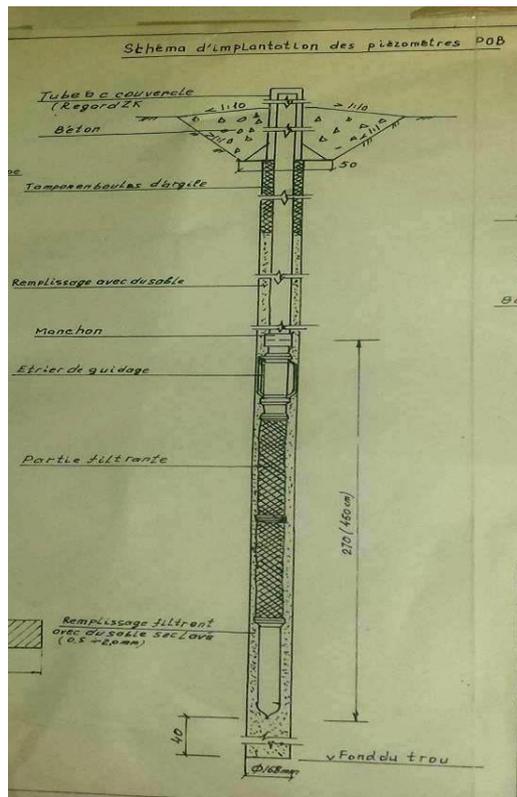


Fig. 4.8 : Schéma du piézomètre ouvert (ANBT)

b) Autres types

Il existe des systèmes plus sophistiqués utilisant un capteur de pression en bout de tube.

c) Tube à prélèvement

On fore souvent des tubes analogues aux piézomètres (quoique d'un diamètre un peu différent) afin de réaliser des prélèvements d'eau dans la nappe, pour en analyser la composition. Cela est souvent le cas après une pollution où la qualité de l'eau de la nappe doit être surveillée, parfois durant plusieurs années. Dans ce dernier cas, il vaut mieux parler de « tube à prélèvement » pour éviter tout malentendu, car de tels forages ne sont pas alors destinés à mesurer la charge hydraulique (qui seule justifie le radical « piézo- »).

IV.5.1.2 Traçage des lignes d'eau au piézomètre

a) traçage du plan du barrage et la localisation des piézomètres

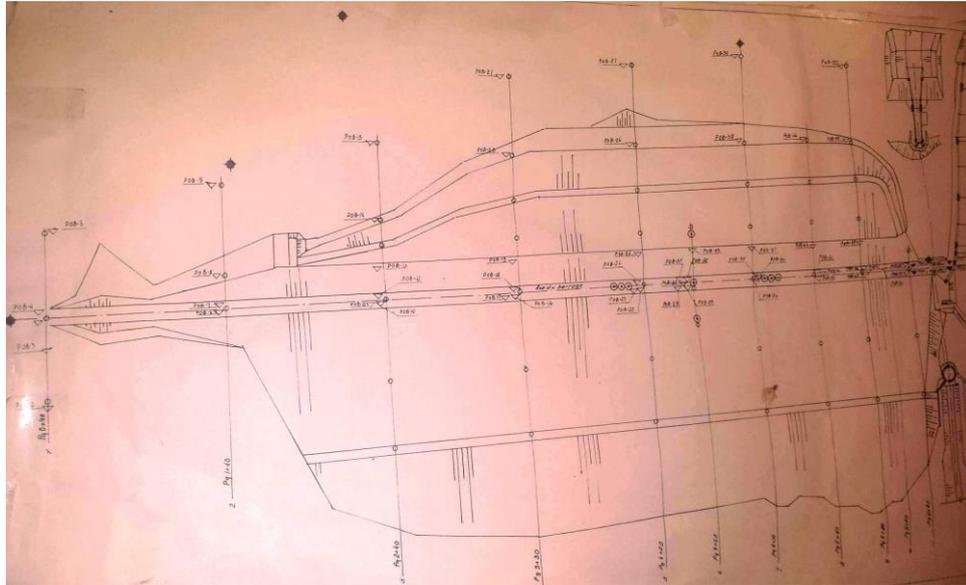


Fig.4.9 : Vue générale de la disposition des piézomètres au barrage de Zit EL Emba
(Sources de données A.N.B.T, 2017)

b) Lignes d'eau

Au niveau du barrage de Zit El Emba, nous avons huit (8) profils, chaque profil contient entre 4 à 6 piézomètres ouverts.

Profil n° 01

Il contient 04 piézomètres qui sont pob2, pob3, pob4 et pob5

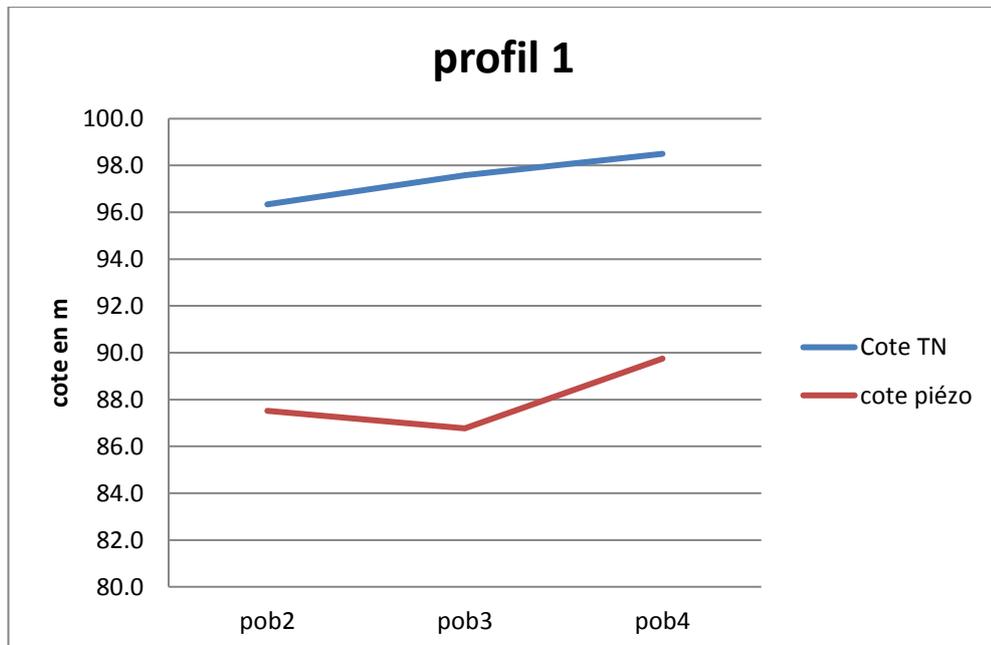


Fig. 4.10 : traçage de ligne d'eau du profil 01

Profil n°2

Au niveau de ce profil nous avons également 4 piézomètres ouverts sans charge, il s'agit des piézomètres POB6, POB7, POB8 et POB9. Toutefois, les deux premiers piézomètres sont bouchés.

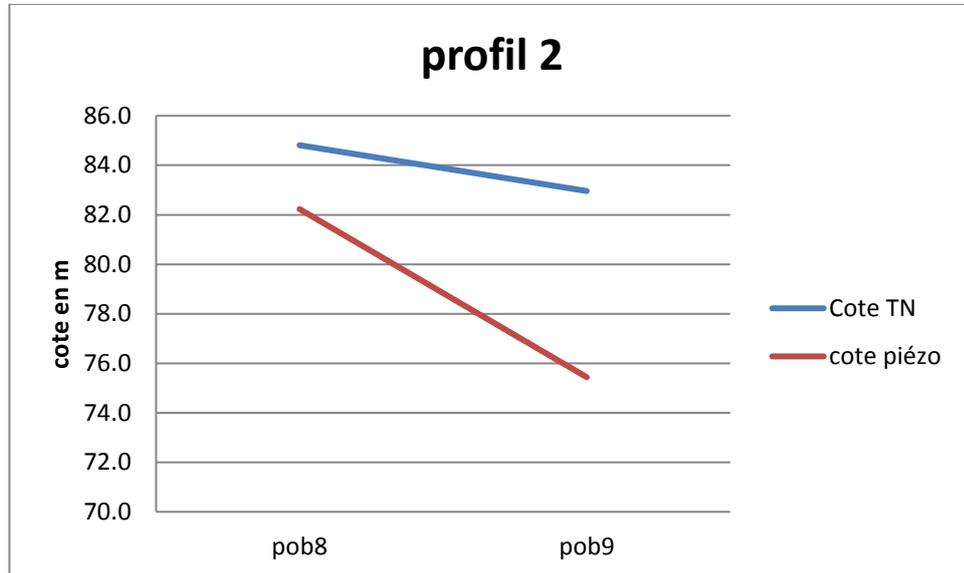


Fig. 4.11 : traçage de ligne d'eau du profil 02

Profil n°3

Le long de ce profil, 6 piézomètres ouverts sans charge sont implantés, il s'agit des piézomètres POB10, POB11, POB12, POB13, POB14 et POB15 sauf que le POB12 est bouché.

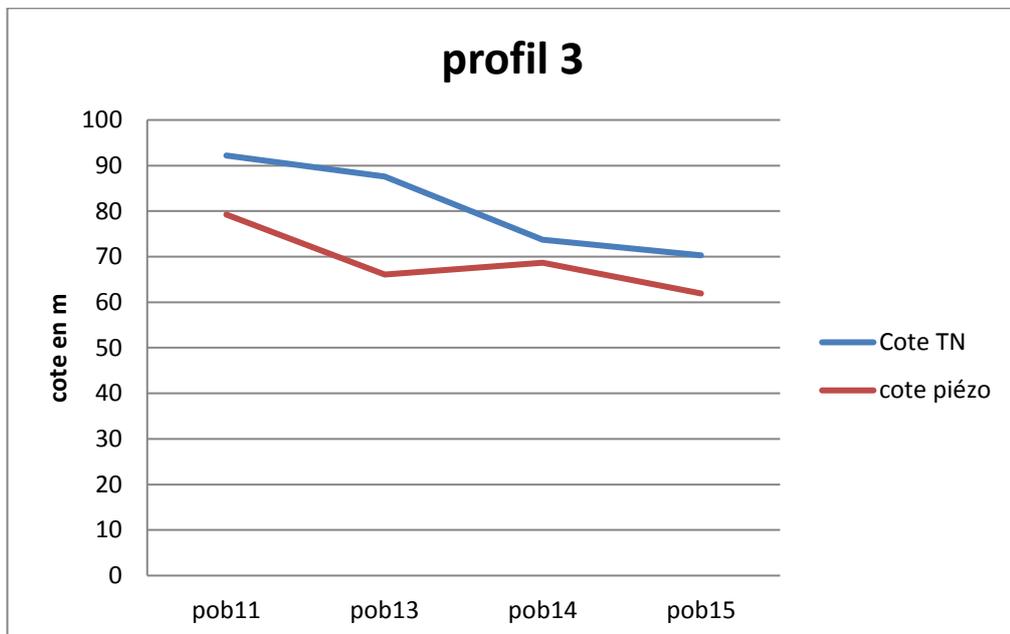


Fig. 4.12 : traçage de ligne d'eau du profil 03

Profil n°4

Au niveau de ce profil nous avons 5 piézomètre pob16. Pob17. pob18. Pob20

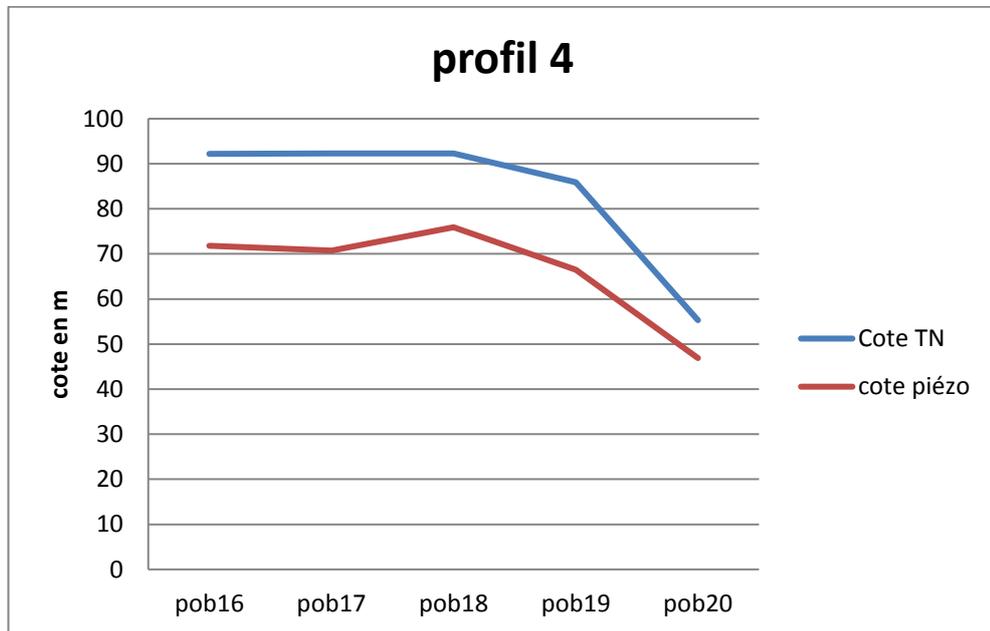


Fig. 4.13 : traçage de ligne d'eau du profil 04

Profil n°5

Nous avons 6 piézomètre pob22. Pob23 .pob24. pob25. Pob26. Pob27. Dont les pob 23 et 24 sont bouchées

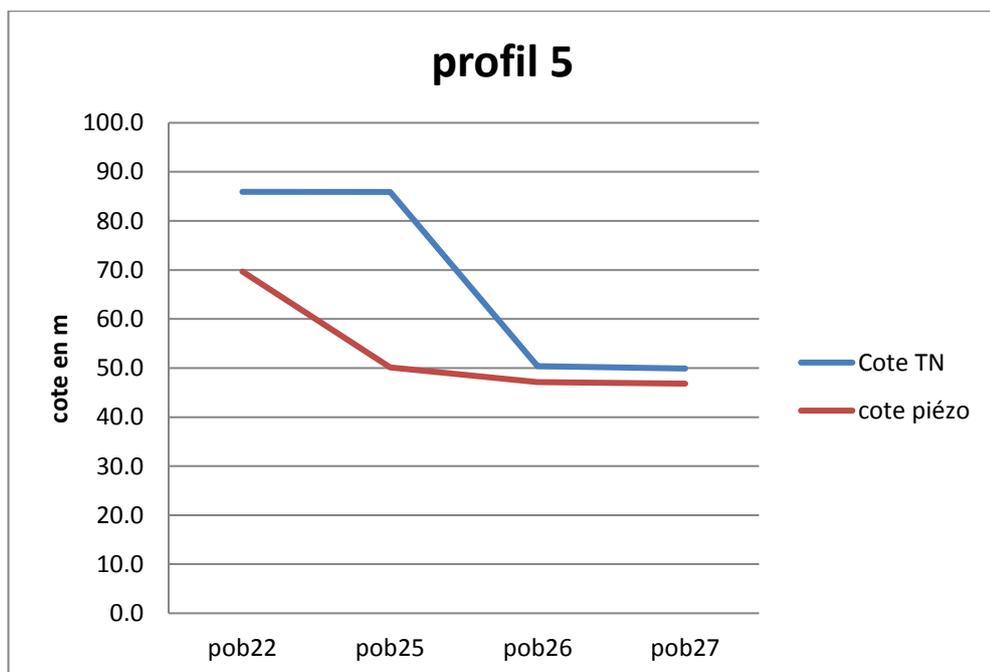


Fig. 4.14 : traçage de ligne d'eau du profil 05

Profil n°6

Il contient 5 piézomètres pob28. Pob29. Pob30. Pob31. Pob32. Dont Pob29 est bouché

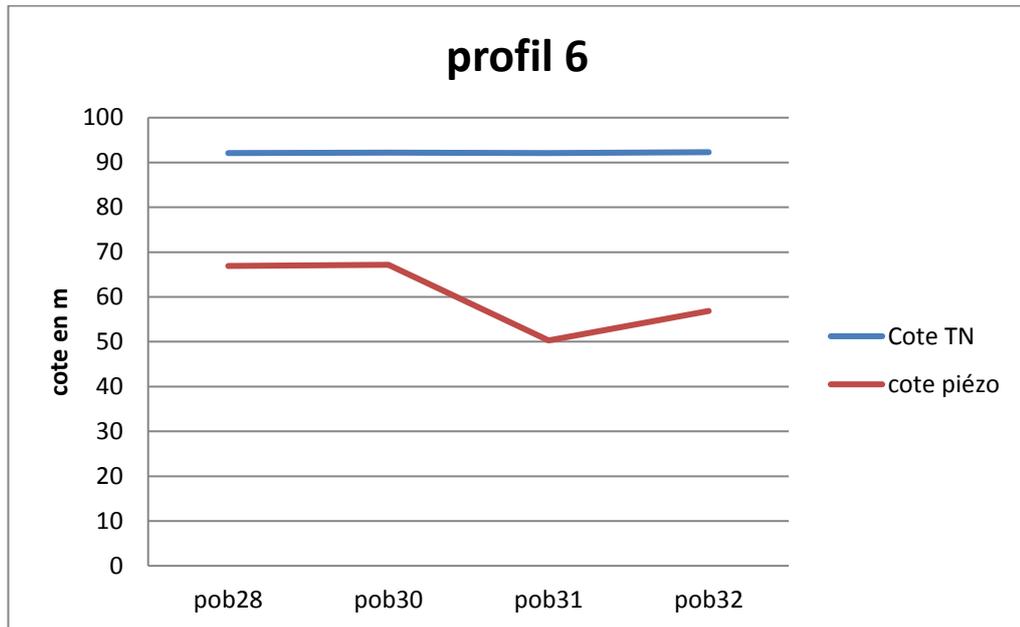


Fig. 4.15 : traçage de ligne d'eau du profil 06

Profil n°7

Il contient 5 piézomètres Pob34. Pob35. Pob36. Pob37. Pob38.

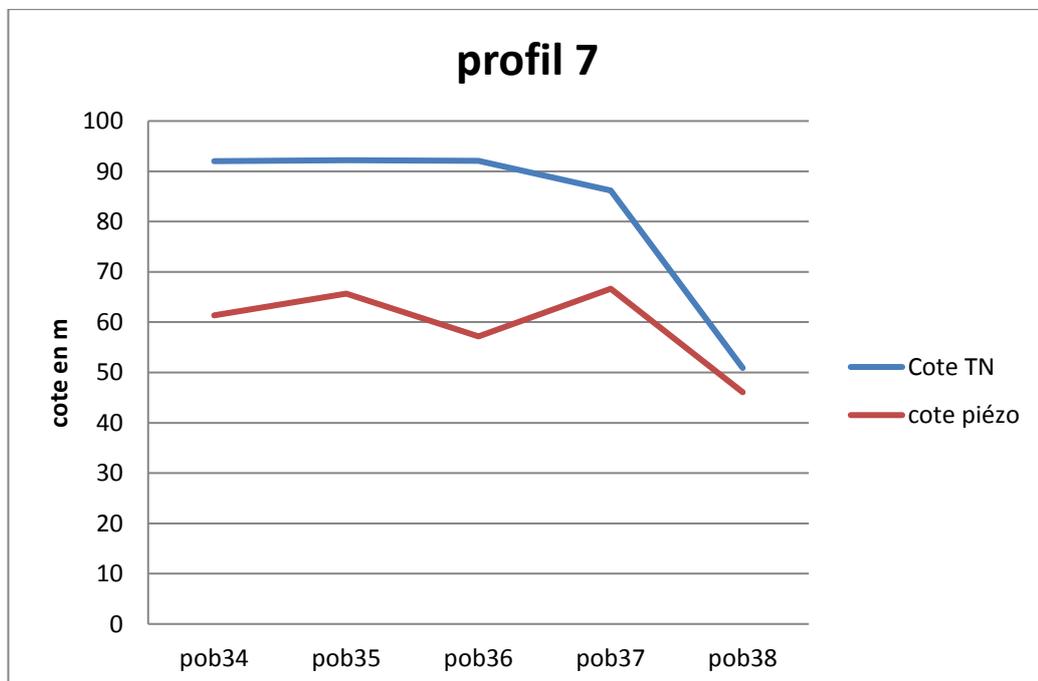


Fig. 4.16 : traçage de ligne d'eau du profil 07

Profil n°8

Il contient 5 piézomètres pob40. Pob41. Pob42. Pob43. Pob44. Dont Pob 42 et 43 sont bouchés

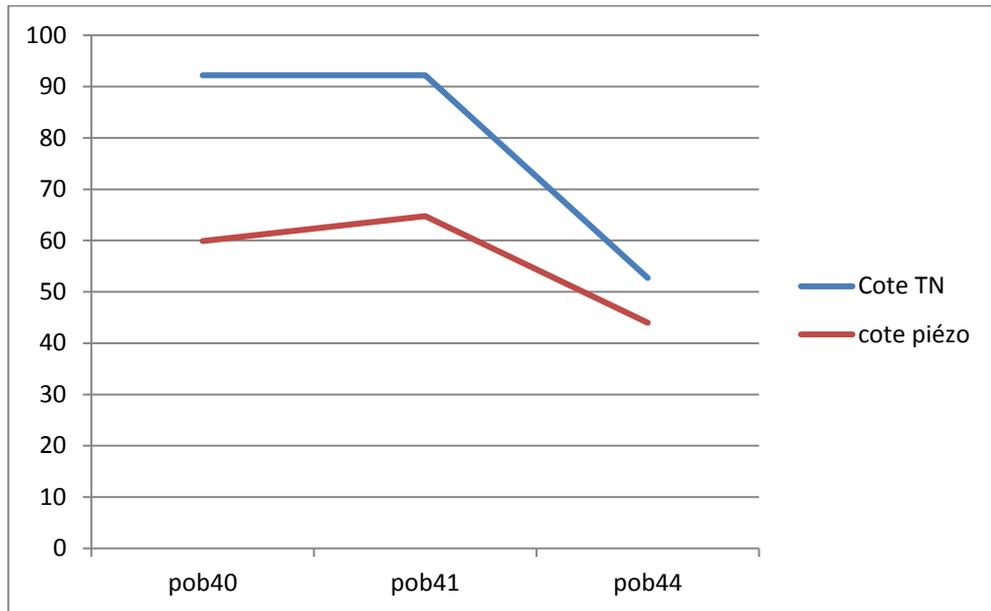


Fig. 4.17 : traçage de ligne d'eau du profil 08

Profil n°9

Contient 6 piézomètres pob45. Pob46. Pob47. Pob48. Pob49. Pob5

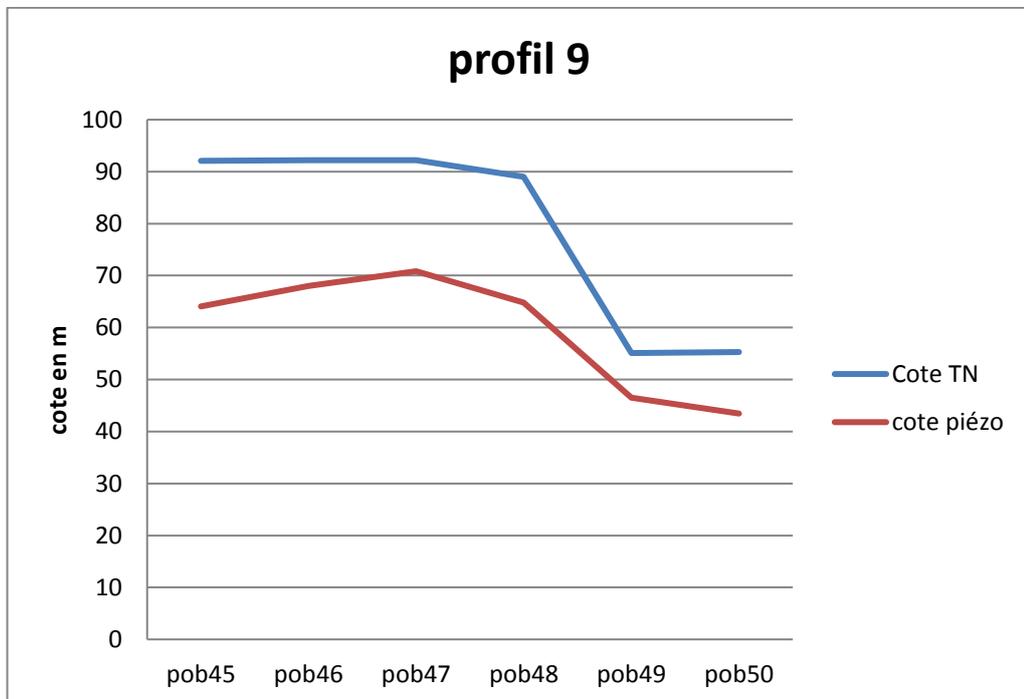


Fig. 4.18 : traçage de ligne d'eau du profil 09

Profil n°10

Contient 6 piézomètres Pob51. Pob52. Pob53. Pob54. Pob55. Pob56

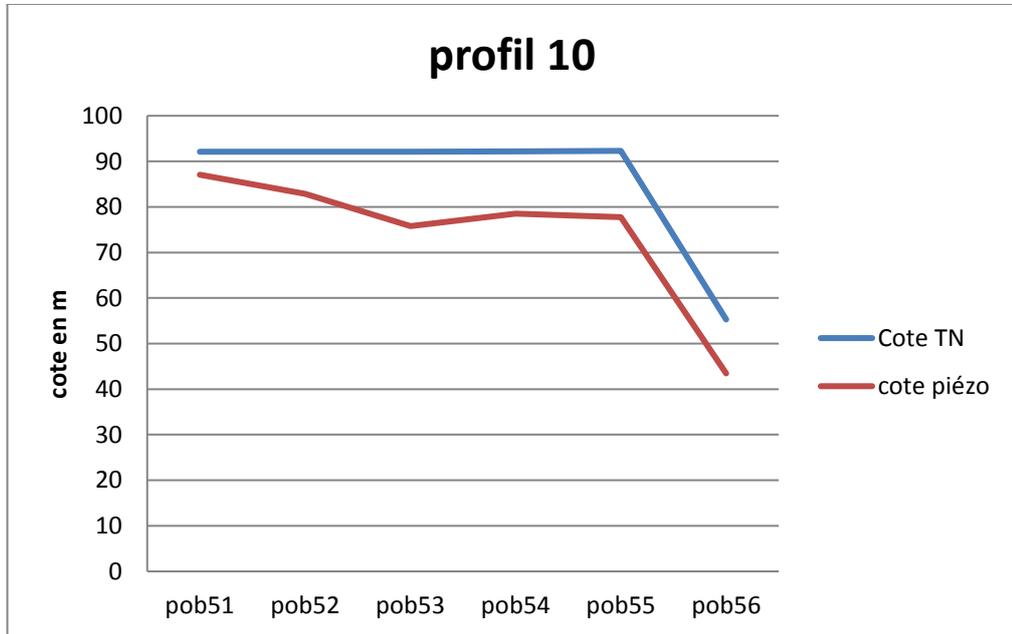


Fig. 4.19 : traçage de ligne d'eau du profil 10

d) Evaluation des fuites dans le barrage de Zit El Emba

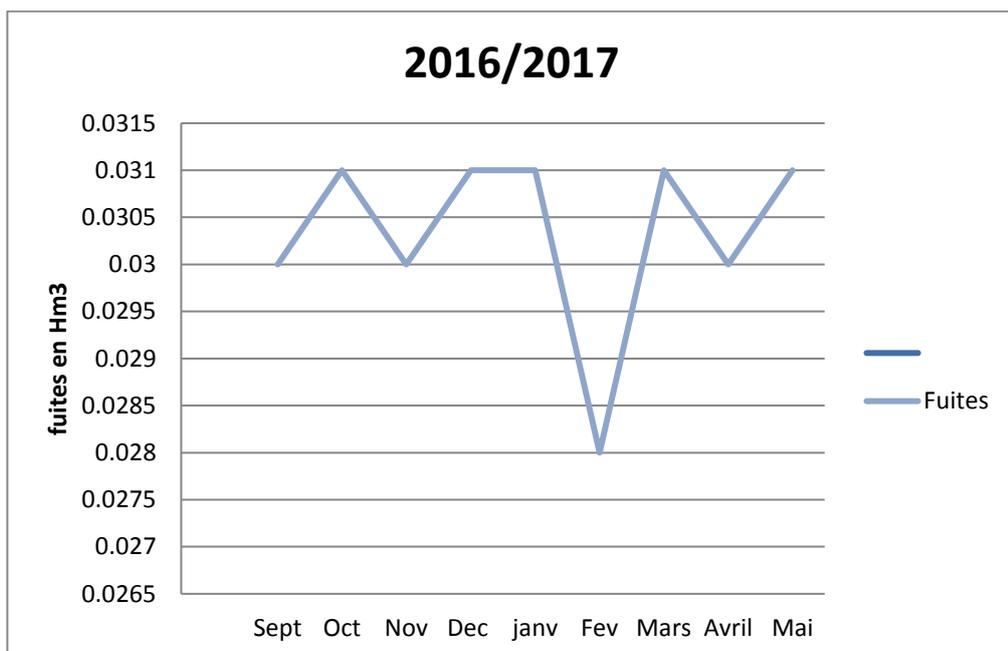


Fig. 4.20 : Les fuites mensuelles durant l'année 2016/2017 dans le barrage de Zit EL Emba

On remarque que les fuites sont élevées et oscillent autour d'une valeur égale à 0.03 Hm³ durant la période froide de septembre a juin et presque nul en été.

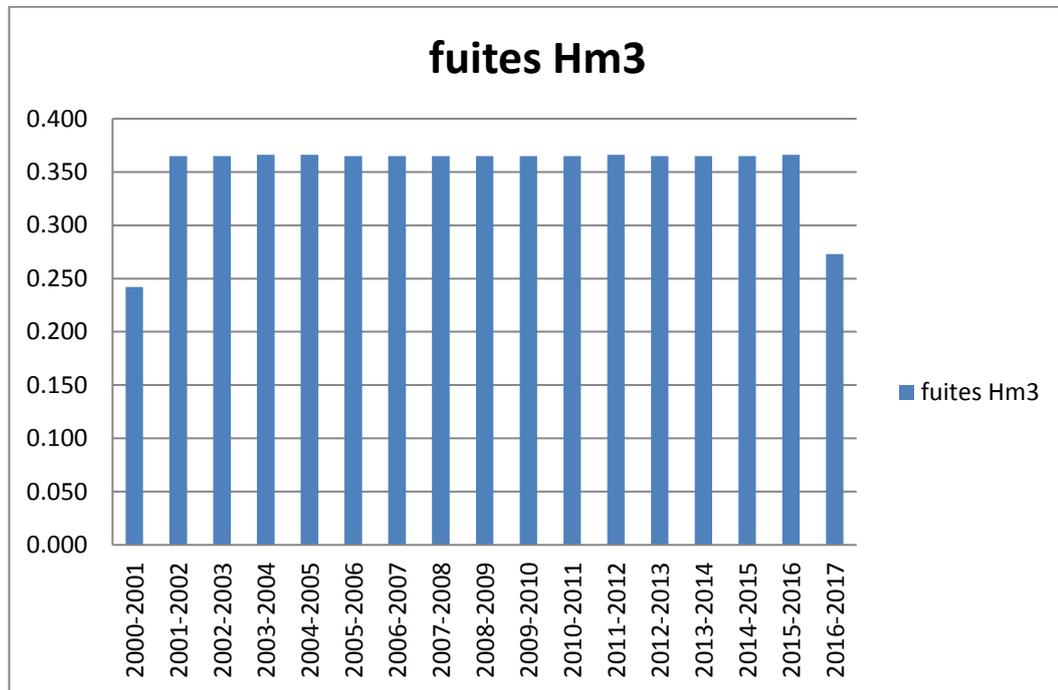


Fig.4.21 Bilan de fuite dans le barrage de Zit El Emba depuis la mise en eau en 2001 jusqu'au 2017

Depuis la mise en eau du barrage de Zit El Emba on obtient une moyenne de 0.2430 Hm³ de fuite par mois celle ci augmente a l année 2003 et ce stabilise jusqu'à 2016 ou elle diminue a 0.273 Hm³ par mois.

IV.6 L'infiltration dans le barrage de Zardezas

Les fuites d'eau au barrage des Zarderas sont mesurées au niveau de la galerie soit par empotement soit par des déversoirs. Elles sont dues aux drains qui minimisent les sous pressions et aux étanchéités surtout à travers la surface de raccordement lors la surélévation de la digue et à la vidange de fond. La figure (4.22) illustre la variation au cours du temps des volumes perdus par fuites.

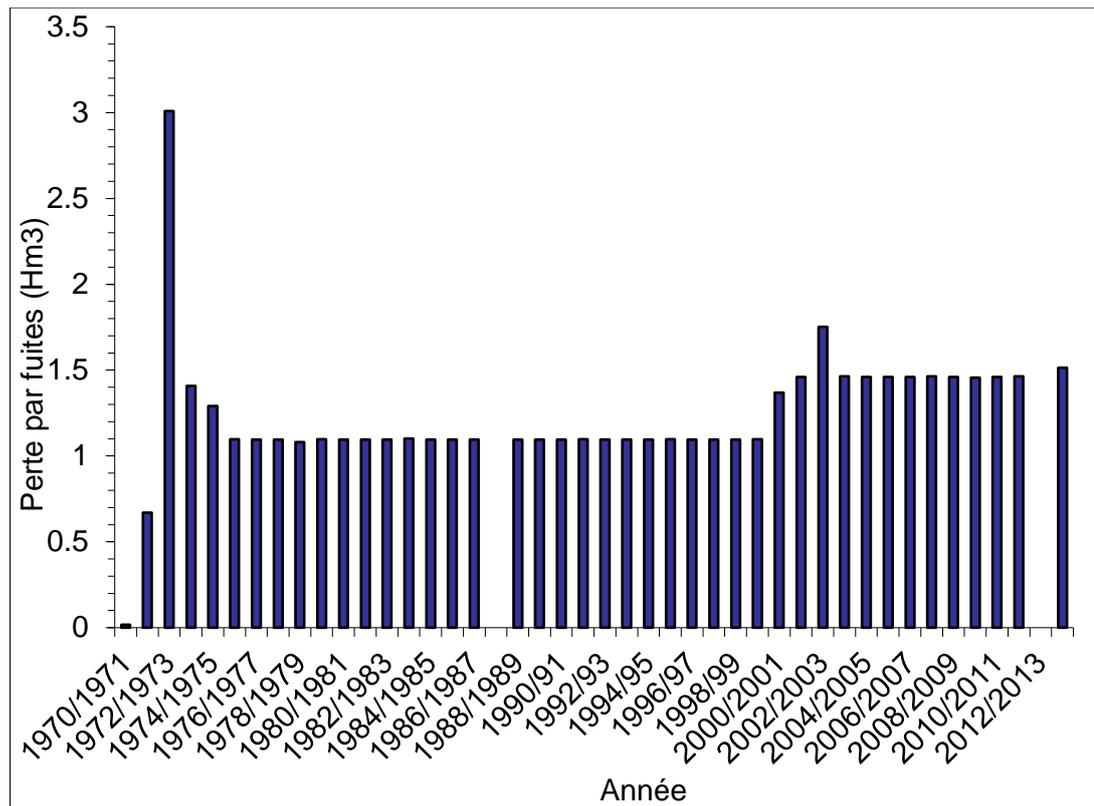


Fig. 4.22 : Variation annuelle des pertes d'eau par fuites au barrage des Zardezas, Algérie

Cette configuration montre qu'à l'exception des années hydrologiques 1972/1973 et 2002/2003, les quantités d'eau perdues par fuites sont presque constantes ce qui n'engendre pas des risques sur la stabilité. Une légère augmentation du volume perdu par fuites d'eau durant l'an 2000 au 2002 est également remarqué, puis il se stabilise à une valeur supérieure, cela peut être justifié par l'apparition des endroits idéaux de fuites d'eau suite à l'enlèvement de la vase qui l'a colmaté. La quantité d'eau moyenne interannuelle perdue par les fuites au barrage des Zardezas est égale à 1,24 Hm³. Chercher à minimiser la quantité d'eau perdue par fuites en assurant l'étanchéité de la digue, de la fondation et des installations hydromécanique devra être une cible.

IV.7 L'infiltration dans le barrage de Hammam Grouz

Le barrage Hammam Grouz rencontre des difficultés de stockage des eaux provenant de l'oued Rhumel, puisque le débit moyen de fuites d'eau à travers la rive droite avoisine 50.000 mètres cubes par jour. Les figures 4.23 et 4.24 montrent successivement les eaux qui sortent de la galerie inférieure (où les drains fonctionnent comme des jets d'eau) et une résurgence apparaît à l'aval de la rive droite.

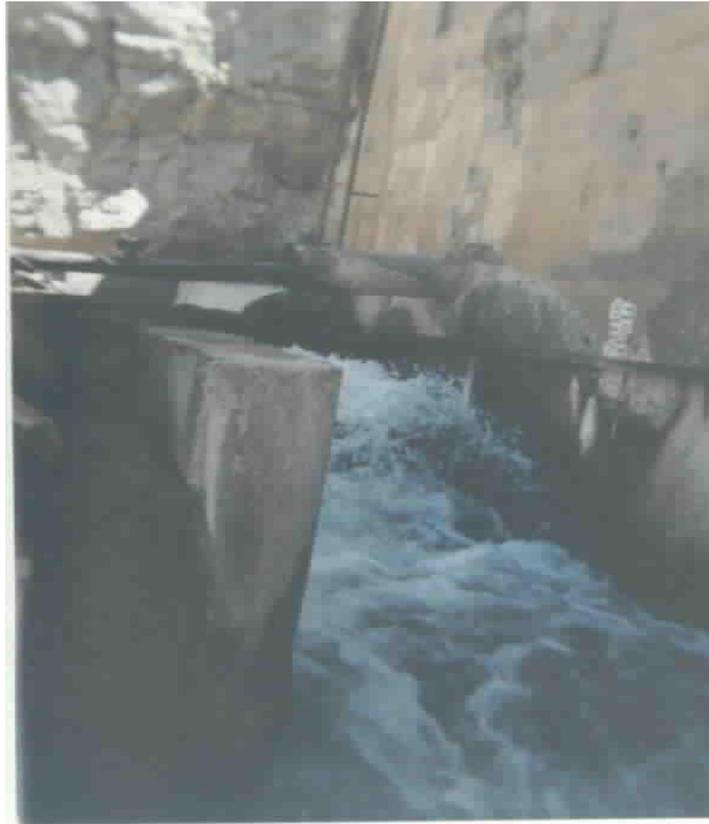


Fig. 4.23 : Photo de l'évacuation des eaux qui fuient dans la galerie inférieure



Fig.4.24: Photo de la résurgence à l'aval de la rive droite

Les zones se trouvant en aval de la digue ont été mises en sous pression, la figure (4.25) illustre le cas d'un forage situé à environ 80 m à l'aval de la digue. Ce qui présente des menaces majeures sur la stabilité de l'ouvrage surtout dans le cas, par exemple, d'un séisme.



Fig. 4.25 : Photo du forage situé à l'aval de la digue du barrage de Hammam-Grouz

Depuis la mise en eau du barrage en 1987, l'évacuateur de crue n'a jamais fonctionné à cause de la faible quantité d'eau reçue au niveau du lac. Durant la période allant du 28 Juin 2002 jusqu'au 27 Avril 2003, à cause de la forte pluviométrie tombée dans le bassin versant, la cote du lac était dans un niveau supérieur à celui de l'évacuateur principal (727.00 NGA).

Cette hauteur d'eau du lac a créé une force de pression hydrostatique presque constante et permanente sur les appuis du barrage durant cette période. Ceci a provoqué le 20/04/2003 des pertes considérables en eau à travers la rive droite. La géologie du site, qui est composée essentiellement des calcaires crétacés bourrés par des matériaux argileux, et l'absence des travaux de consolidation au niveau de la rive droite sont les causes principales de cette fuite d'eau. L'écoulement souterrain créé par la pression hydrostatique a contribué à l'entraînement des matériaux de colmatage en agrandissant les sections d'écoulement.

Le traçage à la Rhodamine et la fluorescéine, a montré que les eaux qui se trouvent à l'aval du barrage appartiennent à celles stockées dans le lac et durant une demi-heure, elles atteignent les résurgences se trouvant à l'aval de la digue. Ces effets néfastes se répercutent sur la quantité stockée, la stabilité de l'ouvrage, les biens et la population se trouvant en aval, nous ont incités à

étudier ce phénomène au niveau de ce barrage afin de contribuer à déceler les endroits défectueux et proposer les actions nécessaires à son rétablissement.

IV.7.1 Étude piézométrique, débit de fuites et vitesse d'infiltration

Les mesures ont été faites au niveau du réservoir et au niveau des piézomètres placés dans les deux rives. Nous avons bénéficié des informations octroyées au cours du temps par 20 piézomètres fonctionnels. Leur situation est représentée par la figure (4.26).

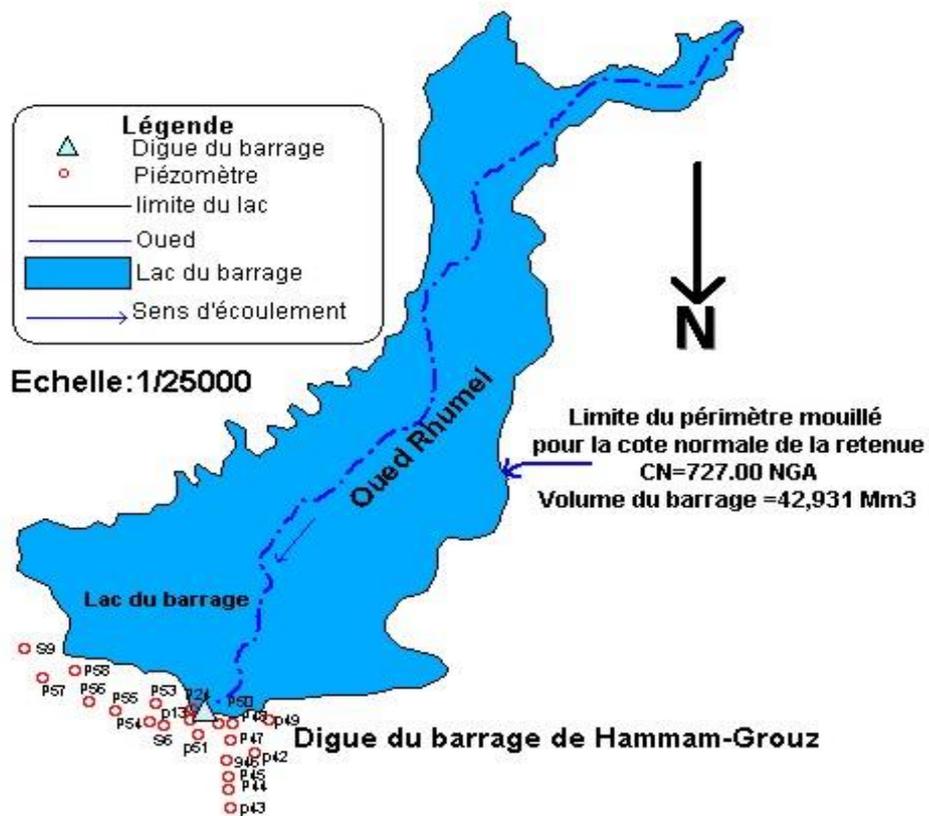


Fig.4.26 : Disposition des piézomètres par rapport au lac du barrage [Agence Nationale des barrages et transferts (A.N.B.T), service d'exploitation du barrage de Hammam Grouz (B.H.G), 2004.

Les résurgences ne sont apparues qu'au niveau de la fondation et de la rive droite et que cette dernière sert comme un appui à l'eau du lac.

La représentation de la fluctuation des niveaux d'eau dans les piézomètres en fonction de la fluctuation du niveau du plan d'eau du lac est plus que nécessaire afin de mettre en évidence le comportement des piézomètres. De cette représentation apparaît un point de brisure à la cote 117,25 m. ceci permet de mettre en évidence le bourrage de la zone traversée par le piézomètre P53 (Figure 4.27). De même les piézomètres P54, P55 et P58 ont donné les mêmes résultats et ont mis en exergue la détérioration des couches géologiques de la rive droite (Figure 4.28).

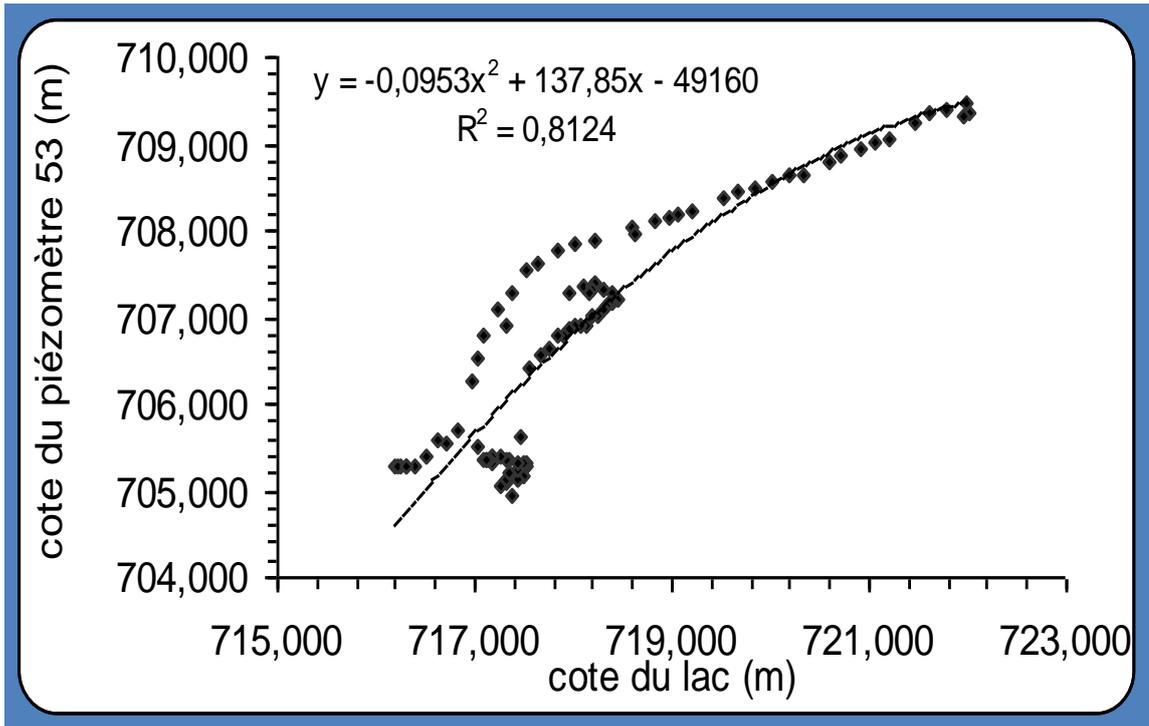


Fig.4.27 Fluctuation en fonction du niveau du lac du niveau Piézométrique du P53(Remini et Toumi A)

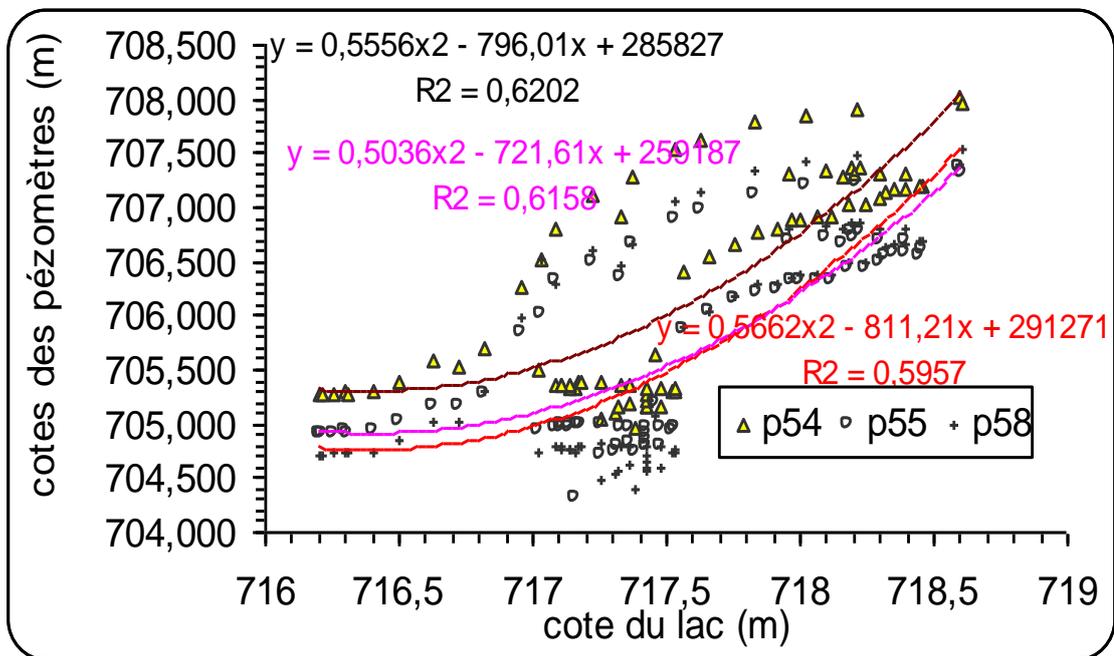


Fig.4.28 : Fluctuation en fonction du niveau du lac des Piézomètres p54, p55 et p58 (Remini et Toumi A)

IV.7.2 Evénement extrêmes des fuites dans le barrage de Hammam-Grouz

L'irrégularité de remplissage de la retenue est liée à plusieurs paramètres, dont les plus importants sont l'apport moyen annuel (lié directement aux précipitations), les pertes par évaporation et les phénomènes de fuites ayant apparus de façon nette, suite aux pluviométries exceptionnelles.

Deux événements majeurs liés aux apports pluvieux exceptionnels des années hydrologiques 2002/2003 et 2014/2015 ont marqué le fonctionnement de l'ouvrage, à travers les considérables volumes de fuites d'eau, estimés sur la base des mesures des débits des sources d'une part, et le déstockage anormal des réserves en eau du barrage, d'autre part. Ces pertes karstiques sont confirmées à l'aide des traçages chimiques, par l'apparition d'importants gouffres (vortex) au sein de la retenue et le débordement d'un forage artésien à sec en aval du barrage.

a) Evénements 2003-2005

L'année 2002/03 est considérée comme une année exceptionnelle, du fait que le barrage a connu pour la première fois un déversement, suite à une pluviométrie très importante qui a touché le centre et l'Est du pays, avec un cumul de 669 mm. C'est la plus grande valeur de précipitation enregistrée au niveau de la station pluviométrique du barrage depuis sa mise en exploitation.

Cette pluviométrie a commencé dès le mois de novembre jusqu'au mois de janvier, avec un cumul de 422.3 mm, soit 63% de la hauteur moyenne annuelle des précipitations. L'effet de l'importante pluviosité est à répercuter sur l'apport hydrologique qui a augmenté dès le mois de novembre d'une valeur de 4.62 hm³ à une valeur de 31.7 hm³ pendant le mois de janvier, suivi d'une diminution durant les deux mois suivants pour atteindre une valeur de 3.34 hm³.

Une deuxième crue a eu lieu en avril 2003 avec une hauteur de précipitations de 71.60mm et a pu augmenter l'apport à une valeur de 8.22 hm³. La capacité du barrage a dépassé les 43 hm³ durant les quatre mois d'hiver (janvier, février, mars et avril), ce qui a mis en fonction pour la première fois l'évacuateur de crues et la vidange de fond au cours des mois en question.

L'apparition des affluents négatifs, accompagnée d'une diminution de 45 % (soit 19.4 hm³) de la capacité de remplissage durant les mois de mai à août, ne peut être expliquée que par l'effet de fuites d'eau importantes qui se sont poursuivies après celles apparues de façon effective dès le mois d'avril. Cependant, l'apport au barrage des mois de janvier 2003 (31.70 hm³) et d'avril 2003 (8.22 hm³) est apparu supérieur à celui mesuré à la station de jaugeage (22.34 hm³ et 7.27 hm³).

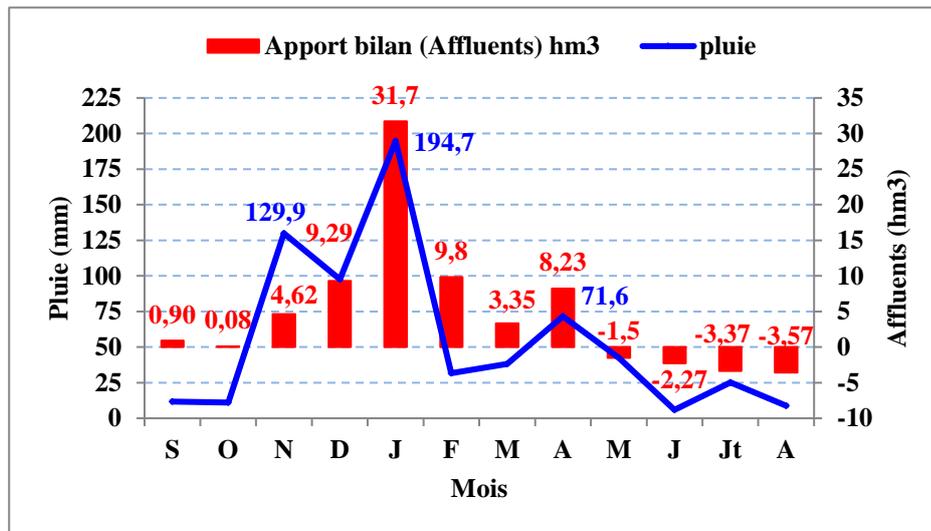


Fig.4.29 : Variation mensuelle de la pluviométrie et de l'apport au barrage de H.Grouz

Les corrections apportées aux débits de fuites mesurées ont mis en évidence des fuites plus importantes à partir de la cuvette du barrage, ce qui laisse supposer des pertes karstiques dans des conduits plus lointains (en profondeurs), ne se limitant donc pas aux seules sources du Hammam exultant au pied des massifs, à l'aval de la digue. L'écart anormal entre les éléments du bilan hydraulique du barrage (Affluents négatifs) et l'apparition des émergences (avec un débit très important) en aval de l'ouvrage, ne peuvent être expliqués que par des fuites d'eau à partir de la retenue.

Les pertes par fuites ont apparu de façon nette pour la première fois durant le mois d'avril de l'année exceptionnelle (2002/03)

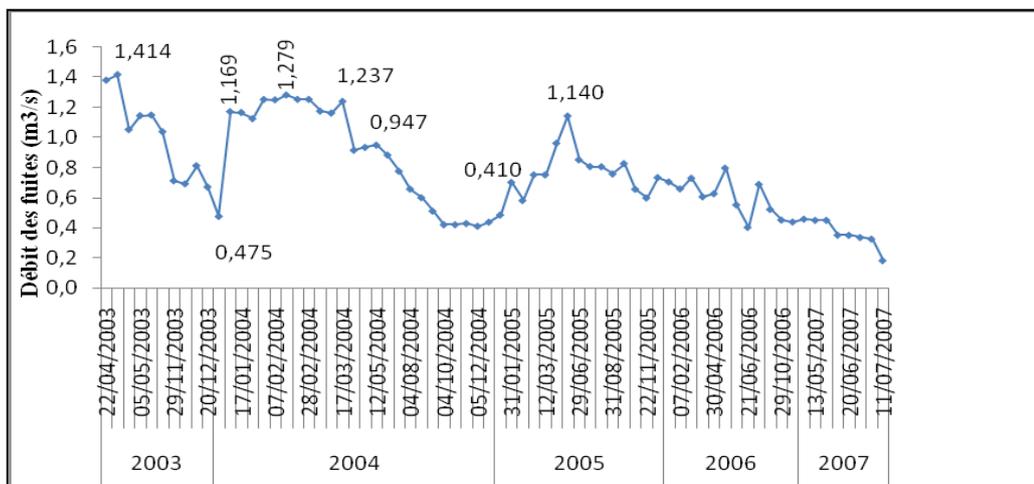


Fig.4.30 : Débits de fuites mesurés dans le barrage de Hammam-Grouz par l'A.N.R.H (sources de H.Grouz).

Suite à la forte pluviométrie du mois de janvier 2003, les fuites ont débuté dès le mois d'avril avec un débit de 1.414 m³/s soit un volume journalier de 0.122 hm³, la diminution de ces débits a continué jusqu'à atteindre une valeur de 0.475 m³/s au mois de janvier 2004. Un autre pic du débit avec une valeur journalière supérieure à 1 hm³ apparaît durant la deuxième quinzaine du mois de janvier et persiste durant les trois premiers mois de l'année 2004, suite à un apport de l'ordre de 10.16 m³/s durant le même mois.

Une chute des débits de fuites apparaît à partir du mois de mai jusqu'au mois de décembre 2004, suite probablement aux travaux du traitement du vortex réalisés durant le mois de mars de la même année. Cette diminution n'a pas duré longtemps puisque le débit a commencé d'augmenter à nouveau dès le mois de janvier 2005, pour atteindre une valeur maximal de l'ordre de 1.140 m³/s au mois de mai, après l'apport important de l'ordre de 9.29 m³/s enregistrés au mois de janvier 2005.

b) Événement 2014-2015

Malgré les différentes solutions de colmatage (voile d'injection, plombage des vortex) effectuées par l'organisme gestionnaire en 2005, les crues des mois de janvier et février 2015, ont engendré de nouvelles pertes d'eau karstiques, traduites par la réapparition d'importantes sources, et le débordement des forages (à sec depuis une dizaine d'années), situés en aval de la digue.

L'importante pluviosité des mois de janvier et Février 2015 a un effet sur l'apport hydrologique qui a augmenté d'une valeur de 5.68 hm³ durant l'année 2013-2014 à une valeur de 26.41 hm³ pendant l'année 2014-2015, cette augmentation est accompagné d'un remplissage de l'ordre de 40.60 hm³, d'une vidange de fond et précédé de l'apparition des fuites d'eau d'une valeur de 1.743 hm³ durant deux mois.

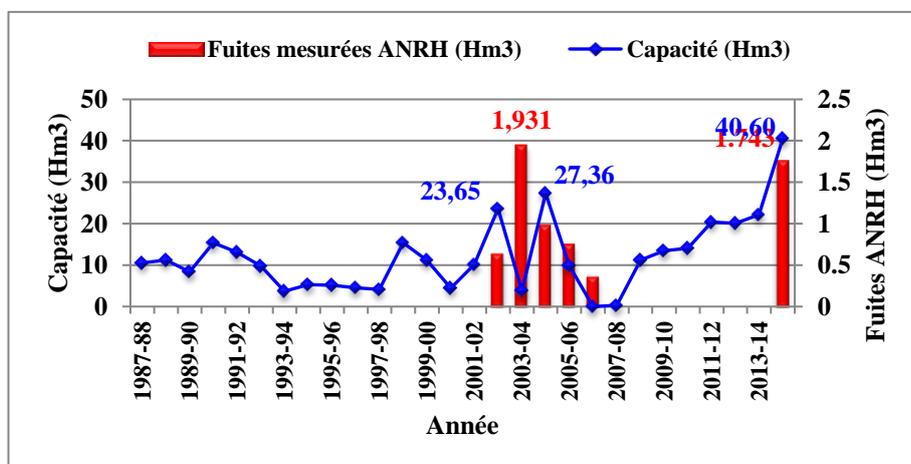


Fig.4.31: variation annuelle des réserves et des fuites au niveau du barrage de H.Grouz (2014/Mars 2015)

Contrairement aux événements extrêmes des années 2003 à 2005, l'apparition des fuites durant les mois de Janvier et Février 2015 précède le débordement et la mise en eau de l'évacuateur de crue d'une période presque d'un mois

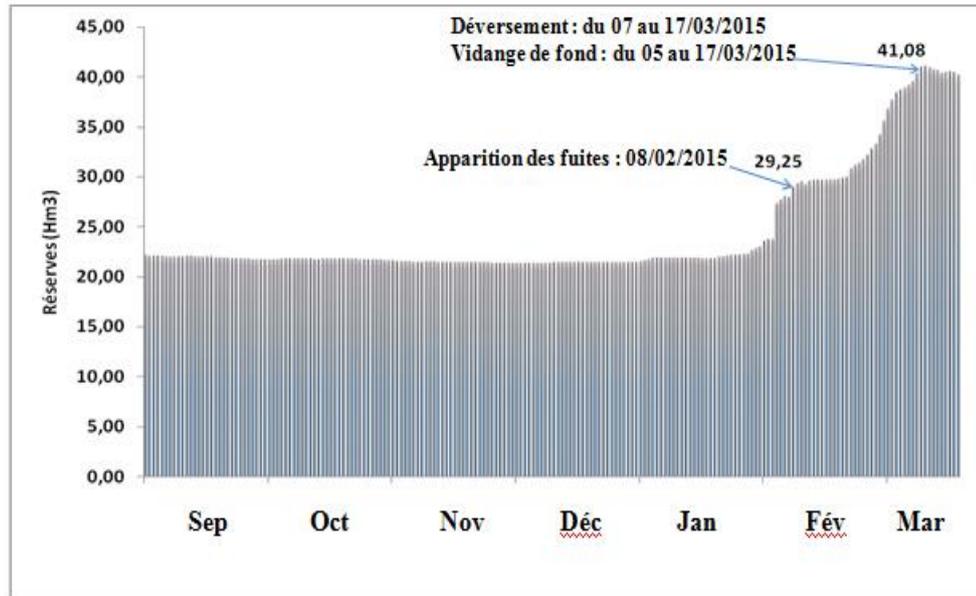


Fig.4.32: variation journalière des réserves du barrage de H.Grouz, (2014/Mars 2015)

IV.8 Conclusion

Les mesures des débits de fuites dues aux infiltrations au niveau de différents points (résurgences, galeries, rigoles etc.) nous permettent de quantifier d'une manière approchée la quantité d'eau perdue.

Les fuites au niveau du barrage Zit El Emba sont élevées durant la période froide de septembre à juin et presque nul en été. Depuis la mise en eau de ce barrage les fuites par infiltration ont une valeur moyenne de 0.2430 Hm³.

La quantité d'eau moyenne interannuelle perdue par les fuites au barrage des Zardezas est égale à 1,24 Hm³.

Le barrage Hammam Grouz rencontre des difficultés de stockage des eaux provenant de l'oued Rhumel, puisque le débit moyen de fuites d'eau à travers la rive droite avoisine 50000m³/Jour

Conclusion générale

Les barrages algériens se trouvent exposés à certains problèmes hydrauliques entre autres l'évaporation intense, les fuites d'eau et l'envasement.

L'envasement des cuvettes des barrages est une menace qui doit être contrôlé par la surveillance des ouvrages d'une part et pour les protections à prendre d'autre part. Il conduit à une estimation du transport solides et des phénomènes d'érosion sur les bassins versants. Le phénomène d'envasement des barrages menace aujourd'hui presque la totalité des barrages.

Pour diminuer l'effet de l'envasement, il est nécessaire et indispensable de planter des arbres afin de stabiliser les sols. Entretenir les bassins versants par des opérations de dragage qui sont coûteuses mais insignifiante devant les risques, sur la stabilité, la quantité et la qualité que peut générer la vase.

L'évaporation de l'eau en surface libre joue un rôle important dans le calcul de la régularisation des apports et dans les calculs du bilan hydrique de la retenue. Les mesures ont effectivement montré des pertes importantes de capacité de stockage des barrages.

Les pertes d'eau par évaporation et par fuites, malgré que le second présente des risques sur la stabilité, sont récupérables alors que le volume occupé par la vase est irrécupérable.

Pour préserver la quantité des eaux stockée des barrages, il devient nécessaire que les spécialistes du secteur imposent une réglementation en matière de contrôle et de surveillance continu de l'évolution des bilans hydriques des barrages algériens. il est nécessaire voir indispensable de réaliser des mesures et des relevés périodiques pour chaque type de perte, et d'élaboré des modèles performant, afin d'avoir une évaluation crédible de la perte de capacité de stockage.

Références bibliographiques

- BINNIE & PARTNERS consulting engineers, « barrage de Hammam Grouz Monographie », 1989.
- Agence Nationale des barrages et transferts (A.N.B.T), service d'exploitation du barrage de Hammam Grouz (B.H.G), 2004.
- Toumi. A, Remini B. ' Les fuites à travers les rives du barrage de Foum-El-Gherza, Biskra, Algérie', « revue vecteur environnement, Canada, novembre, 2003. PP67-71.
- Agence Nationale des barrages et transferts (A.N.B.T), service d'exploitation du barrage de Hammam Grouz (B.H.G), « Mesures hydrologiques et d'auscultation du barrage de Hammam Grouz 1999-2006», 2007.
- Wikipedia (<https://fr.wikipedia.org/wiki/Barrage>)
- GRAF.W.H -1983- (The hydraulics of réservoirsédimentation).Water power and dam construction .April. pp. 45-52.
- TOUAT M.-1991- Contribution à l'étude de la sédimentation des barrages en Algérie. Actes du colloque sur l'érosion des sols et l'envasement des barrages. Alger 1-3 décembre.
- SAIDI -1991- Erosion spécifique et prévision de l'envasement des barrages. Actes du colloque sur l'érosion des sols et l'envasement des barrages. Alger 1-3 décembre.pp.204-226.
- HEUSH.B. et MILLIES.L. -1971-Une méthodologie pour estimer l'écoulement et l'érosion dans un bassin: application au Maghreb. Revue mine et géologie (Rabat) No 99. PP. 21-30.
- CHADI A. -1990-(L'envasement des retenues de barrages).Séminaire:Stratégie de gestion des eaux. Horizon 2010.Alger 28- 29 et 30 Mai.
- HADJI.T. et CHADI.A. -1991- Quelques aspects sur l'envasement des retenues Algériennes. Colloque sur l'érosion des sols et l'envasement des barrages. Alger les 1'2 et 3 Décembre.
- BOUVARD M. -1983- Ouvrages de dérivation et transport solide. Revue la Houille blanche No % pp.247-253.
- REMINI B., KETTAB A., HMAT H. 1995-. Envasement du barrage d'IGHIL EMDA (Algérie). Revue Internationale de l'eau: La Houille Blanche no 2/3, pp.23-28
- REMINI B., AIENARD J-M. KETTAB A. - 1996 - Le barrage d'IGHIL EMDA (Algérie).
- I- Les courants de densité dans la retenue. Les Annales Maghrébines de l'Ingénieur, Tunis, avril, Vol. 10. ' 9 fig., 7 photos, pp.53-67.
- REMINI B., AIENARD J-M. , KETTAB A. - 1994 - Mesures de l'envasement dans la retenue du barrage d'IGHIL EMDA (Algérie). Revue Marocaine de Génie Civil,
- A. BELHADJ. mémoire magister, 2006, université de Batna.

- *Boutoutaou D., 1995.- Evaporation des surfaces des plans d'eau des retenues et barrages en Algérie. Thèse de Doctorat PhD en Sciences Techniques. Institut d'Hydraulique, Moscou, 200 p.*
 - *Boutoutaou D., 1995.- Méthode de calcul de la tension de vapeur d'eau saturante par la température et la tension de vapeur d'eau de l'air aux stations météorologiques. Annales de l'Institut de Recherche Agro-Industrie et Information (NIITEI), n° 150 : 43-51.*
 - *Benaicha,A, « Quantification des transports solides et de l'envasement du barrage de Foum El Gherza (Biskra) ». 2010.*
 - *Agence Nationale des barrages et transferts (A.N.B.T), service d'exploitation du barrage des Zardezas (B.Zrdzs), Historique d'évaporation au barrage des Zardezas, 2015.*
 - *Agence Nationale des barrages et transferts (A.N.B.T), service d'exploitation du barrage des Zardezas (B.Zrdzs) ;Résultats du levé bathymétrique, 1986.*
 - *Agence Nationale des barrages et transferts (A.N.B.T), service d'exploitation du barrage des Zardezas (B.Zrdzs) ;Résultats du levé bathymétrique, 2003.*
 - *Agence Nationale des barrages et transferts (A.N.B.T), service d'exploitation du barrage de Zardezas (B.Zrdzs) ;Résultats du levé bathymétrique, 2006.*
- MENSER Amor,Erosion et envasement des barrages – réservoirs, Agence Nationale des barrages et transferts (A.N.B.T), 2012.*
- *B. REMINI, W. HALLOUCHE, prévisions de l'envasement dans les barrages du maghreb, Larhyss/Journal n°04, Juin 2005.*
 - *REMINI .B (2005), l' évaporation des lacs des barrages dans les régions arides et semi arides exemples algériens, Larhyss Journal n°4, P 81 à 89 Juin 2005.*