

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université d'El-oued

Faculté de technologie

Département d'Hydraulique et Génie civile



MEMOIRE

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

Option: *Conception et Diagnostic Ouvrage hydraulique*

THEME :

Diagnostic Et Réhabilitation D'évacuateur De Crue De
Barrage Foug El Gherza –Biskra-

Dirigé par :

- Mr.Mohammed Sayah
Lembarek

Présenté par :

- ✚ Meliana yakoub
- ✚ Elhamel Abd Samie
- ✚ Adaika ismail

Devant le jury composé de :

Président:

Examinatrice:

2022-2023

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciement

Nous commençons par remercier dieu le tout puissant de nous avoir donné le courage, la volonté et l'amour du savoir pour pouvoir réaliser ce modeste travail.

Nos sincères remerciements à M. Muhammad Sayah leMbarak pour sa supervision et ses conseils tout au long de la réalisation de ce projet.

Nous remercions au membres de jury qui ont dieu voulu examiner ce travail.

Nos profonds respects à tous les enseignants du département

d'hydraulique qui ont contribué à notre formation.

remerciements vont également au directeur et cadres de direction du barrage foug El Ghorza –Biskra-

Meliana yakoub & Elhamel Abd Samie & Adaika ismail

Dédicace

En dédie ce modeste travail avec vif plaisir à ceux

Zui sont les plus proches à nos cœurs,

A nos très chères mères

A nos chers pères

A nos très chères femmes

A nos chères sœurs et frères.

A nos tantes et oncles

A toute la famille

A tous nos amis

Meliana yakoub & Elhamel Abd Samie & Adaika ismail

Résumé

Pour la réussite de tout entretien et réhabilitation de barrages en particulier l'évacuateur de crue il nécessite la préparation d'une étude diagnostique suffisante afin de déterminer les raisons qui ont conduit à l'apparition du problème avant de procéder au processus d'intervention ,dans cette étude , nous avons diagnostiqué la réhabilitation de l'évacuateur de crue du barrage de foug-el-gherza Biskra, celui propose quelques solutions et recommandations afin de réhabiliter cette section de barrage et d'assurer un mode de gestion idéal du celui-ci afin d'éviter la récurrence de ce problème.

Mots Clés : Barrage – Foug El-Gherza – réhabilitation – diagnostique- évacuateur de crue

Abstract

For the success of any maintenance and rehabilitation of dams in particular the flood evacuator it requires the preparation of a sufficient diagnostic study in order to determine the reasons that led to the occurrence of the problem before proceeding to the intervention process ,in this study, we diagnosed the rehabilitation of the flood evacuator of the foug-el-gherza Biskra, that proposes some solutions and recommendations in order to rehabilitate this section of dam and ensure an ideal way of management of it in order to avoid the recurrence of this problem.

Keywords: Dam - Foug El-Gherza - rehabilitate – diagnosis - flood evacuator

الخلاصة

من أجل نجاح أي عملية صيانة أو إعادة تأهيل السدود وخاصة مفرغ السد يتطلب إعداد دراسة تشخيصية كافية من أجل تحديد الأسباب التي أدت إلى حدوث المشكل قبل القيام بعملية التدخل وقد قمنا في هذه الدراسة بتشخيص عملية إعادة تأهيل مفرغ السد المسمى فم الغرزة بسكرة وهذا باقتراح بعض الحلول والتوصيات من أجل تأهيل هذا الجزء من السد وضمان طريقة تسيير مثالية له لتفادي تكرار هذه المشاكل.

الكلمات المفتاحية : سد-فم الغرزة- إعادة تأهيل -تشخيص- مفرغ السد

Liste des Figures

Figure 1.1: Corps d'un barrage	3
Figure1. 2: Evacuateur de crues	3
Figure1. 3: Dérivation provisoire	3
Figure 1.4: Prise d'eau	3
Figure1. 5:vidange de fond	3
Figure 1.6: Les différents types de barrage en béton	4
Figure 1.7 : Coupe transversale d'un barrage en béton	5
Figure 1.8: Barrage poids à contreforts de Plan d'Amont (Aussois	6
Figure 1.9 : Différents types de barrages à contreforts	6
Figure 1.10 : Barrage à contre fort (Grandval	7
Figure 1.11 : Exemple d'un Barrage voûte (barrage de St-Pierre Cagnet	8
Figure 1.12 : Les différents types de barrage en remblai	9
Figure 1.13 : Barrage homogène	10
Figure 1.14 : Barrage zoné avec noyau vertical	10
Figure 1.15 : Barrage à masque amont	11
Figure 1.16 : Profil d'un barrage en enrochement	11
Figure 1.17 : Évacuateur de crues de surface	13
Figure 1.18 : Evacuateur latéral (Barrage Hamam Boughrara	13
Figure 1.19 : Evacuateur frontal.	14
Figure 1.20 : Évacuateur de crues en charge	15
Figure 1.21 : Evacuateur en puits.	15
Figure 1.22 : Evacuateur en siphon	16
Figure 1.23 : Évacuateur en puits circulaire	17
Figure 1.24 : Evacuateur en puits marguerite	17
Figure 2.1 : Carte de situation de Biskra (Inspiré de Wikipedia.org, 2015)	21
Figure 2.2: situation du barrage de Foum El Gherza (Adapté de Gouskov, 1952	21
Figure 2.3 : Image Google Earth de la retenue du barrage de Foum El Gherza (Biskra	22
Figure 2.4: Carte du milieu physique de la wilaya de Biskra (Sedrati, 2011)	23

Figure 2.5 : Carte du réseau hydrographique de la wilaya de Biskra (D'après ANAT, 2014)	24
Figure 2.6: Etat critique du barrage de Foug El Gherza en Novembre 2014	29
Figure 2.7 : Ruissèlement des eaux de fuites sur le massif de la rive droite du barrage de Foug El Gherza (Photo. Remini, 2005)	30
Figure 2.8 : Une aire verte s'est formée à l'aval du barrage suite aux écoulements des eaux de fuites (Remini, 2016)	30
Figure 2.9: Une fuite d'eau bien visible bien que le lac est au niveau le plus bas (Mai, 2017)	31
Figure 2.10 : Vanne de fond du barrage de Foug El Gherza Souvent bloquée Par les palmiers arrachés par les crues (Photo. Remini, Mai 2016)	32
Figure 2.11 : Une vue générale sur la stratification de la roche-Inclinaison dans le sens de l'écoulement (photo. 2016)	33
Figure 2.12: Grande ouverture au niveau de la roche de la rive droite (photo. 2017)	33
Figure 2.13 : Traces du rideau d'étanchéité sur la rive droite du barrage (photo. Mai 2017)	35
Figure 2.14 : Fuites d'eau du barrage de Foug El Gherza	37
Figure 2.15 : Fuites d'eau au droit du barrage de Foug El Gherza	38
Figure 2.16 : Evaporations de la retenue du barrage de Foug El Gherza	38
Figure 2.17 : Variation interannuel des Fuites d'eau au niveau du barrage de Foug El Gherza (Données ANBT)	39
Figure 2.18 : Evacuateur de crue du barrage de Foug El Gherza en plein déversement	39
Figure 2.19 : Déversement d'une crue accompagné d'une opération de vidange de fond	40
Figure 2.20 : Les eaux de fuites récupérées et utilisées pour l'irrigation des palmiers dattiers (Photo. Remini, 2014)	41
Figure 3.1 : Précipitations moyennes mensuelles dans la région de Biskra (période 1967-2010)	43
Figure 3.2 : Carte pluviométrique pour l'Algérie du Nord (source : ANRH, 1993)	44
Figure 3.3 : Températures moyennes mensuelles (maximales, moyennes et minimales) enregistrées à la station étudiée pour la période 1967-2010	45
Figure 3.4 : Moyennes mensuelles de l'humidité relative de l'air à la station de	46

Biskra	
Figure 3.5 : illustration approximative d'évacuateur de crue de barrage	47
Figure 3.6 : courbe de changement de débit en fonction de vitesse	49
Figure 3.7 : Les images de simulation de canal proposé sur GoogleMaps	50

Listes des Tableaux

Tableau 1.1 : Exemples de grands barrages dans le monde	2
Tableau 1.2 : Exemples de grands barrages en Algérie	2
Tableau 2.1 : caractéristiques hydrologiques d'oued el-abiod	26
Tableau 2.2 : Quelques valeurs du débit des crues drainées par l'oued El Abiod (Données ANBT)	36
Tableau 3.1 : Précipitations moyennes mensuelles pour la période (1967-2010)	43
Tableau 3.2 : Températures moyennes mensuelles, (maximales, moyennes et minimales) pour la station étudiée (période 1967-2010)	45
Tableau 3.3: Moyennes mensuelles de l'humidité relative de l'air enregistrées à la station de Biskra pour la période 1967-2010	46
Tableau 3.4 : le débit en fonction de vitesse et la surface	48

Sommaire.

Remerciements	
Dédicace	
Résumé	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Sommaire	
Introduction générale	
Chapitre I : Recherche bibliographique sur les barrages	
I-1-Définition	1
I-2- Historique	1
I-3- Eléments constructifs d'un barrage	3
I-3-1 Corps du barrage	3
I-3-2-les ouvrages annexes	3
I-4- Classification des barrages	4
I-4-1-Selon leur rôle	4
I- 4-1-1- Barrages de dérivation (déversoirs ou de rivières)	4
I-4-1-2- Barrages réservoirs	4
I-4-2- selon leur type de construction.	4
I-4-2-1- Barrage en béton	4
I-4-2-2-Barrage-poids	5
I-4-2-3-Barrages à contreforts	6
I-4-2-4-Barrage-voûte	7
I-4-2-5-Les barrages en remblai	9
I-4-2-5-1- Barrages en terre	9
I-4-2-5-1-1- Barrage en terre homogène	9
I-4-2-5-1-2- barrage zoné avec noyau étanche	10
I-4-2-5-1-3-Barrage à masque amont	11
I-4-2-5-2-barrages en enrochement	11
I-5- l'évacuation de crues	12
I-5-1- Définition d'évacuateur de crues	12
I-5-2- Différents types d'évacuateurs de crues de barrages	12
I-5-2-1- Evacuateur de surface	12

I-5-2-2- Evacuateur latéral	13
I-5-2-3- Evacuateur frontal	14
I-5-2-4- Evacuateur en charge	14
I-5-2-5- Evacuateur en puits	16
I-5-2-6- Evacuateur en siphon	17
I-6-Problèmes de sécurité des barrages	18
Chapitre II LA REGION D'ETUDE	
Introduction	20
II-1-L'aménagement hydraulique	20
II-2- Description de la région d'étude	20
II-2-1 Contexte géographique	20
II-2-2 Situation de barrage	21
II-2-3 Contexte morphologique	22
II-2-4 Le réseau hydrographique	23
II-2-5 Pédologie	25
II-2-6 Contexte climatique	25
II-3-But de la construction du barrage	25
II-4 Caractéristiques du barrage	25
II-4-1- Caractéristiques hydrologiques	26
II-4-2- Caractéristiques techniques	26
II-5 Exploitation des eaux du barrage de Foug El Gherza	27
II-6- Problèmes auxquels est confronté le barrage	28
II-7-Typologie de fuites	29
II-7-1 Les fuites à travers le massif	29
II-7-2 Fuites à travers la digue	31
II-7-3 Fuites à travers les vannes de fond	31
II-8- Observations et quantifications du phénomène de fuites à travers les rives	32
II-9- Le rôle du voile d'étanchéité	34
II-10 La nature de la roche, les crues et les fuites	35
II-11 Les eaux de fuites pour une irrigation complémentaire	40
CHAPITRE III	
LES ETUDES D'ENTRETIEN DES BARRAGES PROPOSEES	
III-1 Etude des paramètres climatiques	43

III-1-1 Les précipitations	43
III-1-2 Les températures	44
III-1-3 Humidité relative	46
III-2- Discription de barrage foun el ghourza	47
III-3- Détermination de débit maximale	48
III-4- Canal proposé	50
III-4-1-démensionnement de canal	50
III-4-2- les lois appliquées à l'étude de canal	52
CONCLUSION	
REFERNCES BIBLIOGRAPHIQUES	

INTRODUCTION GENERALE

Introduction Générale

Au sud algérien, les ressources en eau disponible sont en quantité limitée en raison des activités humaines : la croissance démographique, urbanisation, augmentation du niveau de vie. Dans ce sens nous sommes besoin de préservé ces ressource.

Les barrages de stockage sont parmi les ressources les plus importantes qui répondent aux besoins de la population et des océans agricoles en eau potable et d'irrigation dans le monde pour cette raison les barrages ont besoin d'un processus de surveillance continue d'entretien et de réhabilitation afin de préserver cet important.

Les évacuateurs de crue sont des ouvrages annexes aux barrages, qui permettent la Restitution des débits de crue excédentaires (non stockés dans le réservoir) à l'aval du barrage. D'une importance primordiale pour la sécurité du barrage, les évacuateurs doivent être en mesure d'empêcher le débordement de l'eau par-dessus la digue et l'apparition de phénomènes d'érosion à l'aval de la digue dans la zone du rejet dans l'oued.

Afin de réhabiliter toute installation à partir du barrage le problème doit être diagnostique de manière scientifique précise ce qui conduit à une solution efficace dans les plus brefs délais et au cout financier le plus bas.

Dans ce mémoire, nous aborderons le diagnostic et la réhabilitation de la plus importante partie du barrage qui est l'évacuateur de crue de barrage ,celui-ci situé dans la région de Biskra nommé Foum El Ghourza.

Notre mémoire est subdivisé en 3 axes essentiels :

- ✓ Introduction Générale
- ✓ Chapitre 1. Recherche Bibliographique sur les barrages
- ✓ Chapitre 2. La région d'étude
- ✓ Chapitre 3. Les études d'entretien de barrage proposées

CHAPITRE 1
RECHERCHE
BIBLIOGRAPHIQUE
SUR LES BARRAGES

I-1-Définition.

Les barrages sont par définition des ouvrages hydrauliques disposés en travers d'un cours d'eau pour créer une retenue ou exhausser le niveau en amont, ces types d'ouvrages barrent sur toute la largeur une section d'une vallée et créent ainsi une cuvette artificielle géologiquement étanche.

L'utilisation des barrages peut varier selon leurs types et leurs importances mais les Principaux objectifs sont :

- Production d'énergie hydroélectrique avec une production annuelle près de 20% de la production électrique totale dans le monde.
- Alimenter les usines par l'eau .
- Alimentation en eau potable (A.E.P.) et irrigation .
- Protection contre le risque de l'inondation et l'incendie.
- Les objectifs secondaires sont .
- L'augmentation de tourisme et loisirs .
- Les travaux de navigation, pêche et pisciculture (élevage des poissons).

I-2- Historique.

D'après la Commission Internationale des Grands Barrages (C.I.G.B.) sont considérés comme grands barrages ceux dans la hauteur et(ou) la capacité dépasse les trois hm3. A ce jour on estime le nombre de grands barrages à travers le monde à 50 000 dont 80% ont été réalisés après 1950, il existe aussi des millions de petits barrages. Les barrages mondiaux stockent un volume estimé à 6000 milliards de m3. La technologie de construction de barrages est apparue voilà 5000 ans dans ce que l'on appelle, le croissant fertile avant son expansion dans le bassin méditerranéen et dans le monde. Les historiens considèrent que plusieurs foyers de cette innovation sont apparus dans divers coins du monde sans avoir de liens entre eux. • Ainsi on peut énumérer les foyers essentiels connus de cette technologie à travers le monde.

***Quelques exemples de grands barrages dans le monde :**

Tableau 1.1 : Exemples de grands barrages dans le monde

Nom du barrage	Type	Hauteur (m)	Capacité $10^3.Hm^3$	utilisations	pays
Rogun	Terre/Enrochement	335	13.3	Hydroélectricité - Irrigation	Tadjikistan
Nurek	Terre	300	10.5	Hydroélectricité - Irrigation	Tadjikistan
Grande Dixence	Béton	285	0.4	Hydroélectricité	Suisse
Xiaowan	Béton	278	15.13	Hydroélectricité+ control de crues+ Irrigation+navigation	Chine
Inguri	Béton	272	1.1	Irrigation+ Hydroélectricité	Géorgie
Chicoasen	Terre	262	0.15	Hydroélectricité	Mexique
Vajont	Béton	262	3.54	Hydroélectricité	Italie
Tehri	Terre	262		Irrigation+ Hydroélectricité	Inde

***Quelques exemples de grands barrages en Algérie :**

Tableau 1.2 : Exemples de grands barrages en Algérie

Nom du barrage	Type	Hauteur (m)	Capacité $10^3.Hm^3$	utilisations	pays
Béni Haroun	BCR	120	0.96	Irrigation+ AEP	Mila
Gargar	Terre	76.5	0.45	Alimentation en eau potable	Relizane
Taksebt	Terre	76	0.175	Alimentation en eau potable	Tizi-Ouzou
Sidi yakoub	Terre	76	0.28	Alimentation en eau potable+ irrigation	Chélif
Djorf tourba	Béton	100	0.26	Alimentation en eau potable+ irrigation	Bechar

Cent trente-neuf (139) barrages seront en exploitation en 2030 en Algérie contre 70 actuellement, ce qui permettra de mobiliser une capacité totale de 12 milliards de mètres cubes environ, au lieu de 7.1 actuellement.

I-3-Eléments constructifs d'un barrage :

I-3-1- Corps du barrage :

Grossièrement le corps du barrage Présente en coupe un profile Trapézoïdal prolongé en Profondeur par un moyen d'étanchéité des fondations.

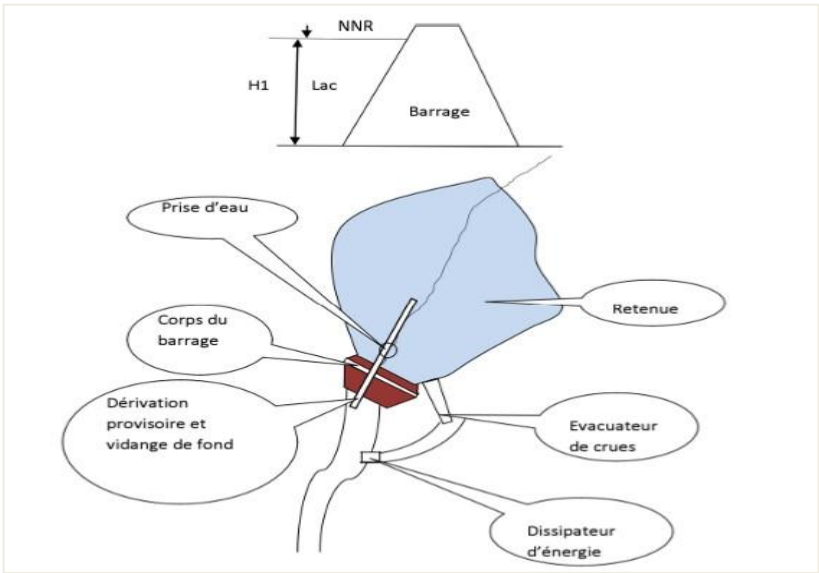


Figure 1.1: Corps d'un barrage

I-3-2-les ouvrages annexes :



Figure1. 2: Evacuateur de crues



Figure1. 3: Dérivation provisoire

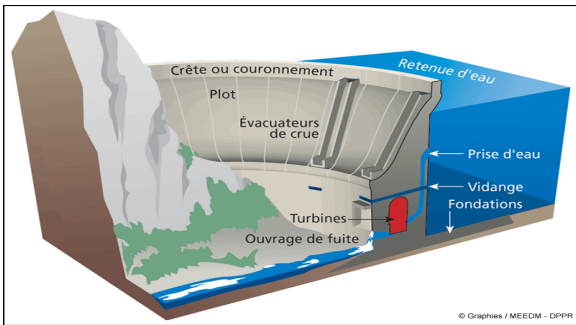


Figure 1.4: Prise d'eau



Figure1. 5:vidange de fond

I-4- Classification des barrages :

I-4-1-Selon leur rôle :

I-4-1-1- Barrages de dérivation (déversoirs ou de rivières) :

Ce type de barrage est employé lorsqu'on a besoin de maintenir un niveau constant sur un tronçon d'une rivière pour garantir un fonctionnement satisfaisant d'une prise d'eau ou rendre régulier son profil, afin de faciliter la navigation. Ils ont, en général des hauteurs réduites par rapport à leur longueur en crête.

I-4-1-2- Barrages réservoirs :

Ils sont des ouvrages qui agissent sur les débits des cours d'eau en créant des réserves utilisables selon les besoins en eau. Ils sont souvent plus hauts que leur longueur en crête.

I-4-2- selon leur type de construction :

I-4-2-1- Barrage en béton :

Les barrages en béton se partages en trois groupes (Figure 1.6)

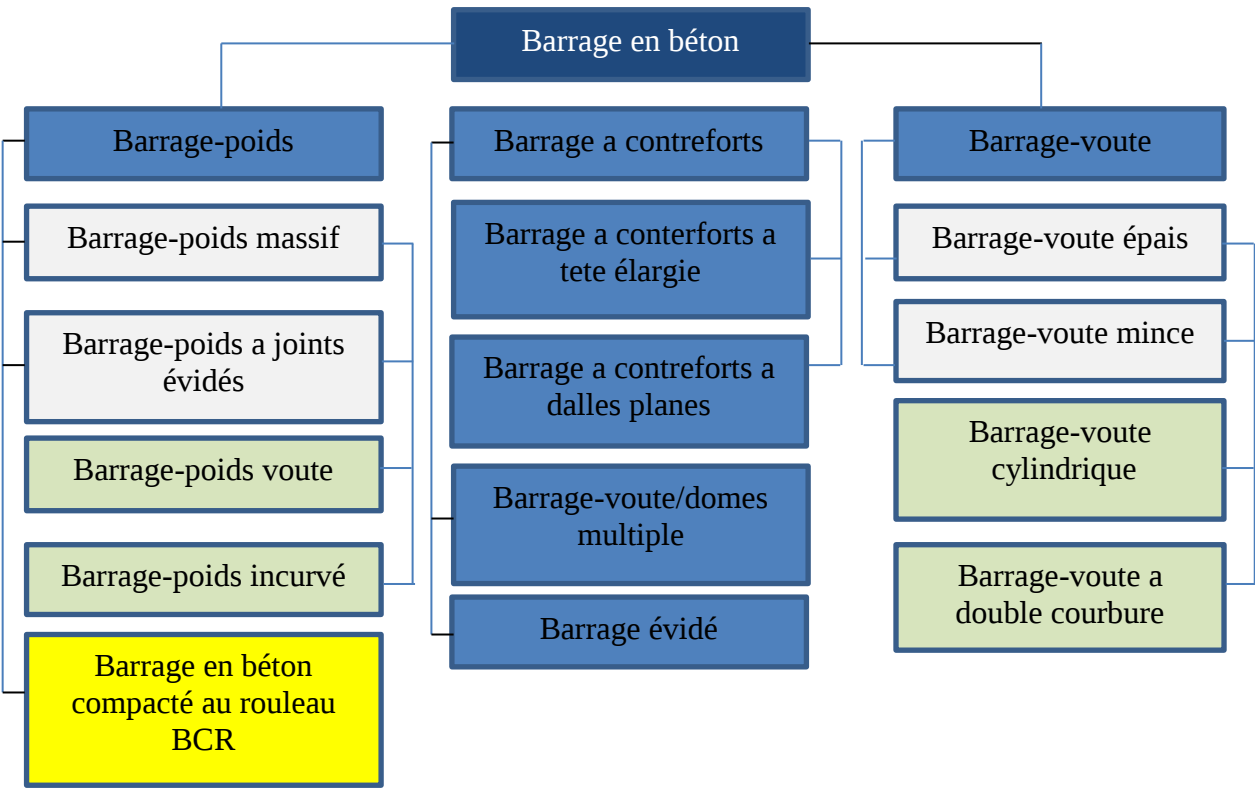


Figure 1.6: Les différents types de barrage en béton

I-4-2-2-Barrage-poids :

Les barrages poids en béton sont très proches mécaniquement des barrages en maçonnerie. Seul le poids en effet résiste, à la poussée hydrostatique, à la poussée des sédiments et aux sous-pressions. Celles-ci ont une action déstabilisatrice très importante et il conviendra de les diminuer à l'aide de dispositifs tels que rideaux d'injection et galeries de drainage.

Quoi qu'il en soit, le calcul de l'ouvrage, par ailleurs peu complexe, devra les prendre Soigneusement en compte.

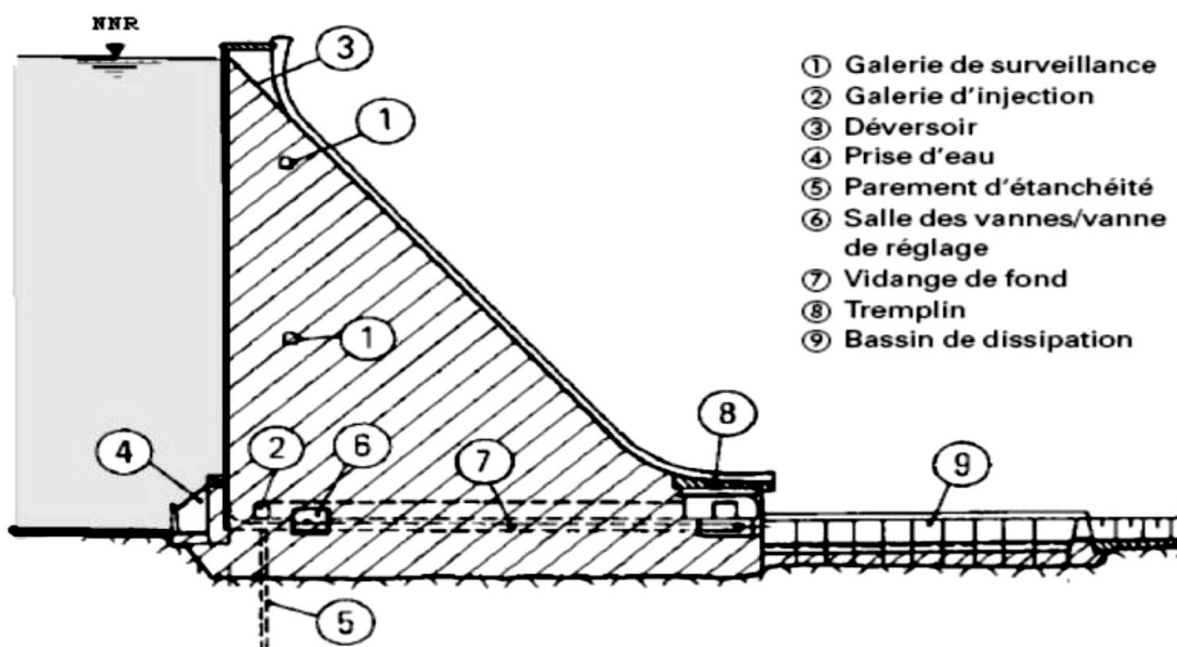


Figure 1.7 : Coupe transversale d'un barrage en béton

Les profils adoptés pour ces ouvrages sont bien souvent un compromis technico économique découlant directement de calculs de stabilité.

De plus, nous évitons autant que possible des formes complexes qui entraînent une augmentation inutile du coût de coffrages . Enfin, pour améliorer l'étanchéité du contact béton fondation et la résistance au glissement, il sera souvent bénéfique de réaliser une clé d'ancrage armée.

Les barrage-poids, de forme massive et triangulaire, résistent à la poussée de l'eau grâce à leur poids (figure 1.8).



Figure 1.8: Barrage poids à contreforts de Plan d'Amont (Aussois)

I-4-2-3-Barrages à contreforts :

Il est constitué (figure 1.9) :

- d'une série de murs parallèles, généralement de forme triangulaire, plus ou moins épais et plus ou moins espacés (les contreforts).
- D'une bouchure entre les contreforts transmettant à ceux ci la poussée de l'eau. Il est bien adapté aux vallées larges avec une fondation rocheuse de bonne qualité .

Dans des vallées plus larges où le barrage-poids supposerait des volumes de béton trop importants et où le barrage voûte ne serait pas réalisable, nous pensons à construire des barrages à contreforts, par ailleurs beaucoup moins sensibles aux sous-pressions que le barrage-poids, mais plus fragiles (figure1.9).

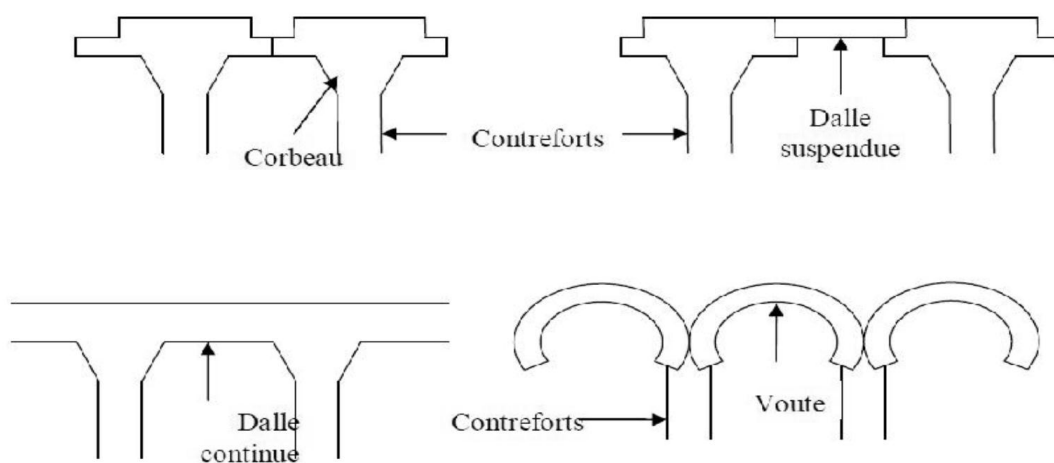


Figure 1.9 : Différents types de barrages à contreforts

Dans ce type d'ouvrages, l'étanchéité est assurée par le voile en béton arme situé en amont et la stabilité vis à vis de la poussée de l'eau par les contreforts. Il faut noter que la stabilité est améliorée en donnant un fruit de 0,5 à 1/1 au voile, car la poussée de l'eau comporte alors une composante verticale dirigée vers le bas. Le voile peut être conçu de plusieurs façons (figure 1.9):

- Solidaire des contreforts avec parement amont plan. Les diverses sections de voile sont liées aux contreforts et fonctionnent en consoles courtes.
- Constitué d'une dalle posée aux extrémités sur les têtes des contreforts. Le voile travaille en flexion comme une poutre posée sur deux appuis simples aux extrémités ; Solidaire des contreforts avec parement amont cylindrique. Cette disposition massive facilite la transmission de la poussée au contrefort.
- Constitue d'une voûte de faible portée et donc de faible épaisseur s'appuyant sur les contreforts.
- Dalle contreforts continue voûte corbeau dalle contreforts suspendue

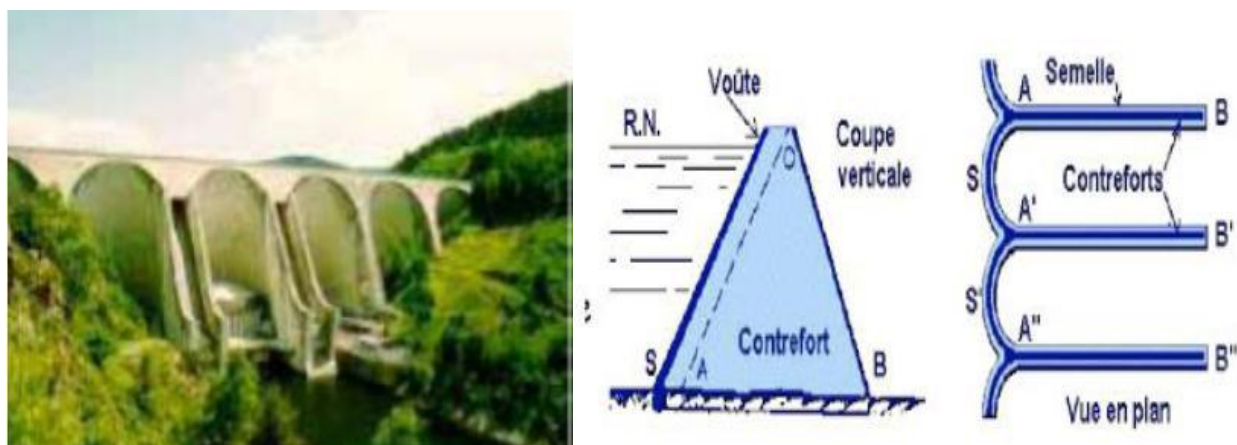


Figure 1.10 : Barrage à contre fort (Grandval)

I-4-2-4-Barrage-voûte :

Il est généralement en béton dont la forme courbe permet le report des efforts de poussée de l'eau sur les rives rocheuses de la vallée .

Ce type de barrage convient bien lorsque la topographie permet de fermer la vallée par une forme arquée de longueur réduite (figure 1.10).

Les barrages-voutes sont en effet peu employés pour les retenues de petite hauteur. Les conditions pour adopter une telle solution sont par ailleurs assez strictes. Nous n'envisageons

en effet la construction d'un barrage-voûte que lorsque la vallée est étroite et rocheuse. La qualité mécanique de la fondation est à vérifier scrupuleusement. Sa rigidité doit être suffisante pour que les arcs trouvent leurs appuis en première approximation, nous devons s'assurer que le module de déformation du rocher dépasse 4 ou 5 G_{ap} . Mais elle devra également ne pas se rompre sous l'effet des contraintes élevées transmises par la voûte.

Le choix d'un barrage-voûte est donc à réserver à des situations géomorphologiques bien particulières (figure 1.11).

Cependant, lorsqu'elles sont réunies, c'est une solution qui peut être économiquement viable en regard des quantités de matériaux nécessaires à la réalisation d'un ouvrage poids. En outre, face aux incertitudes hydrologiques, ce type de construction supporte bien des submersions.

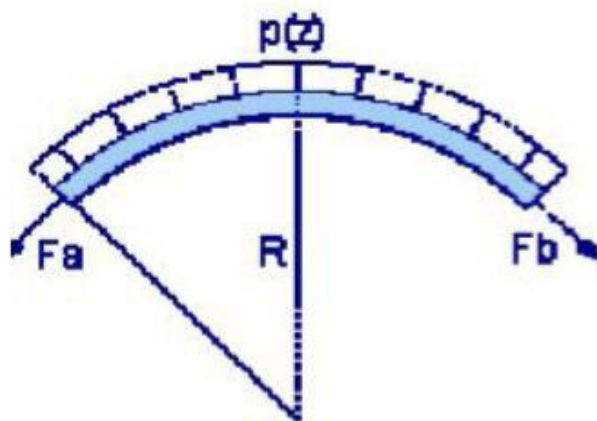


Figure 1.11 : Exemple d'un Barrage voûte (barrage de St-Pierre Cognet)

I-4-2-5-Les barrages en remblai :

Les barrages en remblai se partagent en deux groupes (Figure 1.7) [3]

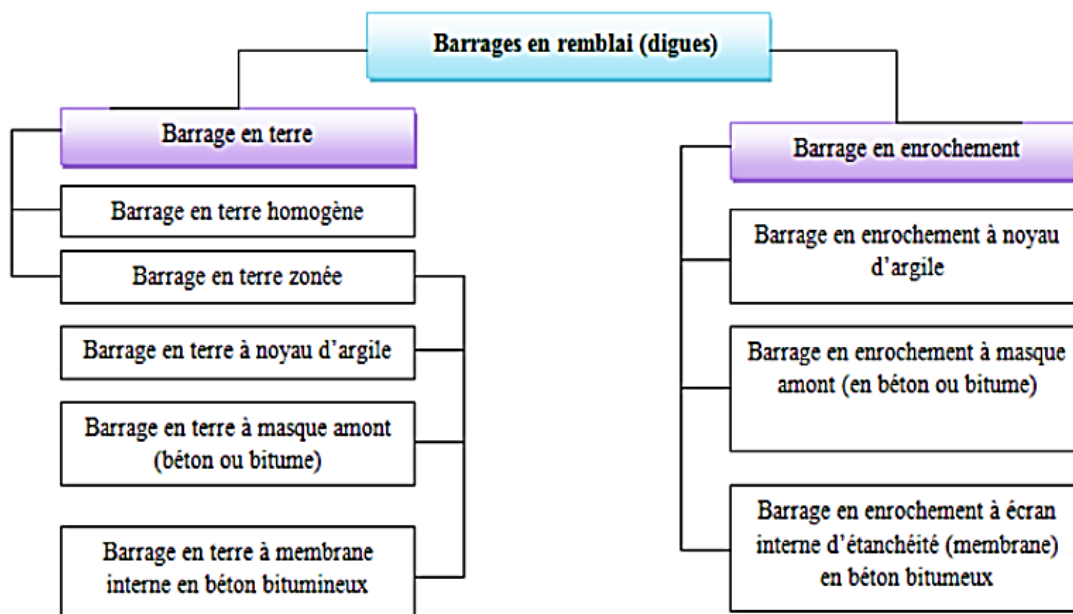


Figure 1.12 : Les différents types de barrage en remblai

I-4-2-5-1- Barrages en terre :

Les barrages en terre peuvent être constitués par des matériaux de caractéristiques Diverses, à la différence des barrages en béton ou même en enrochements dont les matériaux constitutifs restent contenus dans des fourchettes beaucoup plus étroites.

Les barrages en terre sont des murs de retenue d'eaux suffisamment étanches construits avec la terre et les matériaux du site suivant des mélanges et des proportions bien définies.

Il existe trois types principaux de structure de barrage en terre:

- Le barrage en terre homogène.
- Le barrage zoné avec noyau étanche.
- Le barrage à masque amont. Barrage en terre homogène.

I-4-2-5-1-1- Barrage en terre homogène :

Ce type de barrage est constitué d'un massif en terre compactée imperméable, muni d'un dispositif de drains dans sa partie aval et d'une protection mécanique contre l'effet du batillage dans sa partie amont même (Figure I-6).

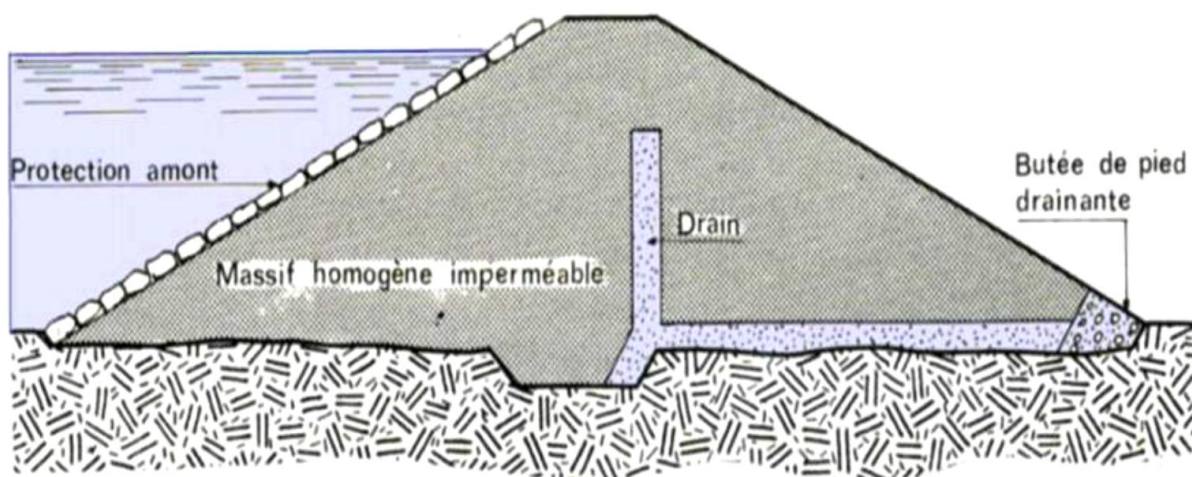


Figure 1.13 : Barrage homogène

I-4-2-5-1-2- barrage zoné avec noyau étanche :

Lorsque les caractéristiques géotechniques des matériaux disponibles ne permettent pas d'envisager un barrage homogène, alors, on adopte un profil zoné. Chaque zone étant constituée d'un matériau différent, choisi en fonction du rôle qu'il doit jouer. Les matériaux imperméables sont disposés dans la partie centrale et les matériaux semi-imperméable et perméable dans les parties amont et aval (recharges) qui ont un rôle stabilisateur.

Le nombre et la disposition des zones qui constituent le barrage à zone peuvent varier selon des schémas très divers, mais la plupart des barrages de ce type ne comportent pas plus de quatre zones de caractéristiques différentes. Le noyau peut être disposé verticalement ou incliné.

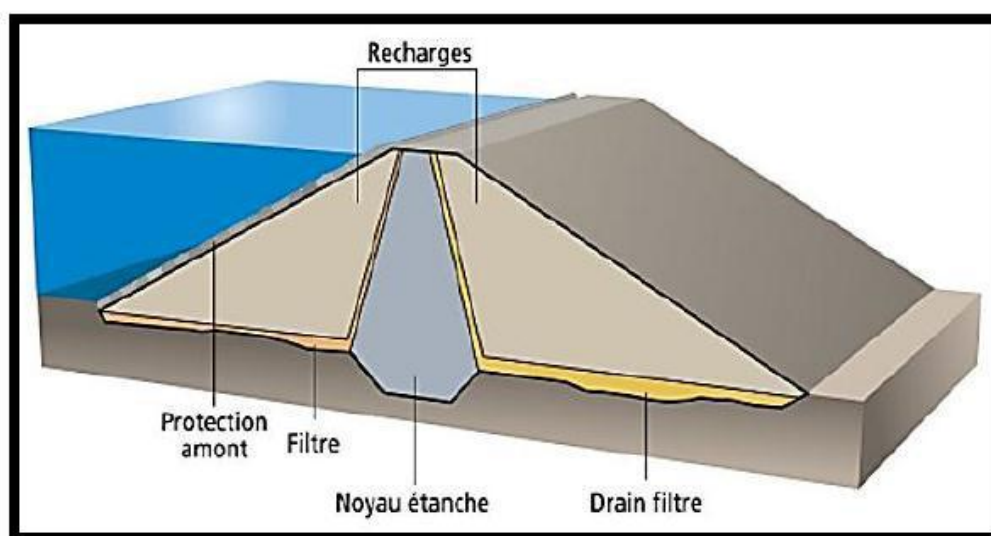


Figure 1.14 : Barrage zoné avec noyau vertical

I-4-2-5-1-3-Barrage à masque amont :

Les barrages à masque amont sont constitués d'un remblai plus ou moins perméable assurant la stabilité d'ensemble. Un écran imperméable, appelé masque, est mis en place sur le parement amont de façon à rendre le barrage étanche et lui permettre de retenir l'eau du réservoir (Figure I-15).

Le masque qui constitue l'organe d'étanchéité amont est classiquement réalisé en béton, avec des produits bitumineux ou encore au moyen d'une géo membrane.

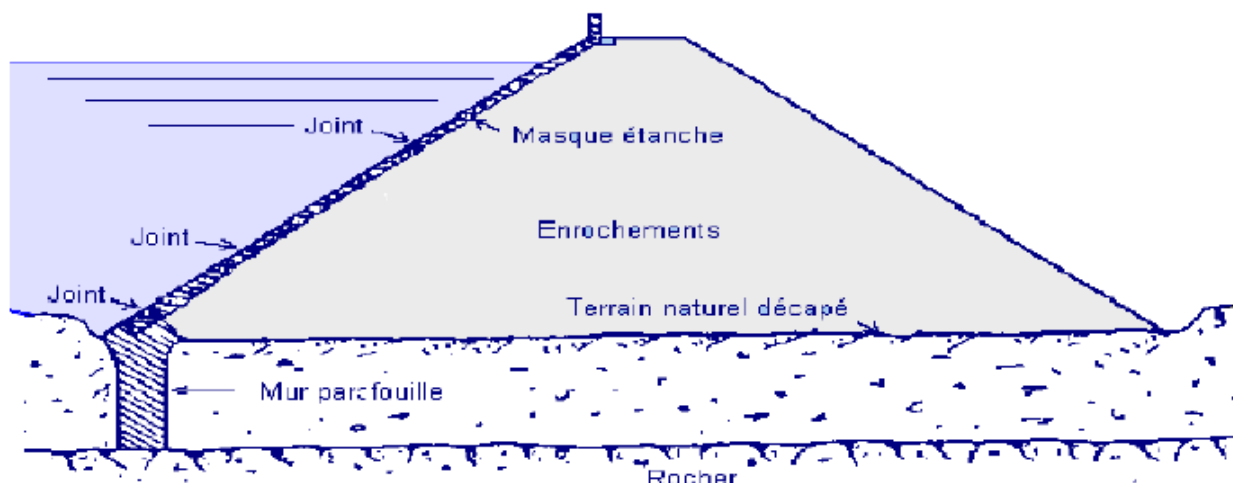


Figure 1.15 : Barrage à masque amont.

I-4-2-5-2-barrages en enrochement :

Un barrage en enrochement n'est pas autre chose qu'un tas de cailloux à grande échelle, qui résiste par sa masse aux efforts auxquels il est soumis. Mais n'étant pas étanche par lui-même, il faut lui adjoindre un organe d'étanchéité qui constitue la partie la plus délicate, aussi bien au stade du projet qu'à celui de la réalisation.

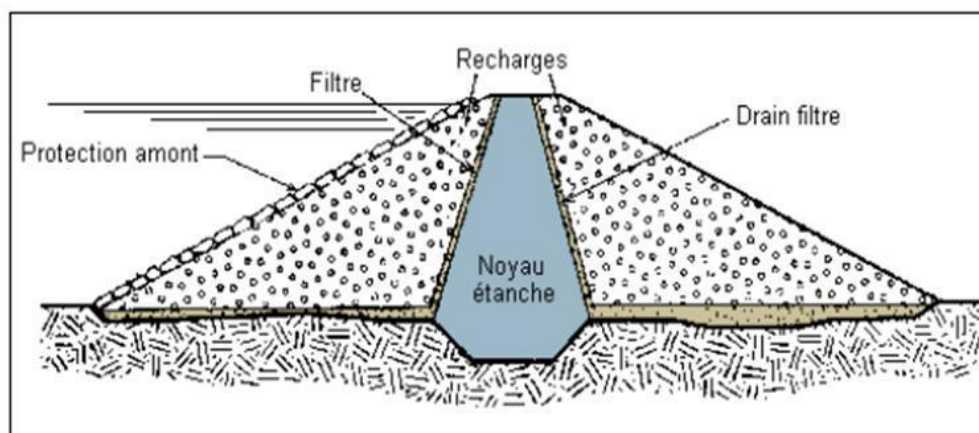


Figure 1.16 : Profil d'un barrage en enrochement.

I-5- l'évacuation de crues :

Un barrage est toujours accompagné d'ouvrages annexes qui concernent l'évacuation des crues, la vidange et la prise d'eau.

I-5-1- Définition d'évacuateur de crues :

Les évacuateurs de crue sont des ouvrages annexes aux barrages, qui permettent la Restitution des débits de crue excédentaires (non stockés dans le réservoir) à l'aval du barrage. D'une importance primordiale pour la sécurité du barrage, les évacuateurs doivent être en mesure d'empêcher le débordement de l'eau par-dessus la digue et l'apparition de phénomènes d'érosion à l'aval de la digue dans la zone du rejet dans l'oued.

D'une manière générale, un évacuateur de surface est constitué de :

- Un déversoir : ou seuil au-dessus duquel la lame d'eau peut s'écouler. Il se développe en général linéairement, mais il peut être également curviligne.
- D'un chenal : dans lequel débite le seuil. Son axe peut être parallèle au seuil (Entonnement latéral) ou perpendiculaire à celui-ci (entonnement frontal).
- D'un coursier dont la pente est forte, permettant ainsi à l'eau de rattraper la différence de cote entre le niveau de la retenue et le lit de la rivière à l'aval.
- D'un ouvrage dissipateur qui permet d'abattre l'énergie érosive de l'eau. (fosse de Dissipation, saut de ski, déflecteurs...etc.).

Pour certains barrages, les plus grands, il peut s'avérer plus économique d'adopter la solution de la tour au pied amont raccordée à une galerie sous le remblai, ce qui permet, en compartiment cet ouvrage d'assurer les trois fonctions : évacuateur en puits (ou en tulipe), prise d'eau à différents niveaux et vidange de fond.

I-5-2- Différents types d'évacuateurs de crues de barrages :

Les évacuateurs de crues se divisent en deux catégories selon les principes type :

- l'évacuateur de surface.
- les évacuateurs en charge.

I-5-2-1- Evacuateur de surface :

L'évacuateur de surface est constitué au départ de la retenue par un déversoir, dont le seuil se développe en général linéairement. Ce seuil débute dans un chenal dont l'axe peut être parallèle au seuil (entonnement latéral ou perpendiculaire à celui-ci entonnement

frontal). Ce chenal à pente faible a même de côté aval de la digue, l'eau empreint en suite un coursier dont la forte pente permet de rattrapé la différence de cotes entre le niveau de la retenue et le lit de la rivière a l'aval, et aboutit avec une vitesse importante dans un ouvrage dissipateur qui absorbe l'énergie du liquide. L'évacuateur de surface est place selon les cas, sur l'une des rives (évacuateur latéral) ou au centre du barrage (évacuateur central).



Figure 1.17 : Évacuateur de crues de surface.

I-5-2-2- Evacuateur latéral :

L'évacuateur du type latéral est adopté dans le cas où la pente du versant est faible. Ce type d'ouvrage repose directement sur le sol pas soumis à des tassements sous l'effet du massif du barrage (Figure I-11). L'écoulement dans le coursier est parallèle au seuil (latéralement à l'axe du barrage sur une rive).

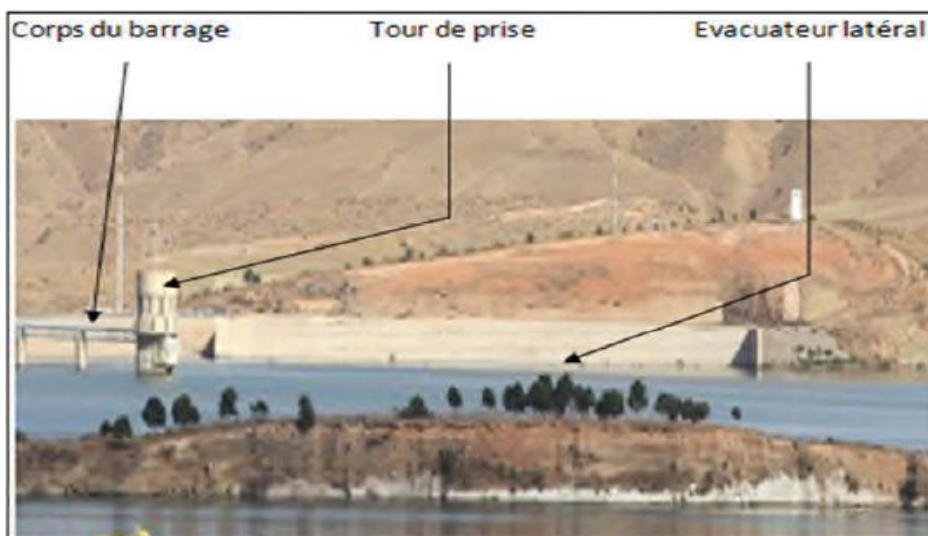


Figure 1.18 : Evacuateur latéral (Barrage Hamam Boughrara).

Si la pente du versant est forte, un déversoir latéral conduit à des déblais important et un déversoir frontal est alors préférable. Ce type de déversoir est également utilisé dans le cas de débit évacué très important conduisant à une longueur du seuil très important.

I-5-2-3- Evacuateur frontal :

Le déversoir de type frontal est adopté par des pentes du versant fortes. L'écoulement dans le coursier est perpendiculaire au seuil.

Ce type appartient à la catégorie des évacuateurs à écoulement à surface libre. Il Représente les avantages suivants :

- Fonctionnement très sûr même pour des débits dépassant le débit de la crue de projet
- Facilité de réalisation.

Ces inconvénients sont :

- Le cout peu élevé.
- La difficulté de modification.

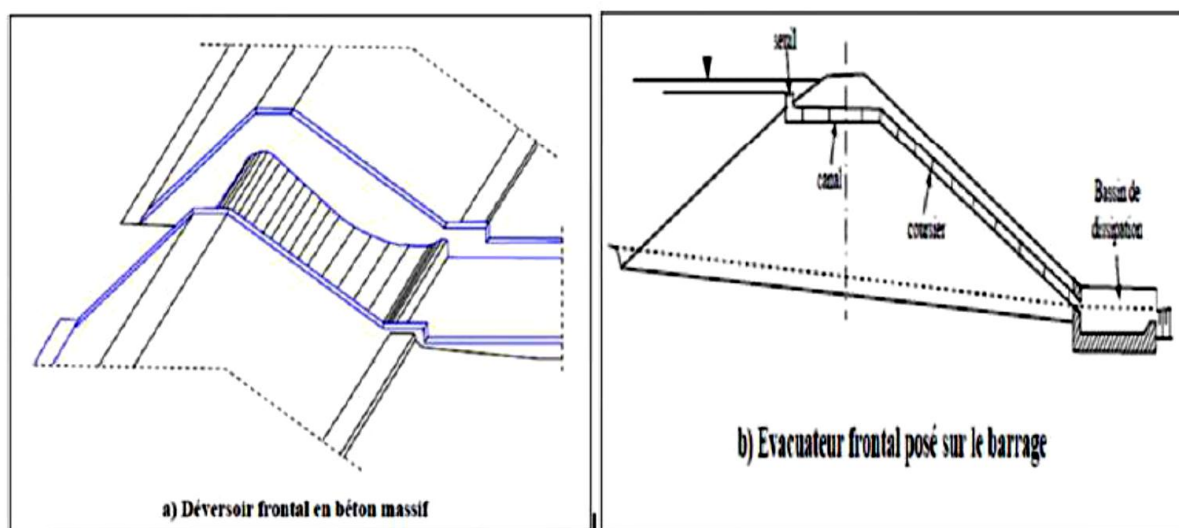


Figure 1.19 : Evacuateur frontal.

I-5-2-4- Evacuateur en charge :

Dans l'évacuateur en charge l'eau transite vers l'aval du barrage par une galerie ou par une conduite de gros diamètre disposée sous le barrage ou latéralement en rive.

Cette conduite est alimentée par l'intermédiaire d'un puits ou d'une tour, ou par un déversoir de surface à crête ronde souvent circulaire appelé tulipe.

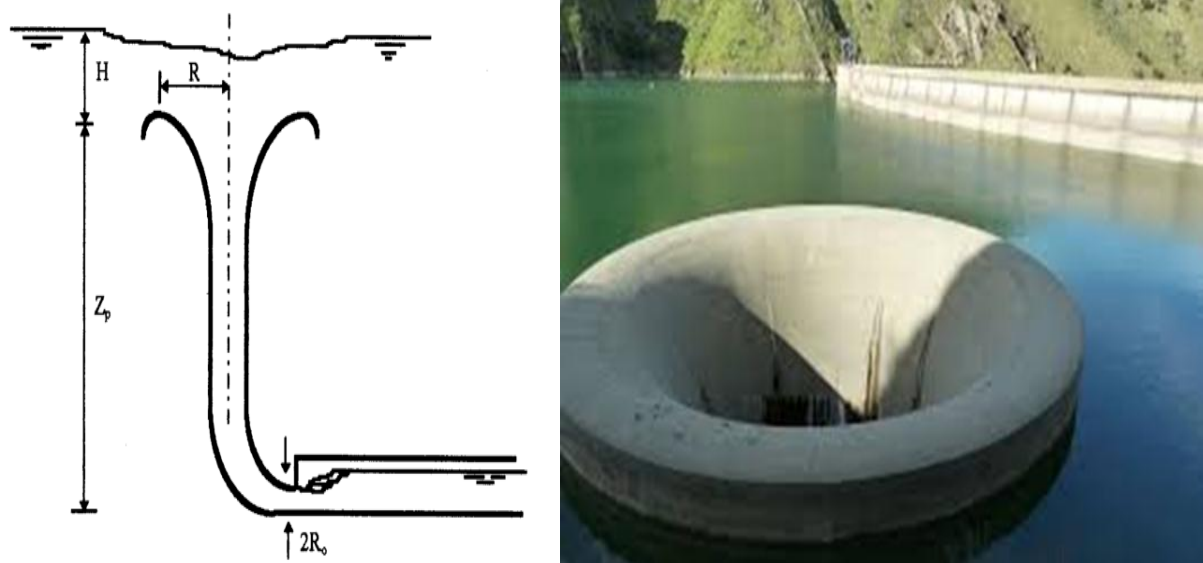


Figure 1.20 : Évacuateur de crues en charge.

Les évacuateurs de crue peuvent être du type puits ou type siphon (Figure 1.16 et 1.17)

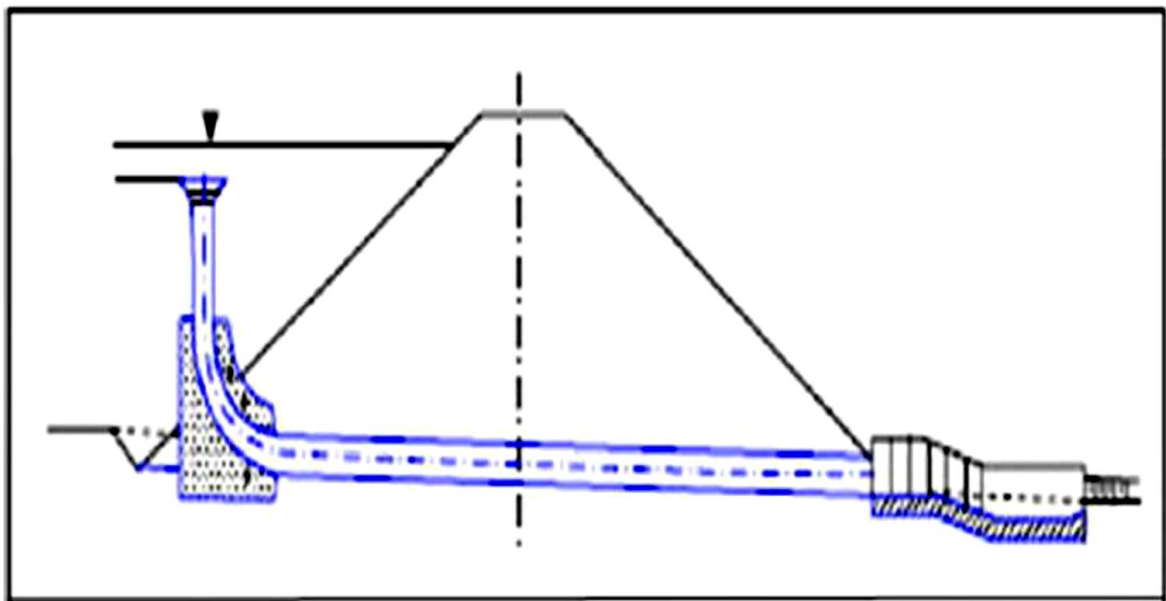


Figure 1.21 : Evacuateur en puits.

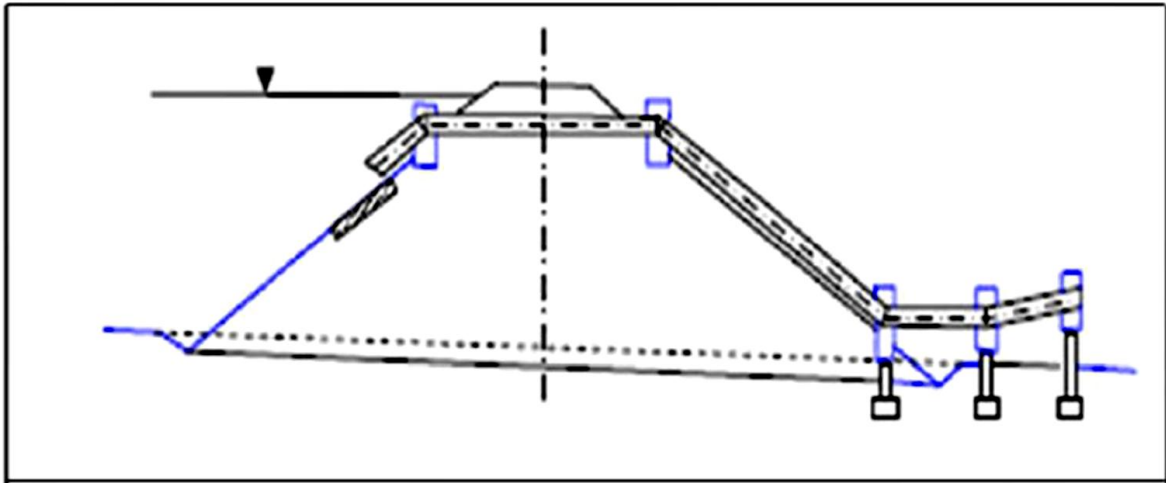


Figure 1.22 : Evacuateur en siphon

I-5-2-5- Evacuateur en puits :

L'évacuateur en puits est un ouvrage en béton de forme circulaire. Il évacue l'eau par chute verticale dans la conduite enterrée débouchant à l'aval de la digue dans un bassin de dissipation. Le puits peut servir également de tour de prise d'eau. La conduite d'évacuation joue le rôle de conduite de vidange.

Ce type d'ouvrage équipera le plus souvent les grands barrages vu les avantages :

- Evacuation d'importants débits ($80 < Q < 6000$) m³/s)
- Bon fonctionnement avec forte chute pour des grandes charges.

En parallèle ce type d'évacuateur représente les inconvénients :

- Problème de saturation (débit supérieur à celui de dimensionnement, charriage)
- Problème de vibration
- Problème de liaison difficile à assurer (digue - conduite ou galerie)
- Prévoir des protections anti-vortex (coût et entretien)



Figure 1.23 : Évacuateur en puits circulaire.



Figure 1.24 : Évacuateur en puits marguerite.

I-5-2-6- Evacuateur en siphon :

Les siphons constituent des évacuateurs de superficie capables d'évacuer de très forts débits sous de faibles décréments pour un encombrement restreint (chose souhaitable pour toute conception optimale des organes d'évacuation).

Ce type d'ouvrage est à écoulement en charge, posé sur le corps du barrage, leurs

Avantage :

- Aucune exigence topographique.
- Calcul usuel.

Ces inconvénients sont.

- Amorçage et le désamorçage.
- Entretien indispensable.
- Débit faible à évacuer.
- Dispositif sur le corps de la digue.

I-6-Problèmes de sécurité des barrages :

Les barrages ont une grande importance économique et le capital investi dans leur construction est souvent très élevé et la rupture d'un barrage même pour les plus petits engendre souvent des dégâts très graves avec parfois des pertes humaines. Malheureusement, dans ce type d'ouvrages le risque zéro est inexistant et la solution adéquate est toujours difficile à mettre en œuvre, ce qui nous contraint à faire un choix entre le facteur sécurité et le facteur économique et il est essentiel d'apprécier correctement la marge de sécurité disponible.

Il est également indispensable de surveiller attentivement les ouvrages en service et faire des comparaisons avec d'autres ouvrages tout en tentant toujours d'améliorer la technologie et les méthodes de calcul et de réalisation de divers barrages. Il est à signaler que pour un facteur de sécurité donné, les grandeurs calculées peuvent être différentes des grandeurs réelles et l'écart peut atteindre des fois 100% mais dans les cas les plus complexes on ne doit pas hésiter à passer aux essais sur modèles réduits.

Enfin la notion de sécurité n'est pas simple à circonscrire et les coefficients destinés à l'évaluer ne font pas l'unanimité chez les spécialistes, car ces coefficients dépendent eux-mêmes de nombreux éléments qui eux-mêmes sont très variables d'une pratique à une autre.

CHAPITRE 1I

LA REGION D'ETUDE

Introduction

Le présent chapitre fait l'objet d'une présentation de la région où se trouve le Barrage « Foum- Elgherza ». La région de Biskra s'étend jusqu'à la zone du Chott Melghir au Sud-est et jusqu'à l'Erg oriental au Sud-ouest et son altitude est de 125 mètre au-dessus du niveau de la mer. Le réseau hydrographique de la région est formé par quatre principaux Oueds : Oued Biskra, Oued El-Arab, Oued El Abiod et Oued Djeddi. Celui qui alimente le Barrage « Foum- Elgherza » est bien celui de Oued El-Biod.

II-1-L'aménagement hydraulique :

Le barrage de Foum El Gherza, haut de 65 mètres, est le premier grand ouvrage établi en zone saharienne en Algérie ([Gouskov, 1952](#)). Il est inscrit au registre mondial des grands barrages. Il a été réalisé durant la période 1948 -1950 à l'exutoire de oued Abiod qui draine un bassin versant d'environ 1300 Km². Déjà en projet depuis 1920, le barrage Foum El Gherza est mis en eau en 1950, vidé en 1951 suite à une avarie du système de prise d'eau. Remis en eau, il s'avère non étanche.

Cet ouvrage d'art de deuxième génération (période 1945-1963) a permis à la région de Sidi Okba de garder sa vocation économique basée sur l'agriculture durant un demi-siècle, du fait qu'il a aidé à contrer la sécheresse qui a sévit dans la région durant plusieurs années. Ce barrage a permis en outre l'extension des palmeraies. Il est d'un très grand intérêt économique dans la région puisqu'il permet d'irriguer plus de 300 000 palmiers dattiers des palmeraies de Sidi Okba, Garta, Seriana et Thouda, soit près de 1200 hectares.

II-2- Description de la région d'étude

II-2-1 Contexte géographique

La synthèse géographique est basée sur les études de l'ANRH (2012), la région de Biskra située au Centre-Est de l'Algérie, précisément au Sud des Aurès. Elle s'étend jusqu'à la zone du Chott Melghir au Sud-Est et jusqu'à l'Erg oriental au Sud-Ouest avec (latitude 34° 52' N, longitude 5° 38' E) et son altitude est de 125 mètre au-dessus de niveau de la mer.

La wilaya de Biskra est distante de 425 km au Sud-Est de l'Algérie et s'étend sur une superficie de 21 671.2 Km², Elle est limitée au Nord par la wilaya de Batna, au Nord-Est par la wilaya de Khenchela, au Nord-Ouest par la wilaya de M'sila, au Sud par les Wilayas d'El Oued et d'Ouargla, au Sud-Ouest par la wilaya de Djelfa (figure 07).

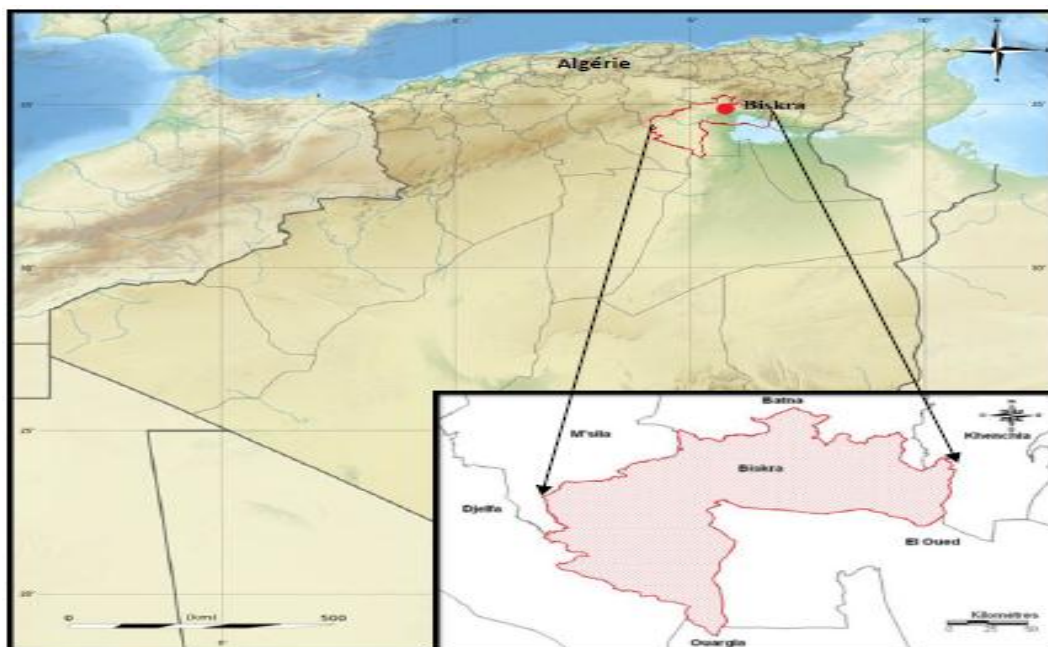


Figure 2.1 : Carte de situation de Biskra (Inspiré de Wikipedia.org, 2015)

II-2-2 Situation de barrage :

Le barrage Foum-El-Gherza est situé à 18 km à l'est de Biskra au versant sud des Aurès dans la wilaya de Biskra, à 11 km de la ville de Sidi Okba (figure 2.2).

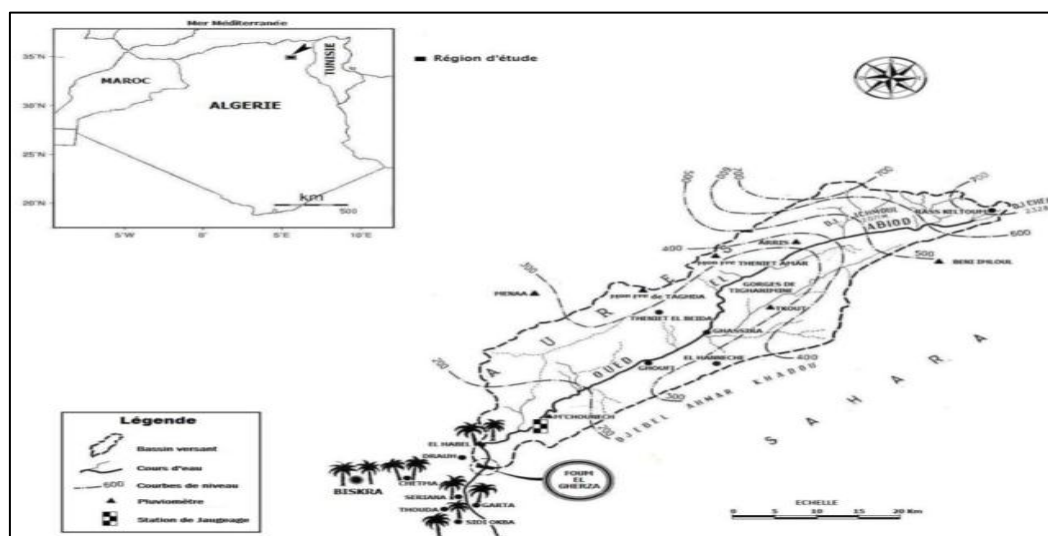


Figure 2.2: situation du barrage de Foum El Gherza (Adapté de Gouskov, 1952)

L'image Google Earth ci-dessous montre la forme canal du lac de la retenue de Foug El Gherza

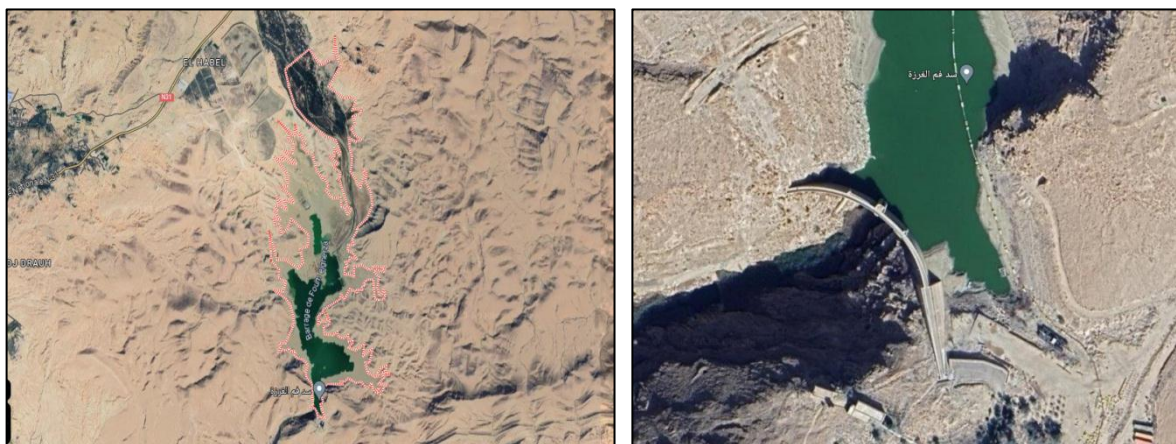


Figure 2.3 : Image Google Earth de la retenue du barrage de Foug El Gherza (Biskra)

II-2-3 Contexte morphologique :

A l'échelle morphologique cette région passe par une topographie de plateau légèrement inclinée vers le sud à un relief assez élevé et accidenté au nord (Bensaâda et al., 2008 in Abssi 2013). En surface, les dépôts grossiers que l'on trouve au pied des montagnes passent à des dépôts argilo sableux, vers le Sud (Sedrati, 2011).

Selon Aïdaoui (1994) le relief de la région de Biskra est constitué par quatre unités morphologiques qui sont : les montagnes, les piémonts, les plaines et les dépressions.

- Dans la partie Nord de la région de Biskra (El-Kantara, Djemourah et M'Chounech) se découpent les montagnes ou les chaînons atlasiques avec une altitude maximale peut aller de 1500 à 1700 m .alors que la moyenne est de l'ordre de 300m.
- A l'Ouest de la région de Biskra se trouve les plateaux, ils s'étendent du nord au sud et englobant les daïras d'Ouled Djellal, Sidi Khaled et une partie de Tolga.
- L'Est est caractérisé par une vaste plaine développée et découpée par les lits d'oueds, la plaine occupe approximativement les deux tiers de la superficie et couvrent les daïras d'el Outaya, Doucen, Sidi Okba et Zeribet el Oued. Elle se présente en général par une pente douce de la chaîne atlasique aux étendues sahariennes du Sud.

➤ Oued Biskra

Ce réseau hydrographique est formé par les deux grands oueds, Oued El Hai et Abdi sont très importants, Leurs eaux s'écoulent sur le versant sud du massif des Aurès (Ould Baba Sy, 2005). Cet Oued a formé une vallée alluviale qui recèle une importante nappe d'inféro-flux actuellement exploitée (Sedrati, 2011).

➤ Oued El Arab

Cet Oued couvre la partie orientale des Aurès, avec une longueur d'environ 150 km de son origine jusqu'à son exutoire dans la zone dépressionnaire du chott Melghir. Il prend son origine des monts « Djebel Aidel » vers 2100 m d'altitude (Ould Baba Sy, 2005).

➤ Oued Abiod

Il est caractérisé par une courte longueur d'environ 156 km, forte pente et un profil irrégulier. Prenant son origine vers 1900 m d'altitude (Ballais, 2010). Son cours d'eau est dompté car celui-ci termine sa source dans un barrage appelé « Foum El Gherza » et à partir de là sont irriguées les Oasis des Ziban : Sidi Okba et Sériana.

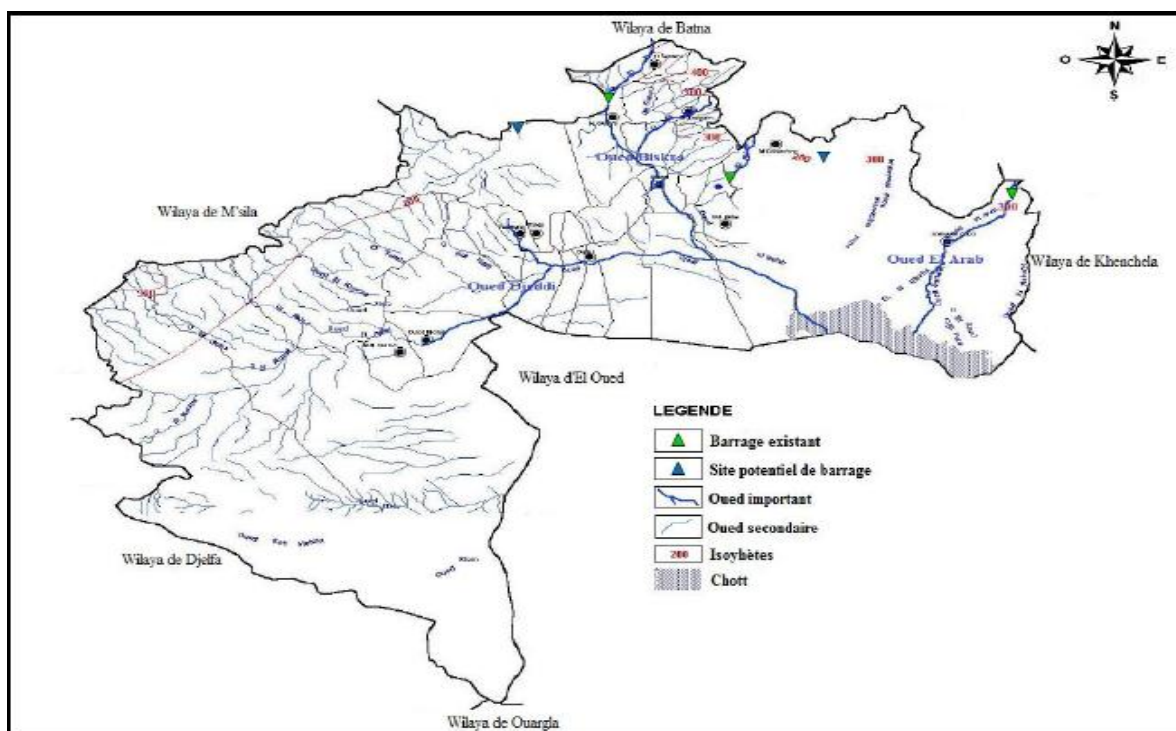


Figure 2.5 : Carte du réseau hydrographique de la wilaya de Biskra (D'après ANAT, 2014)

II-2-5 Pédologie :

Les sols de la Wilaya de Biskra sont en général hétérogènes mais ils sont constituent des mêmes catégories rencontrées dans l'ensemble des régions arides de l'Algérie (Halilat, 1998).

D'après Masmoudi (2012), les principaux classes des sols de la région de Biskra sont les classes des sols peu évolués, halomorphes et calci-magnésiques, à l'Est les sols sont généralement riches en argile et en calcaire par contre à l'Ouest les sols sont gypseux et/ou calcaires.

II-2-6 Contexte climatique :

Les caractères du climat saharien sont dus tout d'abord à la situation en latitude, au niveau du tropique, ce qui entraine de fortes températures, et au régime des vents qui se traduit par des courants chauds et sec (Ozenda, 1991).

Les paramètres climatiques jouent un rôle considérable pour la disponibilité de la ressource d'eau dans les zones arides. Le renouvellement de cette ressource soit superficielle ou bien souterraine dépend des précipitations qui sont influencées par d'autres facteurs climatiques.

Pour illustrer ce rôle et connaitre les caractéristiques climatiques de notre région d'étude, nous avons collecté les données relatives à la pluviométrie, température, humidité de l'air ainsi que d'autres, de la station météorologique de Biskra, situé au niveau de l'aéroport.

II-3-But de la construction du barrage :

Cet aménagement a pour principaux buts, la régularisation du régime de l'Oued Abiod durant les crues et l'irrigation des palmeraies de Sidi Okba, Seriana, Thouda, et Garta. D'autres cultures sont aussi concernées mais en second lieu : les céréales, le maraichage et les arbres fruitiers. Le barrage devait accessoirement fournir de l'électricité à Biskra.

II-4 Caractéristiques du barrage :

Les principales caractéristique sont les suivantes :

II-4-1- Caractéristiques hydrologiques :**Tableau 2.1 :** caractéristiques hydrologiques d'oued el-abiod

Nom	caractéristique
Oued	EL-ABIOD
Crues Historiques	10 Octobre 1966 - 29 Mars 2004 - 29-31 Octobre 2011
Capacité initiale	47,00 hm ³
Capacité d'après dernier levé (Juillet 2007)	12,904 hm ³
Apport moyen annuel	25,60 hm ³ /an (1950-2014)
Envasement	0,80 hm ³ /an
Surface du bassin versant	1 300 km ²

II-4-2- Caractéristiques techniques :

- Type : voute avec culée rive gauche
- Altitude de la retenue maximale : 198.1 m
- Surface de la retenue au maximum : 3.09 km²
- Capacité totale du réservoir: 43.00 hm³
- Hauteur maximale de barrage au-dessus du thalweg : 73 m
- Hauteur de la crête de barrage au dessus de crête du déversoir : 4.35 m
- Côte retenue normale (R.N) : 198,90 m
- Côte Plus Hautes Eaux (P.H.E) : 203,25 m
- Longueur : 188 m
- Rayon de courbure : 80.00 m

- Capacité de la retenue initiale : 47 m³/h
- Évacuateur de crue : 2 déversoirs superficiels sur la crête des barrages : 2 × 18 m (seuil déversant à 198.9 m). Il permet d'évacuer un débit de 730 m³/s sous une charge de 4,35 m
- Vidange implantée à la cote 145.25 m qui permet d'évacuer un débit de 110 m³/s sous la retenue maximum
- Prise d'eau : 3 prises superposées situées dans une tour accolée à l'amont du plot central de la voute. Elles permettent de dériver un débit de 4 m³/s.
- Conduite forcée qui relie la tour de prise d'eau à l'usine hydro-électrique à 165 m de longueur et un diamètre intérieur de 0,95 m.
- La culée : la voute s'appuie à la rive gauche sur une culée du type barrage poids, la culée est rectiligne, sa longueur totale et de : 60,3 m.

II-5 Exploitation des eaux du barrage de Foum El Gherza :

L'irrigation rationnelle des palmeraies a pour but d'assurer pendant toute l'année et surtout pendant l'été, les quantités d'eau nécessaires à une évolution normale des arbres et à l'élaboration d'une bonne récolte. Donc, les spécialistes sont assez imprécis sur le volume et la fréquence des arrosages. Quelque en soit, la culture du palmier dattier exige d'importantes quantités d'eau.

L'influence défavorable des facteurs climatiques font qu'au Sahara la prospérité du palmier dattier est principalement fonction des volumes d'eau disponibles pour l'arroser.

En fait, l'eau d'irrigation sert à humidifier l'horizon du sol fouillé par les racines nourricières des arbres. Le palmier peut évoluer normalement entre 20 et 24% d'humidité relative du sol. (AiDoudi L, 2012)

Les besoins en eau du palmier dattier dépendent donc :

-De facteurs édaphiques: (nature physique du sol donc capacité de rétention en eau, nature

chimique des terres qui en général sont pauvres mais riches en sels et donc arrosages plus fréquents et copieux pour combattre la salinité).

-De la qualité des eaux: les irrigations doivent être d'autant plus nombreuses et volumineuses que les eaux sont plus chargées afin de limiter les phénomènes de salinisation secondaire généralisée et stabilisée.

-De l'aménagement et de l'entretien de la plantation: plus les planches sont parfaitement nivelées et le sol est entretenu plus l'exécution des arrosages est favorisée et la pénétration de l'eau est meilleure.

Dans la pratique, l'irrigation des palmeraies ne tient pas compte du stade de développement biologique et physiologique des palmiers et par conséquent de la variation des besoins durant l'année. De plus, au point de vue production de dattes, certains chercheurs ont calculé qu'il fallait **1 m³** d'eau pour obtenir **1 kg** de dattes (Boukoucha abdelaziz (2020)). Par ailleurs, en dehors de la technique d'irrigation par submersion, une technique récente a été essayée. Il s'agit de « l'irrigation goutte à goutte ». Elle permet une économie d'eau incontestable.

II-6- Problèmes auxquels est confronté le barrage :

L'utilisation des ressources en eau de la retenue du barrage de Foug El Gherza pour l'irrigation pose souvent des questions sur la quantité d'eau disponible et sa variabilité saisonnière, sur la durée de vie de l'aménagement ainsi que sur l'efficacité des pratiques de vanne et de chasse des crues. Construit durant la période coloniale (1947) pour l'irrigation des palmeraies et la production d'énergie électrique, le barrage de Foug El Gherza est confronté à divers problèmes entre autres :

➤ une réduction de la capacité du fait de l'envasement. Cette perte de capacité a été estimée à près de 45 % en 1986 (Kassoul et al., 1997). Sa capacité a été estimée en 1998 à 17.2 106 m³, soit une perte en volume utile de près de 63 % (Bessenasse et al., 2003). Le comblement du barrage atteignait en 2006, 70 % de la capacité (Remini et al., 2009). En Novembre 2014 (figure 2.6), lors d'une visite au barrage, la capacité du barrage était à son plus bas niveau et ne dépassait guère les 100.000 m³.



Figure 2.6: Etat critique du barrage de Fom El Gherza en Novembre 2014

II-7-Typologie de fuites

Un barrage de stockage des eaux n'est jamais à l'abri des fuites d'eau. Plus la hauteur du lac d'eau est grande, plus la pression est grande sur toutes les parties qui forme le réservoir : le fond, les rives, la digue et les vannes de fond. On distingue 4 types de fuites :

II-7-1 Les fuites à travers le massif

Les fuites à travers les berges du barrage Fom el Gherza sont visibles à l'oeil nu. En période humide le phénomène est beaucoup plus visible puisqu'on peut observer les ruissellements au niveau des deux rives (fig. 2.6 et 2.7). Ces eaux en provenance du lac du barrage s'écoulent à travers les fissures de la roche. En période sèche, seulement des résurgences apparaissent sur le bas de la rive gauche, à cause de l'abaissement du niveau

du lac. Une forêt d'herbe et de roseaux s'est formée à l'aval du barrage par les écoulements continus durant toute l'année.



Figure 2.7 : Ruissèlement des eaux de fuites sur le massif de la rive droite du barrage de Foug El Gherza (Photo. Remini, 2005)



Figure 2.8 : Une aire verte s'est formée à l'aval du barrage suite aux écoulements des eaux de fuites (Remini, 2016)

II-7-2 Fuites à travers la digue

Généralement, ils peuvent apparaître des petites fissures dans certains endroits d'une digue en béton et à certains joints de construction et qui peuvent se colmater avec le temps. Ce type de fuite est visible à l'oeil nu, mais son débit reste assez faible. Cependant, ces fuites peuvent nuire à la sécurité de l'ouvrage. Le suivi de l'évolution de ce type de fuites doit être suivi d'une façon continue. Les fuites sont visibles sur le barrage de Fom El Gherza (fig.2.9).



Figure 2.9: Une fuite d'eau bien visible bien que le lac est au niveau le plus bas (Mai, 2017)

II-7-3 Fuites à travers les vannes de fond

C'est un type un peu particulier. Après quelques années d'exploitation du barrage et les manoeuvres périodiques des pertuis de vidange, des quantités d'eau de faible importance peuvent fuir à travers les joints (fig.2.10). Cependant des cas particuliers peuvent avoir lieu comme le blocage de la vanne par un objet extérieur. A titre d'exemple, lors d'une opération de vidange, la vanne n'arrivait pas à se fermer. Elle se trouve coincé par un tronc de palmier. Elle est restée ouverte durant plus de 6 heures.



Figure 2.10 : Vanne de fond du barrage de Foum El Gherza Souvent bloquée Par les palmiers arrachés par les crues (Photo. Remini, Mai 2016)

II-8- Observations et quantifications du phénomène de fuites à travers les rives

La première remarque que nous pouvons tirer concerne le site du barrage qui est constitué par une stratification de la roche de type calcaire fissuré incliné dans le sens de l'écoulement de l'oued Al Abiod (inclinaison de 30°) (fig. 9). En plus, il existe des fissures et des ouvertures qui peuvent atteindre 10 cm dans certains endroits (fig. 10). Le réservoir formé par la digue en voûte possède toutes les caractéristiques pour favoriser les écoulements à l'intérieur des roches et par conséquent, le barrage se vide dans le temps. C'était le seul lieu favorable à la réalisation d'un barrage d'une capacité de 47 millions de m^3 pour irriguer les palmeraies avoisinantes. La mise en service du barrage en 1950 a permis au niveau d'eau de dépasser une hauteur de 30 m, ce qui a engendré une pression de 300000 N/m^2 qui permet à l'eau de s'introduire et de s'écouler à travers les fissures de la roche. Des quantités d'eau énormes fuient le barrage. Diverses résurgences et sources d'eau ont fait une apparition dans les deux rives à l'aval du barrage. Une telle situation a poussé les services d'hydrauliques de procéder à la réalisation entre 1950 et 1957 d'un

rideau d'étanchéité pour minimiser les pertes d'eau. Un voile d'étanchéité d'une longueur de 2 km et équipé de 103 piézomètres a été réalisé à partir des années 50 sur les deux rives. A partir de 1970, un réseau de jaugeage des eaux de fuites a été réalisé.

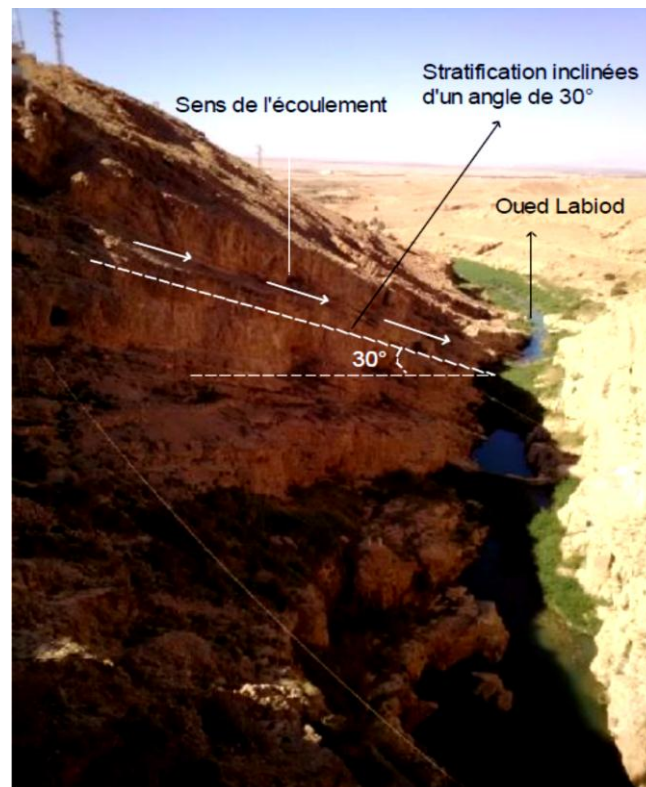


Figure 2.11 : Une vue générale sur la stratification de la roche-Inclinaison dans le sens de l'écoulement (photo. 2016)



Figure 2.12: Grande ouverture au niveau de la roche de la rive droite (photo. 2017)

II-9- Le rôle du voile d'étanchéité :

Unique solution pour réduire les infiltrations dans la roche est la réalisation d'un voile d'étanchéité. Le cas du barrage de Beni Haroun situé dans l'Est Algerien a été mis en service en 2003, mais son exploitation réelle a été retardée faute des fuites d'eau à travers la rive droite. Le voile d'étanchéité réalisé dans la roche a beaucoup réduit ces écoulements (Toumi et Remini, 2018). Le barrage de Foug El Gherza est réalisé sur le calcaire cristallin du Maestrichtien qui présente sur toute son épaisseur une multitude de trous et de fissures. Pour minimiser les pertes d'eau dans ce milieu perméable, juste après la mise en eau du barrage, un voile d'étanchéité a été construit durant la période : 1950-1957 (fig. 11).

Pour des raisons techniques, le voile d'étanchéité a rencontré des problèmes de fonctionnement. C'est ainsi que des essais de renforcement et de raccordement du voile d'étanchéité ont été effectués durant la période ; 1954-1957. D'une longueur totale de 2 km (1.5 km de la rive droite et 0,5 km de la rive gauche), l'écran d'étanchéité a été renforcé par un dispositif de piézomètres afin de contrôler la circulation des eaux et de l'état du rideau. Au début des années soixante-dix, un réseau de canalisation des eaux de fuites a été réalisé dans le but de jauger et de récupérer ces eaux pour l'irrigation des palmeraies de Sid Okba, Thouda, Garta.

En 1996, des travaux de réhabilitation du rideau d'étanchéité du réseau des piézomètres et des drains ont été effectués. Cependant, en 2017, le problème des infiltrations aux appuis latérales persiste toujours, ce qui démontre que cet ouvrage d'étanchéité certes a réduit les fuites, mais n'a pas solutionné totalement le problème. Il est à noter que depuis un demi-siècle, le dispositif piézométrique n'a cessé de se dégrader d'une année à l'autre. Plusieurs piézomètres sont devenus inutilisables par suite de l'obturation par le sable et la boue. C'est ainsi que le nombre de piézomètres fonctionnels qui était égal à 103 en 1958, a diminué pour se retrouver en 2017 égal uniquement à 17. Les 90 autres piézomètres ont été abandonnés .



Figure 2.13 : Traces du rideau d'étanchéité sur la rive droite du barrage (photo. Mai 2017)

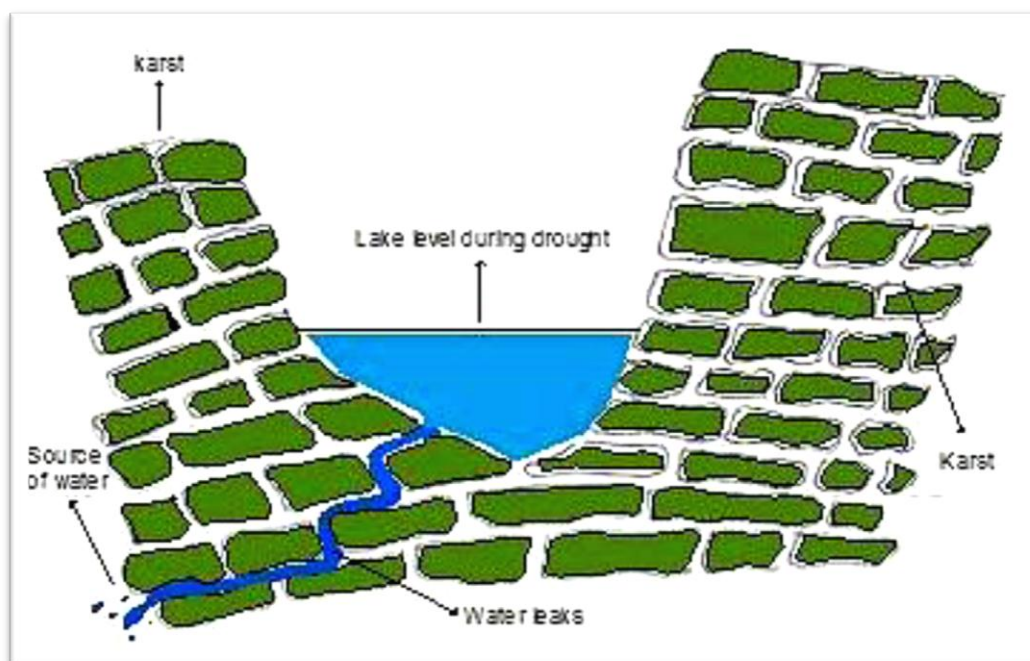
II-10 La nature de la roche, les crues et les fuites :

Le barrage de Foum El Gherza est bâti sur un massif formé par des roches de calcaires karstique maestrichtiens rigide et fissuré. Par contre la fondation est composée de calcaire de bonne qualité. Donc c'est à travers les deux rives que les écoulements s'effectuent au vu de la forte perméabilité. Les crues rapides et éclaires qui se manifestent occasionnellement dans l'oued El Abiod drainent des apports d'eau appréciables comme le montre les exemples du tableau 1. Ces débits d'eau provoquent une montée rapide du niveau du lac. Une telle variation brusque engendre souvent l'accroissement des infiltrations à travers les ouvertures et les fissures (fig. 15 (a et b)). Après le passage dans le massif rocheux, l'eau s'écoule dans les couloirs de circulations, rejoint le cours d'eau à l'aval du barrage à travers une multitude de sources et de résurgences localisées dans les rochers des deux rives. Il est à noter que le volume de fuites de la rive droite est supérieur à celui de la rive gauche (Toumi et Remini, 2003 ; Remini et al, 2001). Sur la base des observations et des

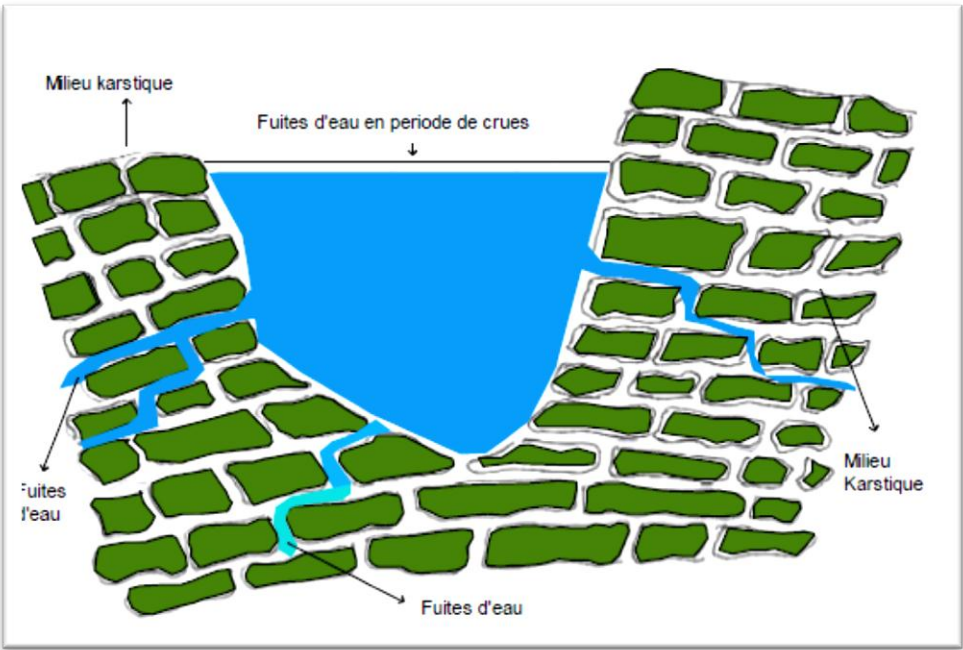
investigations opérés sur le site, nous avons exécuté un schéma probable des écoulements des fuites à l'intérieur de la roche.

Tableau 2.2 : Quelques valeurs du débit des crues drainées par l'oued El Abiod (Données ANBT)

Date	Débit (m ³ /s)
Crue du 01/10/1959	243.15
Crue du 12/09/1963	308.43
Crue du 28/09/1986	344.54
Crue du 16/03/2011	83.81



a. Infiltrations en période de sècheresse



b. Infiltrations en période de crue

Des fuites très importantes (figure 2.14) peuvent dépasser 5 106 m3/an (Remini, 2005).

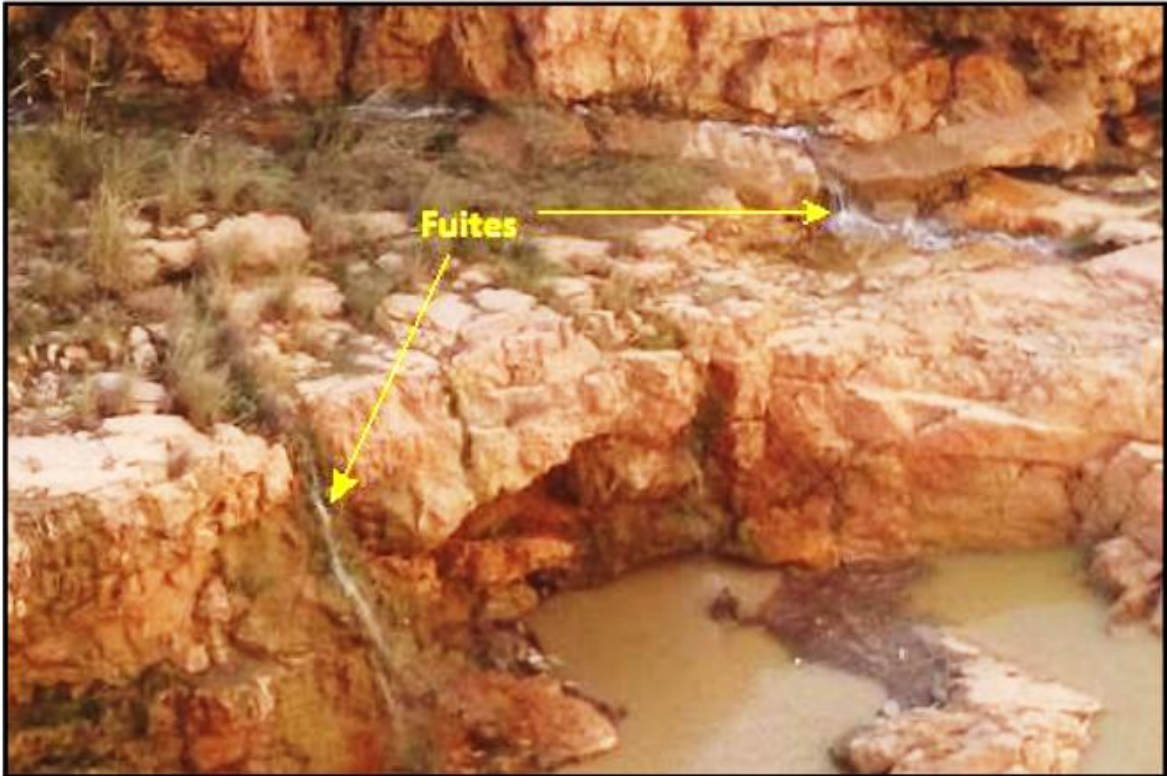


Figure 2.14 : Fuites d'eau du barrage de Foug El Gherza

Selon [Arrus \(1985\)](#) en 1960, les fuites sont de l'ordre de 7 à 12 Hm³. Les données de l'ANBT pour la période 1950-2014 mises en graphe sur la [figure 2.15](#) le montre assez clairement.

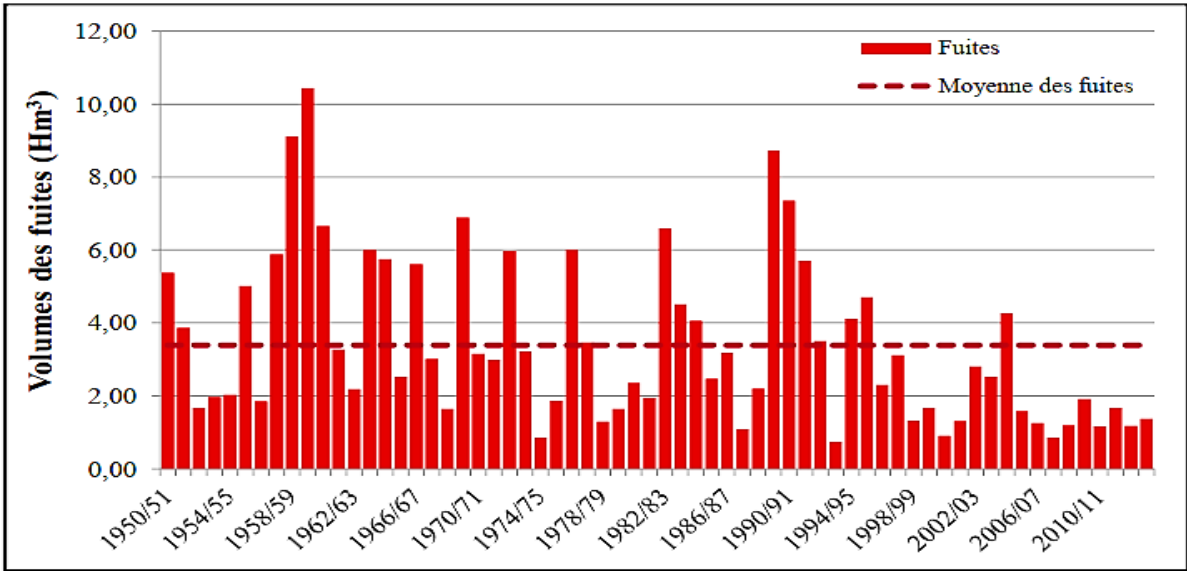


Figure 2.15 : Fuites d'eau au droit du barrage de Foum El Gherza

une évaporation élevée dont la moyenne interannuelle dépasse largement l'ordre de 3 106 m³/an pour un bon nombre d'années hydrologiques, comme l'illustre la [figure 2.16](#)([Badsì, 2005](#)).

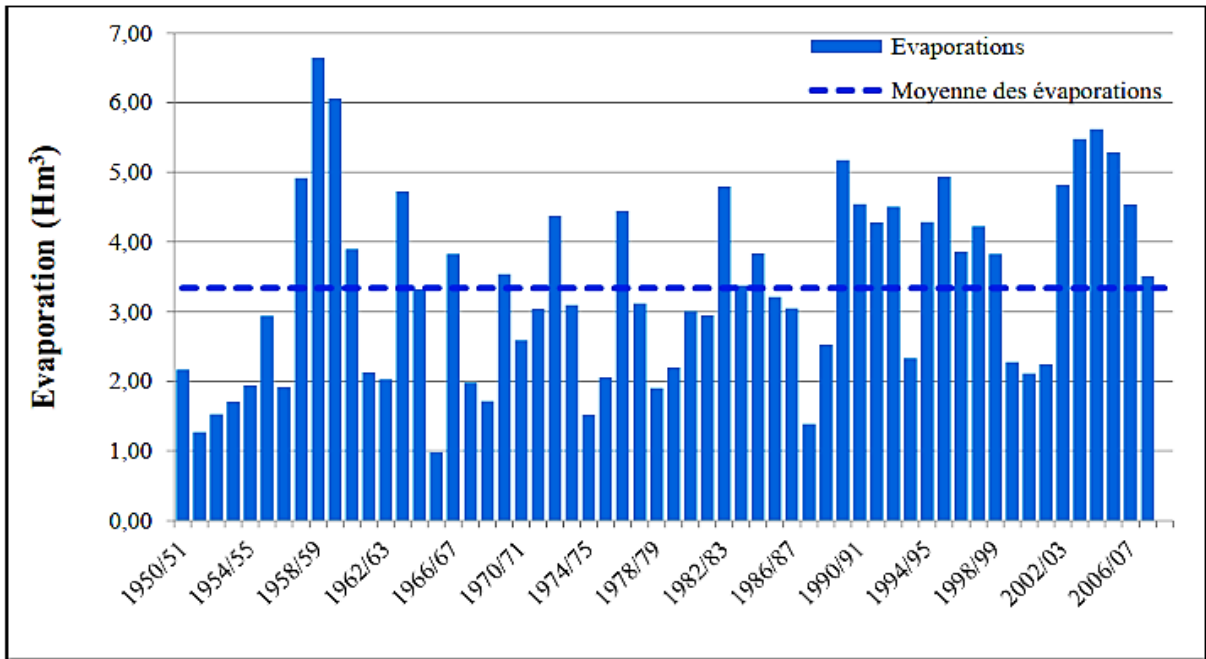


Figure 2.16 : Evaporations de la retenue du barrage de Foum El Gherza

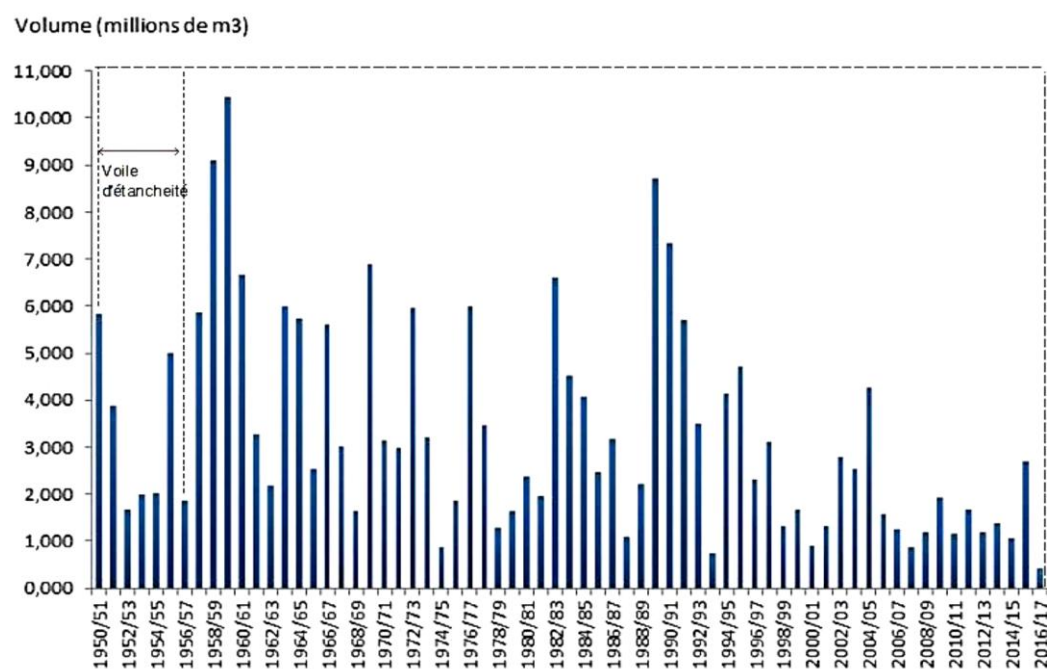


Figure 2.17 : Variation interannuel des Fuites d’eau au niveau du barrage de Fom El Gherza (Données ANBT)

Pour certaines années, les fuites au niveau des drains étaient récupérées pour le but d'irrigation.

En période de crue, le barrage déverse comme le montre la [figure 2.17](#). Pour des crues plus importantes, en plus du fonctionnement de l'évacuateur de crues, l'opération de vidange s'effectue par manœuvre de la vanne de fond ([figure 2.19](#)).



Figure 2.18 : Evacuateur de crue du barrage de Fom El Gherza en plein déversement



Figure 2.19 : Déversement d'une crue accompagné d'une opération de vidange de fond

Les deux opérations déversement et vidange sont nécessaires pour la sécurité du barrage, le dévasement de la retenue, le soutien du débit d'étiage à l'aval du barrage, mais aussi pour entretenir de petites irrigations au fil de l'eau.

Face à ces problèmes, le barrage de Foum El Gherza n'a cessé de jouer un rôle non négligeable dans le développement de la région de Sdi Okba. Ceci est constaté à travers les graphiques secteurs de la [figure 27](#). La faible part des volumes destinés à l'irrigation a été conséquente à une perte de capacité importante à partir des années 90.

II-11 Les eaux de fuites pour une irrigation complémentaire :

Les eaux des fuites sont récupérées par un réseau de canaux et sont mesurées avant d'être utilisées pour l'irrigation des palmiers. Un volume appréciable de 220 millions de m³ des eaux des fuites à travers la roche des deux rives malgré le voile d'étanchéité a été récupéré durant la période : 1950-2017 et orienter vers l'irrigation (fig. 23). Seulement, durant 67 ans d'exploitation, le barrage continu à jouer son rôle dans l'irrigation de plus de 300000 palmiers dattiers. Finalement, ces quantités d'eau de fuites n'ont pas été perdues dans la nature mais elles ont été récupérées.



Figure 2.20 : Les eaux de fuites récupérées et utilisées pour l'irrigation des palmiers dattiers (Photo. Remini, 2014)

CHAPITRE III
LES ETUDES D'ENTRETIEN
DES BARRAGES PROPOSEES

III-1 Etude des paramètres climatiques :

III-1-1 Les précipitations :

Pour la réalisation d'une étude climatique, la précipitation demeure un facteur primordial, et caractérisées par de fortes irrégularités dans les régions arides et semi-arides (Chabour, 2006).

Les précipitations agissent directement sur l'écoulement des cours d'eau. Elles influencent aussi sur l'infiltration, l'érosion des sols et le transport solide. Pour mieux comprendre ce paramètre, nous allons, étudier les variations de la moyenne mensuelle des précipitations.

Sur la base des données enregistrées à la station de l'ONM Biskra. Les précipitations moyennes mensuelles sont données dans le tableau 05 suivant.

Tableau 3.1 : Précipitations moyennes mensuelles pour la période (1967-2010)

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Total
Précipitations (mm)	16,4	9,4	13,9	12,9	11,6	4,8	1,5	4,7	20,8	15,4	17,8	9,5	138,7

La lecture de ce tableau indique que le climat de la région étudiée est caractérisé par l'irrégularité des pluies entre les mois. Les valeurs du tableau 5 ont été mises en graphe dans la figure 3.1.

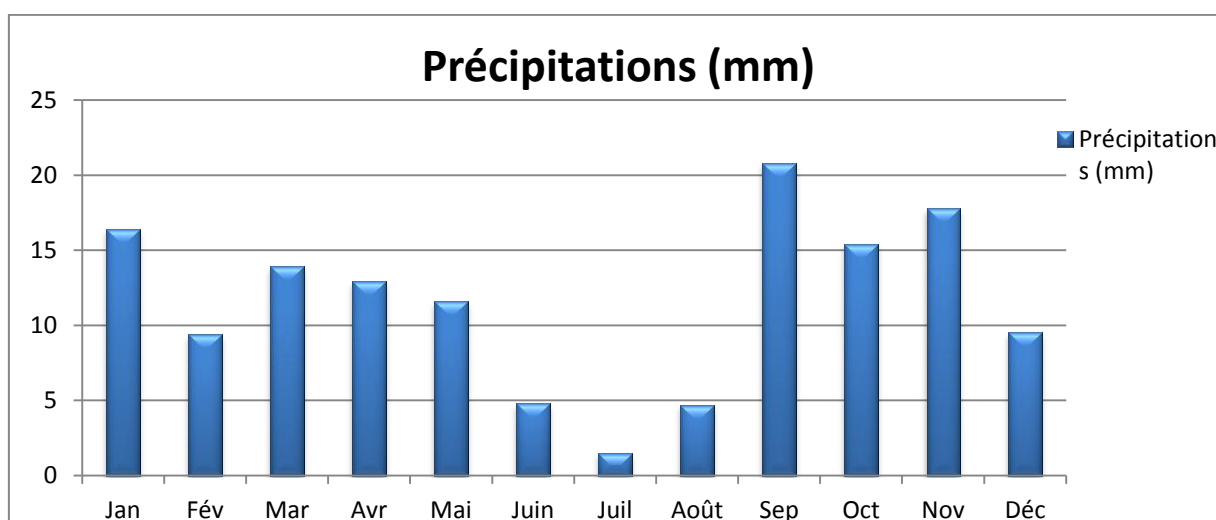


Figure 3.1 : Précipitations moyennes mensuelles dans la région de Biskra (période 1967-2010)

L'examen de la figure 10, montre un régime pluviométrique caractérisé par un seul max dans l'année. La faiblesse des précipitations est bien montrée durant cette période, caractérisée par une moyenne interannuelle de 138,7mm. En effet, la pluviosité moyenne la plus élevée est enregistrée durant le mois de septembre avec 20,8 mm. Les mois de juin, juillet et août reçoivent des précipitations faibles qui sont respectivement 4,8 mm, 1,5 mm et 4,7 mm.

Selon la carte des précipitations d'Algérie établie par l'ANRH (1993) (figure 11), la zone qui englobe Biskra, Branis, Sidi Okba, Ain Naga, Tolga, Doucen, Ouled Djellal et sidi Khaled, est caractérisée par des précipitations comprise entre 100 et 200 mm.

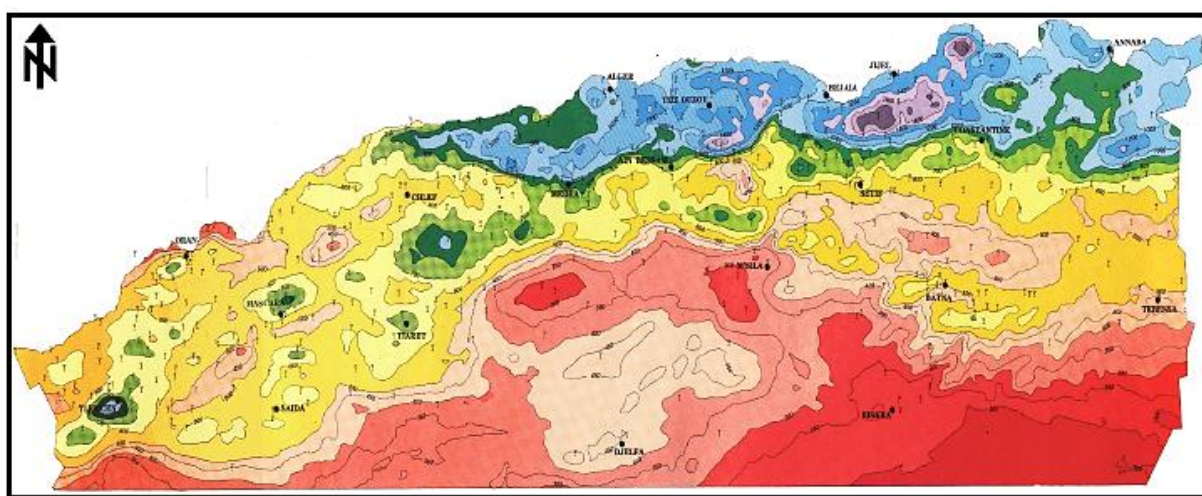


Figure 3.2 : Carte pluviométrique pour l'Algérie du Nord (source : [ANRH, 1993](#))

III-1-2 Les températures :

Le régime thermique moyennes annuelles et mensuelles par leurs variations influencent les phénomènes biologiques, tel que l'évaporation et la transpiration. Elles conditionnent le déficit ou l'excédent, qu'il soit annuel ou saisonnier (Sedrati, 2011).

Les valeurs des températures mensuelles (maximales, minimales et moyennes) de la région étudiée pour la période (1967-2010), sont résumées dans le tableau 3.2.

Tableau 3.2 : Températures moyennes mensuelles, (maximales, moyennes et minimales)
pour la station étudiée (période 1967-2010)

Valeurs moyennes	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Moy
T° max °C	16.8	18.9	22.2	26.1	31.0	36.7	40.1	39.2	34.0	28.2	21.5	17.3	27,67
T° moy °C	11.6	13.5	16.7	20.3	25.5	30.8	33.9	33.4	28.5	22.5	16.2	14.9	22,32
T° min °C	6.9	8.3	11.1	14.5	19.3	24.1	27.2	27.2	22.9	17.5	11.7	7.9	16,55

La lecture du tableau 06 permet de constater que la saison chaude s'étend de mai à octobre (T° moy °C en gras). Au cours de cette période, les températures moyennes mensuelles sont supérieures à la moyenne annuelle 22,32 °C, et pour la saison froide du mois de novembre jusqu'au mois avril, elles sont inférieures à la température moyenne annuelle. Ce qui permet de diviser l'année en deux périodes: une période froide et une période chaude, et met en évidence la succession des deux périodes.

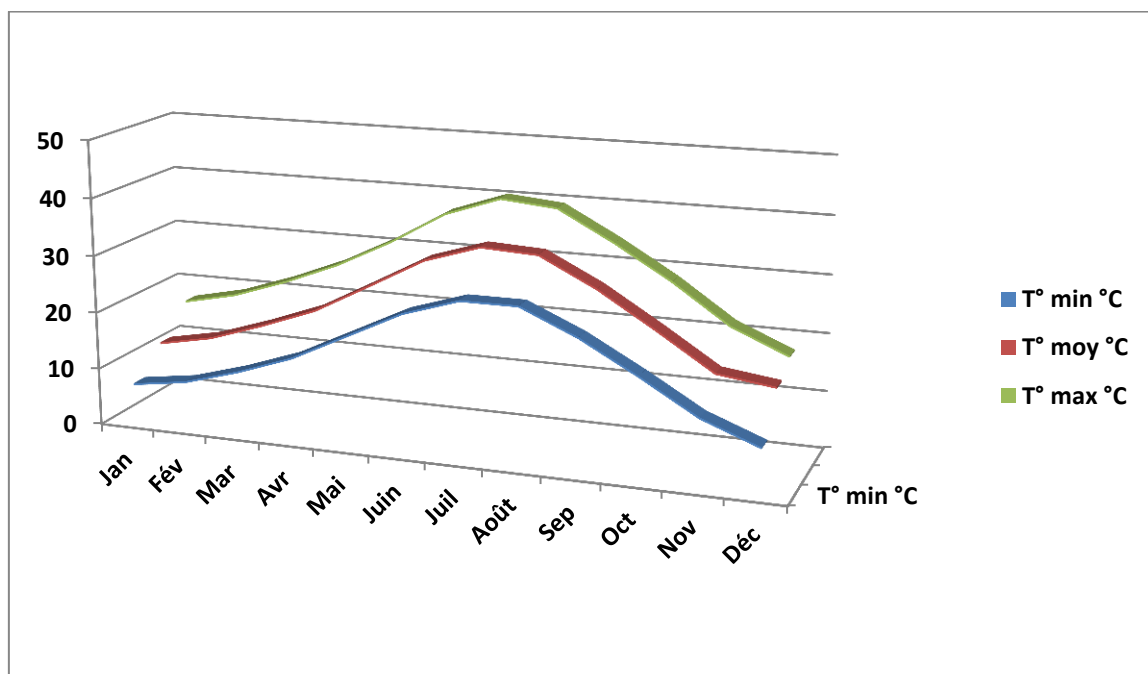


Figure 3.3 : Températures moyennes mensuelles (maximales, moyennes et minimales)
enregistrées à la station étudiée pour la période 1967-2010

La figure 3.3 montre que la plus faible valeur des températures minimales moyennes mensuelles à la station de Biskra est de 6,9 °C enregistrée au mois de janvier (mois le plus froid), quant à la plus importante, elle est de 40,1 °C enregistrée au mois de juillet (mois le plus chaud).

III-1-3 Humidité relative :

L’humidité relative ou degré hygrométrique est la mesure du rapport entre le contenu en vapeur d'eau de l'air et sa capacité maximale à en contenir dans ces conditions. Elle est mesurée à l'aide d'un hygromètre.

Selon la station météorologique de l’ONM Biskra, l’humidité relative moyenne de l’air est rapportée au tableau 3.4 suivant

Tableau 3.3: Moyennes mensuelles de l'humidité relative de l'air enregistrées à la station de Biskra pour la période 1967-2010

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Total
Humidité relative(%)	57	50	44	39	34	31	27	30	40	47	57	59	42,92

L’examen de tableau 08 montre que l’humidité relative moyenne mensuelle pour la période 1967-2010, fluctue entre 59% au mois de décembre et 27% au mois de Juillet. Les mois les plus humides sont Novembre, Décembre, Janvier et Février, avec respectivement un taux de 57 %, 59%, 57% et 50%. L’humidité relative traduit dans la figure 3.4.

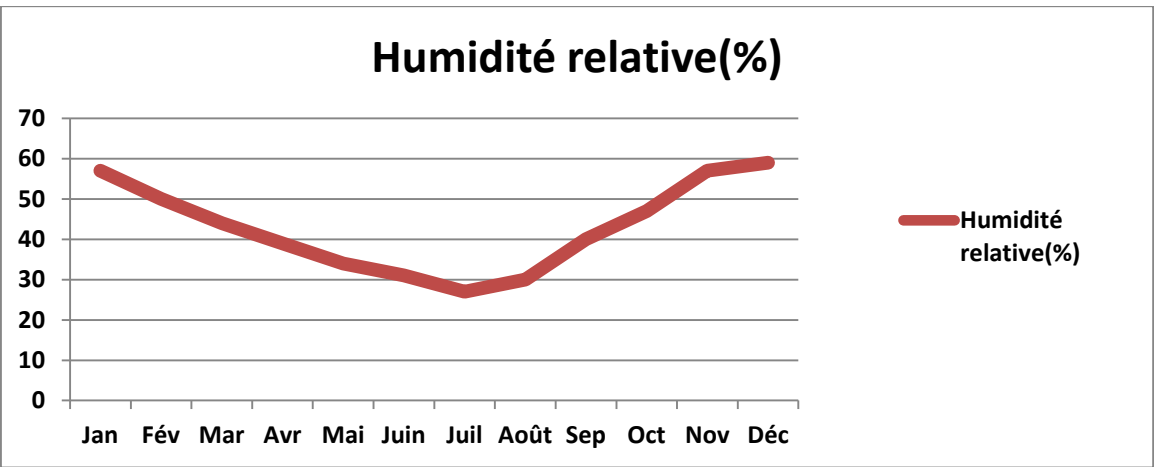


Figure 3.4 : Moyennes mensuelles de l'humidité relative de l'air à la station de Biskra

III-2- Discription de barrage foug el ghourza :

Les crues sont des écoulements variables dans lesquelles les débits atteignent des valeurs Importantes. Leur étude a pour but de déterminer les Hydrogramme de crues fréquentielles sur le bassin versant et de définir les débits maxima probables correspondants. L'estimation des crues révèle une grande importance pour la sécurité de l'ouvrage àimplanter. Les paramètres définissant une crue est :

- Le débit maximum de la crue
- Le volume de la crue.
- La forme de la crue
- Le temps de base.

En 2011, la bouche de la maille était complètement remplie, ce qui obligeait les techniciens à ouvrir les vannes à vide du barrage avec un débit de 110 m³/s.

La phase dangereuse du barrage s'est approchée d'une inondation où le niveau d'eau s'est approché du sommet après que les fenêtres d'évacuation du barrage n'aient pas absorbé la quantité d'eau qui entrait, ce qui a conduit à l'ouverture des vannes à vide. Avec les mesures suivantes, les dépoussiéreurs (déversoirs) ont une valeur d'absorption de 730 m³/s.

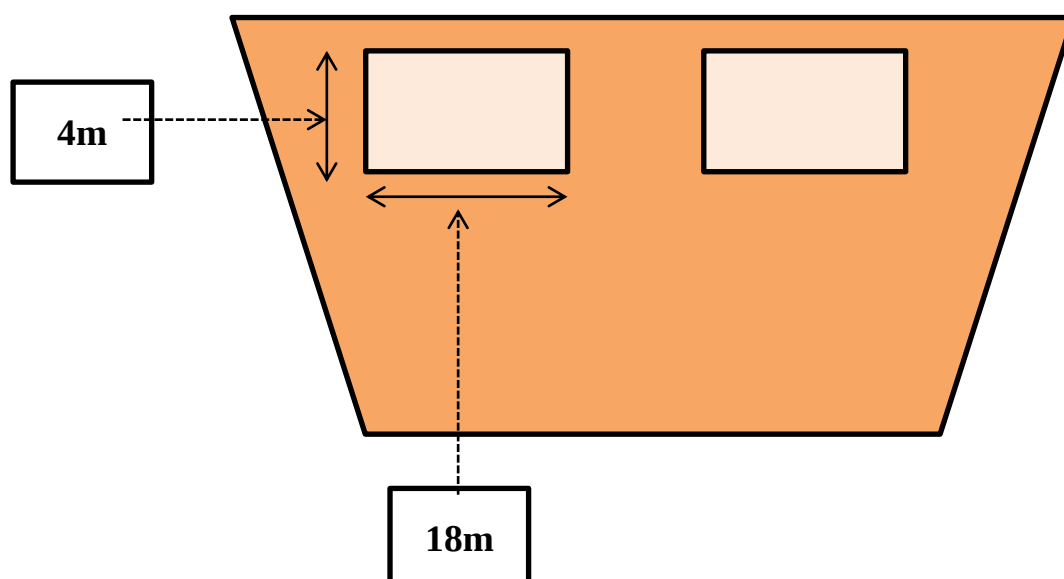


Figure 3.5 : illustration approximative d'évacuateur de crue de barrage

Après avoir effectué de nombreux calculs sur la vitesse de l'eau qui coule vers le barrage, nous avons trouvé que la vitesse dépassait 6m/s et heureusement le barrage était presque vide avant le début des retombées.

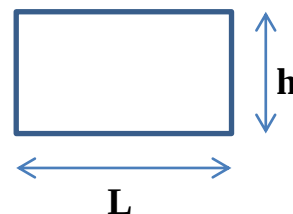
III-3- Détermination de débit maximale :

Pour la détermination du débit de pointe probable de la crue des différentes périodes de Retour, on passant par l'ajustement de la série des débits maximal est comme suite :

$$Q_{m^3/s} = V_{m/s} * S_{m^2}$$

ou $S = L * h$ / $L = 18m$ / $h = 4m$

Et $S = S_1 + S_2$ / $S_1 = 18 * 4 = 72m^2$ / $S_2 = 18 * 4 = 72m^2$



Les calculs des débits en fonction de de vitesse et la surface sont détailler dans le tableau suivant :

Tableau 3.4 : le débit en fonction de vitesse et la surface

V m/s	S m ²	Q m ³ /s
1	144	144
2	144	288
3	144	432
4	144	576
5	144	720
6	144	864
7	144	1008
8	144	1152
9	144	1296
10	144	1440

-Ces valeurs sont transformé a une courbe comme suite :

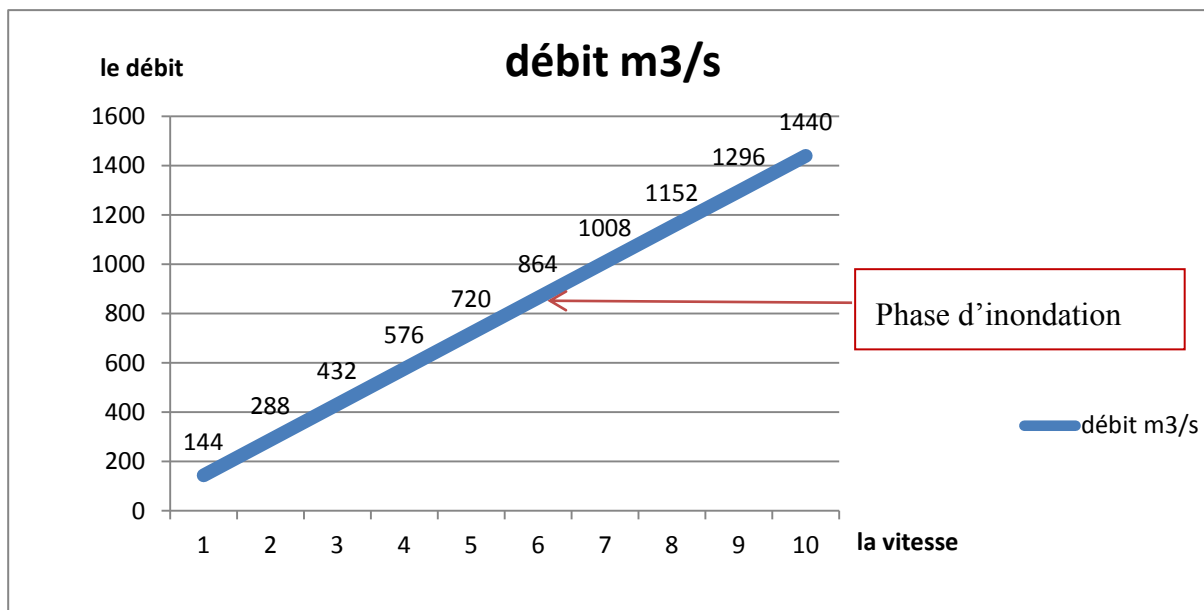


Figure 3.6 : courbe de changement de débit en fonction de vitesse

La capacité de la soupape de décharge avec les déversoirs est : $Q=840 \text{ m}^3/\text{s}$

La capacité de la soupape de décharge seul est : $Q=110 \text{ m}^3/\text{s}$

La capacité des déversoirs seuls est : $Q=730 \text{ m}^3/\text{s}$

Après les dégâts catastrophiques de 2011, une solution doit être envisagée pour éviter les catastrophes futures afin de déverser l'eau au-delà de la capacité du barrage et d'éviter une inondation qui pourrait conduire à son effondrement. Cette solution doit être rapide, facile à mettre en œuvre, économiquement rentable, adaptable et élargie à l'avenir.

Après une visite de terrain aux étudiants et des mesures du barrage et de ses environs, et après consultation avec le professeur principal, nous avons déterminé que la meilleure solution est de créer un canal de surface à côté du barrage pour drainer l'excès d'eau et l'éviter de le déborder, évitant ainsi les pannes indésirables et les catastrophes environnementales et humanitaires à long terme où il peut menacer la richesse en humanitaires à long terme où il peut menacer la richesse en eau et la sécurité nationale de l'État et de la patrie dans son ensemble.

Pour éviter de compromettre l'infrastructure en béton, qui est très coûteuse à entretenir et à préparer, la décision a été prise d'installer le canal sur le côté du barrage. Avant la fermeture du barrage, le canal mesure 250 mètres de long et a une surface d'environ 150 mètres.

Nous divisons le puits en morceaux jusqu'à 50 mètres et, après avoir respecté la loi Chézy, notre objectif est de résister au débit de barrage dépassant 1000 m/s et à la vitesse de l'eau jusqu'à 80 m/s.

La formule de la loi de Chézy pour un canal ouvert est la suivante :

$$Q = \frac{1}{n} R_h^{2/3} \sqrt{I.S}$$

N : épaisseur de surface

$R_h = S/P$ ou S : surface de canal et p : périmètre de canal

I : la pente de canal

Le coefficient de surface du béton est égale à : $n=0.025$

Le pourcentage de pente de canal proposé : de $I=0.1$ et $I=0.2$

La valeur de R_h est variable dépendant les différentes valeurs de canal proposé et sa périmètre

Avec ces données, nous pouvons simuler et proposer un canal avec des dimensions qui peuvent résister à l'excès d'eau et le décharger d'une manière sûre pour protéger le barrage contre les inondations. Le canal est économique et réglable à l'avenir et facile à entretenir. Cela ne prend pas beaucoup de temps et c'est tout pour éviter de compromettre la structure en béton du barrage ou la structure en terre qui entoure le barrage.

III-4- Canal proposé :

III-4-1-dimensionnement de canal :

La longueur de canal va être 250 m

La pente de barrage est déjà 190 sur le niveau de mer

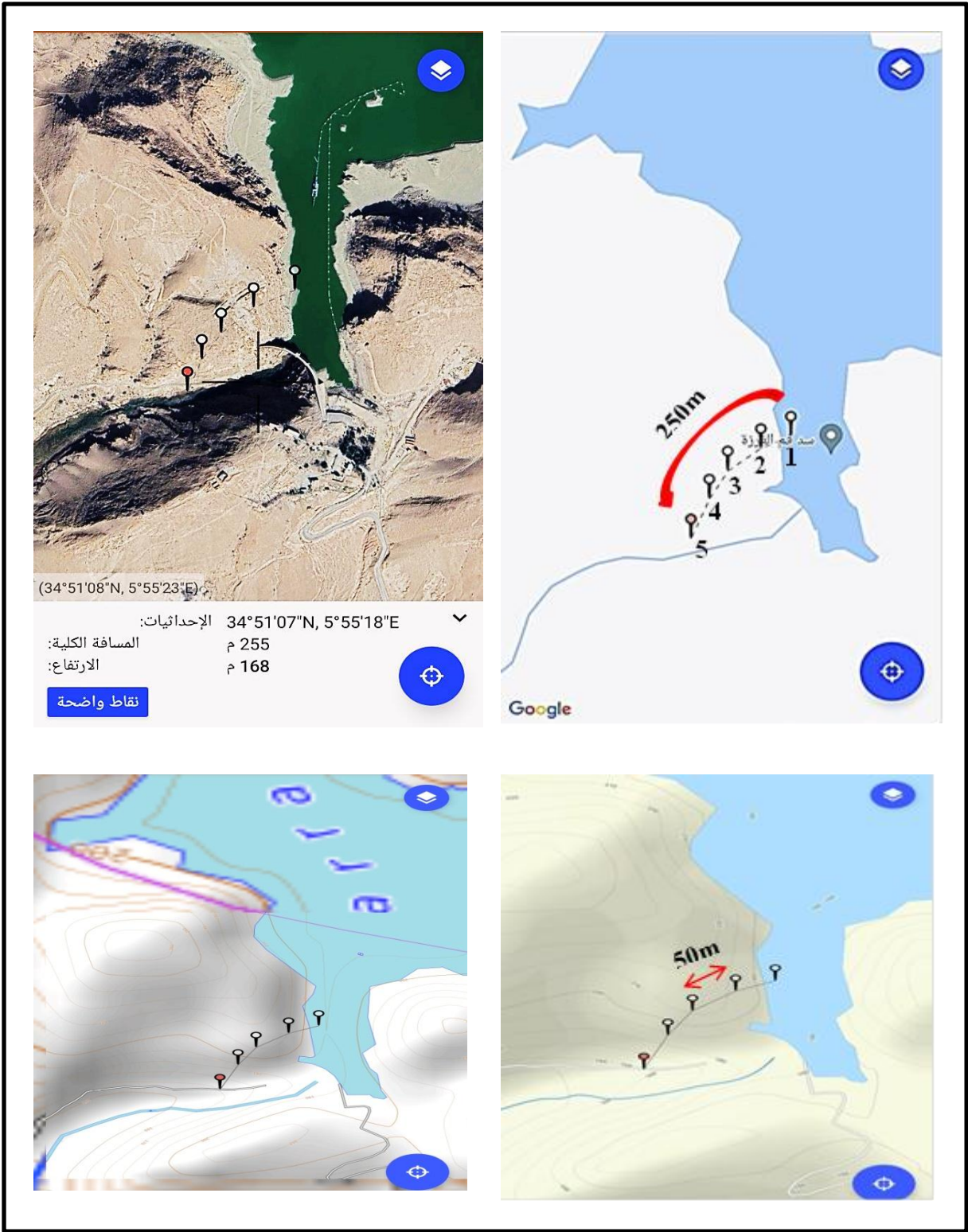


Figure 3.7 : Les images de simulation de canal proposé sur GoogleMaps

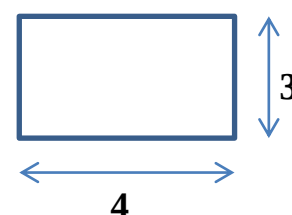
*lorsque 'on suppose que la pente de canal est constante $I = 0.15$ sur tous le longueur de canal 250 m , On trouve que :

$$\frac{H_6 - H_1}{L} = \frac{205 - 170}{250} = 0.15$$

	H1	H2	H3	H4	H5	H6
point	0	50	100	150	200	250
Hauteur (m)	205	205	205	200	181	170

On suppose aussi que le canal doit être :

- 4m (longueur) * 3m (hauteur)



III-4-2- les lois appliquées à l'étude de canal :

Si on applique la loi de **CHEZY** pour calculer le débit d'une canalisation ouverte on trouve :

$$Q = \frac{1}{n} R_h^{2/3} \sqrt{I.S}$$

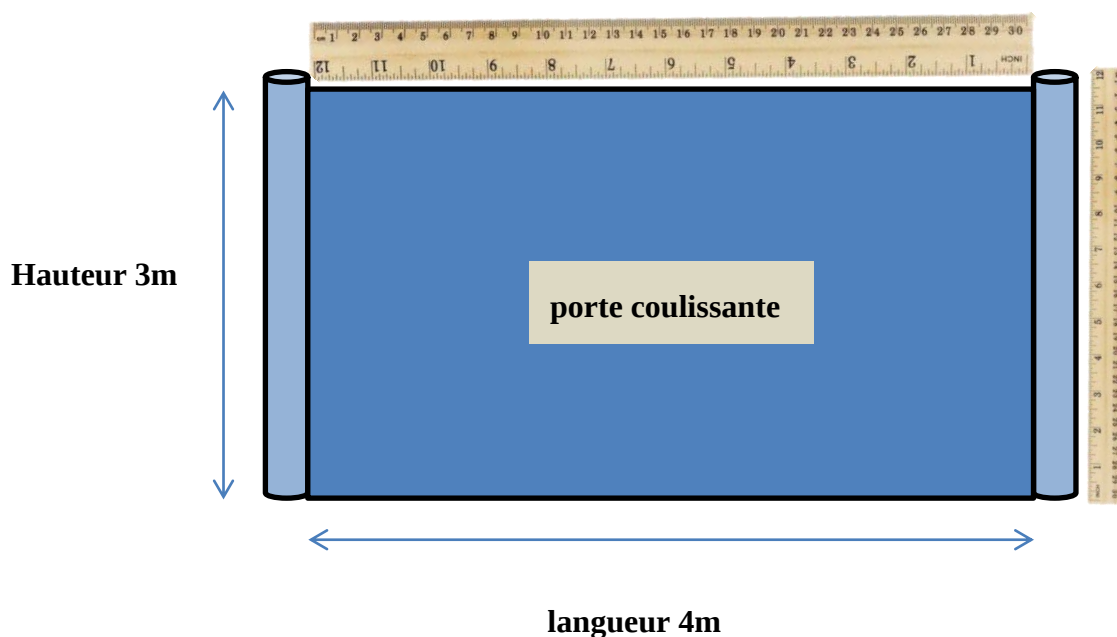
paramètre	n	I	S (m ²)	P (m)	R _h =s/p	Q (m ^{3/s})
valeur	0.025	0.15	12	10	1.2	663.85

Pour déterminer les dimension propre de canal proposé au but de réduire la pression et la tension de l'évacuation en va calculer le débit en fonction de multiple paramètre déférentes les résultats obtenues dans le tableau suivant :

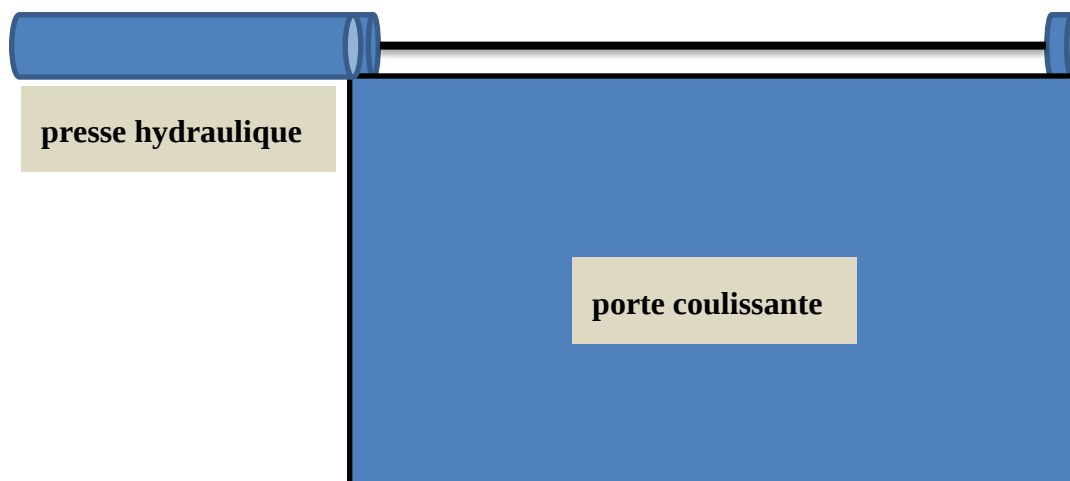
Paramètre point	I	n	R _h	L	h	P (m)	S (m ²)	Q (m ^{3/s})
1	0.15	0.025	1.2	4	3	10	12	209.93
2	0.15	0.025	1	3	3	9	9	139.42
3								
4								
5								

La nature de la terre au tour de barrage est rocher , c'est que nous informe que le béton doit être en qualité normal pas supérieure.

Nous pouvons installer une porte coulissante au début du canal proposé où il est équipé d'une règle de jauge horizontale et verticale avec des gradins clairs. Il peut être facilement lu pour déterminer la distance d'ouverture de la porte pour calculer le débit passant par le canal



Nous pouvons équiper la porte avec une presse hydraulique ou un moteur électrique pour faciliter l'ouverture et la fermeture de la porte afin d'obtenir le plus de précision dans le calcul de la quantité d'eau qui circule dans le canal.



CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

L'évacuateur de crue consiste souvent la partie la plus sollicitée d'un barrage. Il importe donc de le concevoir avec beaucoup de prudence et de le réaliser avec le plus grand soin. Son cout souvent relativement élevé par rapport à l'ensemble du barrage. Ne doit pas conduire à prendre des risques par soucis d'économie. En effet il est difficile d'intervenir pendant une crue pour pallier une défaillance éventuelle de l'évacuateur. Et si la durée de la crue est assez longue. Une telle défaillance peut avoir une évolution rapide et entraîner la ruine du barrage en pleine crue.

Après chaque forte crue, il est vivement conseillé de procéder à une visite détaillée de l'évacuateur de crue et d'effectuer immédiatement toutes réparation qui pourraient s'avérer nécessaire afin que la crue suivante ne provoque pas une aggravation qu'il est en général difficile de contrôler pendant la crue.

Lorsque l'évacuateur comporte un lit majeur sommairement aménagé, tout début de ravinement doit être corrigé aussitôt qu'il se manifeste.

Après cette étude on a déterminé tous les paramètres hydrauliques concernant les différents Éléments de canal supplémentaire d'évacuation de crues proposé, avec la vérification du régime d'écoulement. Nous arrivons aussi à conclure que ; la variante de l'évacuateur de crues latéral à entonnement frontal présente un coût d'exécutions minimum (surtout moins d'excavations), et des techniques de réalisation plus simples

Cette région d'étude appartient à la partie Est de Biskra. C'est une zone aride à semi arides, caractérisée par une faible pluviométrie avec une grande variabilité annuelle. Les moyennes annuelles des précipitations sont comprises entre 100 et 200 mm, et une température moyenne de l'ordre de 22,32 °C. L'évapotranspiration réelle est plus importante. L'excédent est nul La salinité observée dans le périmètre a une origine géologique et varie entre 2 et 30 mmhos/cm sur le périmètre.

Enfin, nous pensons que l'impact du barrage de Foum El Gherza a été positif en considération de sa durée de vie et des problèmes auxquels il a été confronté. Il a permis de développer la région de Sidi Okba et aussi la Wilaya de Biskra, qui se reconnaît, entre autre par ce barrage. Alors il faut prendre toutes les mesures et précautions nécessaires pour maintenir la structure du barrage dans les meilleures conditions.

REFERNCES
BIBLIOGRAPHIQUES

1. ANAT., 2014. Carte du réseau hydrographique.
2. ANBT., 2014. Données d'exploitation du barrage de Foum El Gherza. Fichier numérique. Antenne de Biskra.
3. ANBT, Agence Nationale des Barrages et Transferts, Biskra Algérie.
4. ANRH Agence Nationale de Ressources hydraulique
5. Aidoudi L, (2012).Etude de bilan Hydrologique de La retenue du barrage Foum Elgherza Mémoire de fin d'étude de Magister ,Faculté de science Technologie département d'Hydraulique et Génie civile université Mohammed khaidar Biskra, Algérie.
6. Boukoucha abdelaziz (2020)étude d'évolution de l'envasement dans le barrage de foum Elgherza Biskra mémoire master département de hydraulique et génie civile Université de el oued
7. Badsı W., 2011. Etude de l'évaporation du lac de la retenue de Foum El Gherza. Projet de fin d'étude d'ingéniorat. Département d'hydraulique. Université de Biskra. 82 pages.
8. Boutouga F., 2012. Ressources et Essai de Gestion des eaux dans le Zab Est de Biskra. Mémoire de Magister. Université d'Annaba. 172 pages.
9. BENFETTA H., REMINI B. (2008). Les fuites d'eau à travers le barrage algérien d'Ouizert. Revue Sécheresse, Vol 19, n°3, pp. 185-192.
10. Chebbah M., 2007. Caractérisation sédimentologique et géochimique du Néogène, de part et d'autre de l'accident sud-atlasique, région de Biskra. Thèse de doctorat. 410 p.
11. DPAT., 2010. Potentialités hydrauliques existantes dans la région de Biskra. Rapport interne.
12. DSA de Biskra., 2014. Donnée statistique. Direction des Services Agricoles de la wilaya de Biskra, Service des statistiques agricoles.
13. DURAND J H., 1954. Les sols d'Algérie. Publication du S.C.H.
14. Gouskov N., 1952. Le barrage de Foum El Gherza. Eléments de technologie des barrages Algériens. XIX Congrès géologique international. Alger . pp 259-269.
15. Gouskov N.,1964. Notice explicative de la carte géologique au 1/200 000. Biskra. Serv. Géol. De l'Algérie. Alger.
16. Kassoul M., Abdelgader A et Belorgey M., 1997. Caractérisation de la sédimentation des barrages en Algérie. Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science, vol. 10, n° 3, pp 339-358
17. Laffitte R., 1939. Etude géologique de l'Aurès. Thèse, Paris, Bull, Serv. Carte géologique Algérie, Alger.2ème édition.484 p.

18. MONOGRAPHIE DES GRANDS BARRAGES P30
19. Nadji H., Gali B., 1992. Étude de faisabilité de transfert des eaux d'oued Abdi vers le barrage Foum el Guerza. Mémoire de fin d'études, Institut d'Hydraulique, Centre Universitaire de Biskra, 51 p.
20. Neyrpic., 1952. Etudes préliminaires du périmètre de Foum El Gherza, gouvernement général de l'Algérie service de la colonisation et de l'hydraulique, 103 pages.
21. ONM Biskra., 2015. Données météorologiques de Biskra.
22. Sedrati N., 2011. Origines et caractéristiques physico-chimiques des eaux de la wilaya de biskra-sud est algerie. Thèse de doctorat science. Université d'Annaba. 252 pages.
23. REMINI B., HOUCINI N. MOULLA A. (2001). Water leaks in Foum El Gherza dam (Algeria). Revue Eau -Industrie - Nuisances International (France), Mediterranean et African countries n° 6, Décembre, pp. 55 -59.
24. REMINI B., LEDUC C., HALLOUCHE O. (2009). Evolution des grands barrages en régions arides : quelques exemples algériens. Revue Sécheresse, Vol. 20, n°1, pp. 185-192
25. TOUMI A., REMINI B. (2006). La problématique des fuites d'eau du barrage Hammam Grouz (Algérie). Larhyss Journal, n°5, Juin, pp.41-48
26. TOUMI A., REMINI B. (2018). The Problem of Water Leakage in Beni Haroun Reservoir (Algeria). Jordan Journal of Civil Engineering, Vol. 12, n° 3, pp. 96-103.
27. TOUMI A., REMINI B. (2003). Les fuites à travers les rives du barrage de Foum El Gherza. Vecteur Environnement, Vol. 36, n°6, pp. 67-71.