



UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA
Faculté de science appliquée
Département Génie civile et hydraulique
Mémoire
MASTER ACADEMIQUE



Domaine : science technique
Filière : Hydraulique
Spécialité : Ressources hydriques

Présenté par : *ABDOU Ferdous*
BEN HELLAL Basma

Thème

**EVALUATION DES RISQUES ASSOCIE A
LA RUPTURE DU BARRAGE DE FOUM EL
GHERZA-BISKRA**

Soutenu publiquement

Le : 27/06/2019

Devant le jury :

<i>Mr: FORTAS Tahar</i>	<i>Président</i>	<i>UKM Ouargla</i>
<i>Mr : SAGGAI Sofiane</i>	<i>Examineur</i>	<i>UKM Ouargla</i>
<i>Mr : DERDOUS Oussama</i>	<i>Encadreur</i>	<i>UKM Ouargla</i>
<i>Mr : BOUAMRANE Ali</i>	<i>Co-Encadreur</i>	<i>UKM Ouargla</i>

Année Universitaire : 2018 /2019



UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA
Faculté de science appliquée
Département Génie civile et hydraulique
Mémoire
MASTER ACADEMIQUE



Domaine : science technique
Filière : Hydraulique
Spécialité : Ressources hydriques

Présenté par : *ABDOU Ferdous*
BEN HELLAL Basma

Thème

**EVALUATION DES RISQUES ASSOCIE A
LA RUPTURE DU BARRAGE DE FOUM EL
GHERZA-BISKRA**

Soutenu publiquement

Le : 27/06/2019

Devant le jury :

Mr: FORTAS Tahar

Président

UKM Ouargla

Mr : SAGGAI Sofiane

Examineur

UKM Ouargla

Mr : DERDOUS Oussama

Encadreur

UKM Ouargla

Mr : BOUAMRANE Ali

Co-Encadreur

UKM Ouargla

Année Universitaire : 2018 /2019

Remerciements

En premier lieu, nous remercions DIEU tout puissant de nous avoir donné le courage, la volonté et la patience afin de réaliser ce modeste travail et le mener à terme

*Nous adressons nos remerciements particulièrement à notre promoteur pour son orientation et sa disponibilité durant tout ce temps de travail **Mr** : DORDOUS Oussama (Encadreur) et **Mr** : BOUAMRANE Ali (Co-Encadreur)*

On remercie également tous les enseignants du département d'hydraulique qui ont contribué à notre formation

*Nous tenons aussi à remercier les membres de jury qui ont bien voulu nous faire l'honneur de juger notre travail **Mr** Président : FORTAS Tahar et **Mr** l'Examineur: SAGGAI Sofien*

Nous remercions chaleureusement toutes personnes ayant contribués de prêt ou de loin à la réalisation de ce modeste travail

ABDOU Ferdous

BEN HELLAL Basma

La performance

Je dédie cet humble travail comme un signal

Respect et gratitude pour:

*Ma chère mère et mon père, la miséricorde de Dieu sur lui Sur les
sacrifices consentis et leur soutien envers moi Pour atteindre ce stade*

Ainsi que mes sœurs et sœurs et tous les membres de ma famille

À mon cher mari surtout et à tous les membres de sa famille

Et à tous mes amis sans oublier personne.

ABDOU Ferdous

La performance

Je dédie cet humble travail comme un signal

Respect et gratitude pour: Ma chère mère et mon père

Sur les sacrifices consentis et leur soutien envers moi

Pour atteindre ce stade

Ainsi que mes sœurs et mon sœur et tous les membres de ma famille

À mon cher mari surtout et à tous les membres de sa famille

Et à tous mes amis sans oublier personne.

BEN HELLAL Basma

INTRODUCTION GENERALE

Les barrages retiennent des volumes d'eaux parfois impressionnantes. Ce sont de véritables ouvrages d'art mais issue de technologie humaine, donc faillibles.(Marche, H, 2008).

Les accidents dus à des ruptures de barrages qui ont eu lieu par le passée sont très rares mais leurs conséquences ont souvent été catastrophiques, on leur attribue plus de 8 000 pertes de vie depuis 1900 ainsi que des pertes économiques considérables (Marche, H, 2008).

Les études de rupture constituent des éléments fondamentaux de l'analyse de sécurité d'un barrage. Elles donnent une idée précise des écoulements qui se propageraient vers l'aval, des zones qui recevraient l'eau de la crue et du temps dont pourraient disposer les population pour s'en protéger. Les conséquences des ruptures éventuelles peuvent être étudiées sur modèles de calcul numérique. (Lebreton, A, 1985).

Ces derniere decenies, plusieurs codes de calcul ont été mis en en place pour prévoir la propagation de l'onde de rupture d'un barrage, le pluspart d'entre eux sont basés sur la résolution numérique des équations de Saint-Venant, parmi les plus populaires nous citons les modèles unidimensionnelles HEC-RAS, MIKE11, CASTOR et les modèles bidimensionnelles MIKE21, TELEMAC-2D et HEC-RAS 2D.

La rupture du barrage Fergoug en1927 à cause de l'insuffisance du déversoir, montre que les premiers barrages Algériens ont connu des problèmes de conception du fait que les techniques de réalisations des barrages n'étaient pas maîtrisées. (Bouhali, M, 2006)

Le nombre de barrages vieillissants en Algérie est important, la majorité de ces ouvrages sont touchés par de sérieux problèmes tels que l'envasement, problèmes de fondation, fuites ...etc. (Derdous, O, 2016)

Introduction

Dans ce memoire une simulation numérique avec le modèle HEC-RAS 2D est ainsi menée pour prévoir les écoulements résultants d'une rupture totale et instantanée du barrage de Foum El Gherza. Les résultats de la simulation ont été ensuite exportés vers le Système d'information géographique ArcGIS pour le dessin des zones inondables et l'analyse du risque.

Chapitre 1

CHAPITRE 1:LE RISQUE DE RUPTURE DES BARRAGES

1-La rupture de barrage :

La rupture d'un barrage est un phénomène plutôt rare, mais, lorsque qu'il survient, il donne naissance à une véritable catastrophe à cause de la libération brutale de la quantité d'eau stockée sous forme d'une onde de crue avec des vitesses et des hauteurs d'eau impressionnantes emportant tout sur son passage (Anhtuan, L, 2012). Aucune crue naturelle ne peut rivaliser avec la violence et la rapidité de celle issue de la rupture d'un barrage.

2-Les causes de rupture :

Le risque « rupture de barrage » entre dans la catégorie des risques technologiques. Les causes ainsi que les mécanismes en jeu lors d'une rupture sont variables en fonction des caractéristiques propres au barrage.

Les causes de rupture d'ouvrage peuvent être de différents ordres :

a) Des problèmes techniques :

Peuvent entraîner la rupture d'un ouvrage. Il peut s'agir d'un défaut de fonctionnement des vannes permettant l'évacuation des crues ou bien d'un vice de conception, de construction ou de matériaux. Le type de barrage, les matériaux utilisés, la nature des problèmes. Cependant, l'évolution des techniques de construction rend les barrages modernes beaucoup plus sûrs.

b) Des causes naturelles :

Peuvent également être à l'origine de rupture de barrage. Il en est ainsi des crues exceptionnelles, d'intensité supérieure à celle retenue pour le dimensionnement des ouvrages évacuateurs, appelée crue de projet. La phase de chantier pour les barrages en construction est une période sensible aux risques de crue, car les ouvrages d'évacuation ne sont pas encore opérationnels. Les barrages en remblai ne supportent pas la submersion et sont donc plus vulnérables aux débordements.

Le quart des ruptures recensées en exploitation sont liées à des crues ; les ouvrages les plus affectés sont les barrages en remblai du fait de leur sensibilité à la submersion.

Les glissements de terrains, soit de l'ouvrage lui-même dans le cas de barrages en remblai, soit des terrains entourant la retenue sont également une cause de rupture. L'ouvrage peut être déstabilisé par un glissement (barrage de Malpasset, 1959) ou bien submergé par la vague engendrée par un glissement en amont de la retenue (barrage du Vajont, 1963).

Enfin les séismes peuvent causer des dommages mineurs à ne pas négliger (déformations, tassements, fissures, etc.).

c) Des causes humaines :

Peuvent enfin être à l'origine d'accidents : études préalables pas assez approfondies, contrôle d'exécution insuffisant, erreurs d'exploitation, défaut de surveillance et d'entretien ou encore actes de malveillance. Ainsi le drame du Drac en 1995 reste présent dans de nombreuses les mémoires : la montée brutale des eaux du Drac, le 4 décembre 1995 à la suite de la manœuvre d'une vanne usinière a causé la mort de six enfants et un adulte qui randonnaient dans le lit de la rivière. (Patrick Le Delliou, 1995).

3-Danger et dégâts pouvant affecter un barrage et ses fondations :**Tableau 1.1 :** Exemple de danger et de dégâts affectant les barrages et leurs fondations

(Anton j.Schluisset, Henri p)

Barrage en béton	Barrage en remblai	Fondation	Retenue
Augmentation exceptionnelle du niveau du plan d'eau	Augmentation exceptionnelle du niveau du plan d'eau	Augmentation exceptionnelle du niveau du plan d'eau	
Déformation exceptionnelle Déformation irréversible Déplacement différentiel des plots Déplacements des appuis	Déformation Exceptionnelle Tassement du barrage, des fondations (diminution de la revanche) Tassement différentiel	Déformation exceptionnelle Déformation des appuis Déplacement différentiel des appuis tassement	
Dégâts et détérioration du corps de l'ouvrage Fissuration Perte de section Gonflement	Dégâts et détérioration du corps de l'ouvrage Action des vagues Formation de terriers, refuges pour animaux Développement de la végétation (arbres, plantes)	Dispositif d'étanchéité défectueux Dégradation du voile d'injection	Défaut d'étanchéité de la cuvette
Augmentation de la percolation, de la circulation d'eau	Augmentation de la percolation, de la circulation d'eau	Augmentation de la percolation, de la circulation d'eau	Alimentation de sources à l'aval
Système de drainage inefficace ou défectueux (obstruction des drains) Augmentation des sous-pressions	Système de drainage inefficace ou défectueux (obstruction des drains) Augmentation des pressions interstitielles (perte de résistance au cisaillement)	Système de drainage inefficace ou défectueux (obstruction des drains) Augmentation des sous-pressions, des pressions interstitielles	
	Erosion interne dans le corps du barrage (piping)	Erosion interne (piping)	
Submersion du couronnement Erosion externe (parement aval)	Submersion du Couronnement Action des vagues Erosion externe (dégâts au couronnement, aux parements et en pied du barrage)	Affouillement	Glissement de versant Eboulement Chute de glaciers Avalanches
Instabilité (risque de glissement, de renversement)	Instabilité des talus Affaissement locaux	Surface de glissement potentielle	Glissement de versant
Fissuration au contact béton-rocher au pied amont		Fissuration au contact béton-rocher au pied amont	
Obstruction d'un organe de décharge (vidange de fond, évacuateur de crue) Défaillance de fonctionnement/ organes de décharge bloqués	Obstruction d'un organe de décharge (vidange de fond évacuateur de crue) Défaillance de fonctionnement/ organes de décharge bloqués		Alluvionnement Dépôts de sédiments Apports de débris flottants, transport d'arbres Dérive des glaces

4-Les modes de rupture :

De manière générale et par observation des cas de rupture, il existe deux modes :

- **Rupture brutale :**

Ce mode de rupture est caractérisé par un effacement instantané du barrage accompagné d'une vidange rapide et simultanée de la cuve. Ce mode est très dangereux car il est imprévisible, il caractérise surtout les barrages rigides.

- **Rupture graduelle :**

Ce mode de rupture est moins endommageant que le précédent car il est prévisible. Il se produit progressivement suite à des fissurations ou érosions. Ce mode de rupture est le plus répandu dans la grande majorité des cas de rupture de barrages notamment les remblais.

5-Les Exemples de rupture :

5-1 Les Exemples de rupture Dans le monde

À travers le monde, environ 2000 ruptures de barrages sont enregistrées. Dans cette partie on se limitera à quatre cas de ruptures :

- **Barrage de Saint Francis -Etats-Unis (1928)**

Le barrage de Saint Francis est un ouvrage-poids en béton, de hauteur 62,50 m ; il est légèrement arqué.

Le parement amont est subverti cal. Le fruit moyen des parements est de 0,75 H/1V.

Le barrage est fondé en rive gauche, vallée et moitié de la rive droite sur des schistes, souvent fortement cisailés parallèlement à la pente gauche. En haut de rive droite, il est fondé sur des conglomérats rougeâtres.

La rupture s'est produite au premier remplissage. La hauteur d'eau maximale (seuil du déversoir) a été atteinte une semaine avant la rupture. De faibles fuites sont constatées dans le corps du barrage, mais les écoulements en fondation sont plus importants. Ces écoulements s'intensifient rapidement quelques heures avant la rupture.

Une douzaine de commissions ont étudié la rupture du barrage. Les conclusions

diffèrent dans le détail, mais mettent toutes en avant l'effet prépondérant de la géologie du site, avec deux coupables possibles :

- la rive gauche, qui est un paléo-glissement, qui a été réactivé lors de la rupture et, semble-t-il, avant la rupture proprement dite ;

- les conglomérats gypsifères de la rive droite, possiblement sensibles à des phénomènes de décontractions sous submersion.

On note en tous cas l'absence de drainage des deux rives et la construction sans coupure des écoulements (pas de bêche, pas de rideau d'injection. (Deroo L, & Jimene B, 2011))

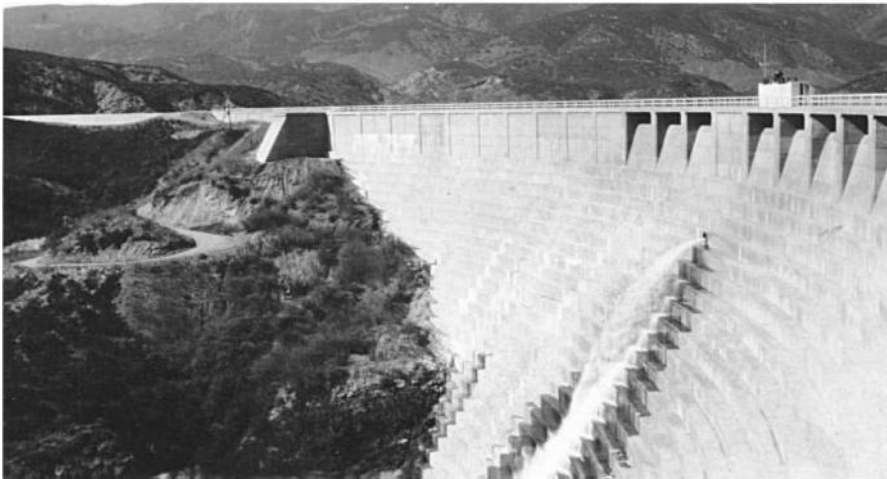


Figure (1,1) : Vue du barrage de St Francis



Figure (1,2) : Etat du barrage de St Francis après la rupture

- **Malpasset- France (1959)**

La rupture du barrage de Malpasset a profondément marqué les esprits. Si l'étude de ses causes techniques a fait l'objet de nombreuses publications, ce n'est pas le cas des causes humaines. Les travaux du psychologue anglais James Reason ont permis, au début des années 1990, un changement de paradigme dans la compréhension des causes d'accidents : d'une approche centrée sur l'opérateur et « l'erreur humaine » vers une approche portée sur le système sociotechnique et la « défaillance organisationnelle ».

L'article étudie les dimensions humaines de l'accident de Malpasset, pour lequel la Cour de cassation n'a retenu « aucune faute, à aucun stade ». En relisant les événements à la lumière des théories actuelles, il vise à montrer l'impact potentiel des facteurs humains et organisationnels. Il doit ainsi permettre une prise de distance face aux causes techniques car si les avancées en matière de modélisation mettent à l'abri de beaucoup de « pièges de la nature », les facteurs humains apportent, eux, un éclairage nouveau à la sécurité de toute installation. (Dunglas)

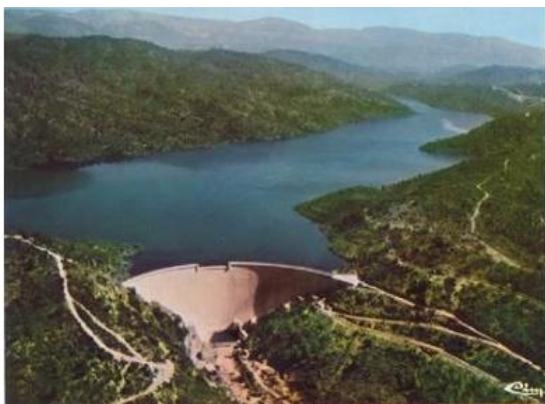


Figure (1,3) : Le barrage de Malpasset avant et après sa rupture

- **Sella Zerbino- Molare Italia(1935)**

13 août dernier, l'un des deux barrages formant le lac artificiel d'Ortiglieto , en Italie, sur le torrent Orba Le, affluent du Po et descendant de l'Apennin Ligure, cédait sous une crue furieuse et livrait passage, en quelques minutes, à 10 millions de mètres cubes d'eau qui ravagèrent la vallée à l'aval et dirent 111 victimes.

Dans le numéro de février 1936 des annales des ponts et Chaussées, M. Cayne, ingénieur en chef des Ponts et chaussée ,étudie les causes de cette catastrophe .La retenue

était obtenue au moyen de deux cannales : le premier, situé sur la cours; même du torrent, appelé barrage de Zerbino, est un barrage-poids muni d'une batterie de siphon automatiques situés sur la crête, d'un déversoir superficiel latéral et de deux vannes, de vidange, pouvant débiter ensemble $850 \text{ m}^3 / \text{sec}$, ce qui représente un débit de crue de $6 \text{ m}^3 / \text{sec}$. Par km^2 de bassin versant ; (on compte normalement pour les Apennins $4 \text{ m}^3 / \text{sec}$.); le second barrage, celui qui a cédé, s'appelait « Digua délia Sella Zerbino » et barrait une dépression secondaire. C'était un barrage-poids de 15 mètres de hauteur.

Le 13 août, à 6 heures du matin, éclatait un orage terrible (l'un des pluviomètres enregistra 525 m/m en 6 heures). Une des vannes de fond fut immobilisée par les, branchages charriés. Lorsque les siphons s'amorcèrent le débit atteignait $2.000 \text{ m}^3 / \text{sec}$.

Alors qu'on ne pouvait en évacuer que 700 : le débit monta même à 2.500 mètres cubes. L'eau submergea bientôt le barrage. A 13 h 15 le premier bloc de la rive gauche bascula sous l'érosion après trois-quarts d'heure de déversement. En 5 minutes, tout le barrage était anéanti, et il y avait de nombreuses victimes à Molaire et Ovada. (Cawas, P).

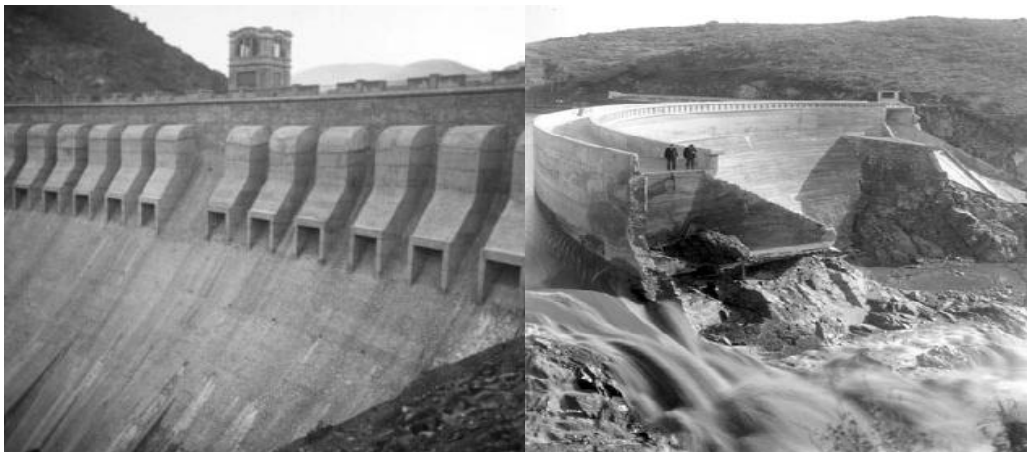


Figure (1,4) : Le barrage de Sella Zerbino avant et après sa rupture

- **Teton-Idaho (U.S.A) (1976)**

Le barrage de Teton est un barrage en terre à zones sur la Teton River à 21 km de la ville de Rexburg dans l'Idaho (U.S.A.). Il s'agissait d'un important ouvrage de 93 m de hauteur de 52.5 m d'épaisseur en pied. Il était muni d'un noyau imperméable en silt éolien. La capacité de la retenue était de 356.106 m^3 (Cemagref, 1989)

La fondation est formée d'un tuf hylétique très fissuré et donc fortement perméable. Un d'eau d'injection de grande ampleur avait été mis en place. Toutefois l'extrême

perméabilité en rive droite avait conduit les concepteurs à prévoir une tranchée d'ancrage de 21 m de la profondeur remplie avec le matériau du noyau. Ce silt s'est révélé fortement recodable.

Le matin du 5 juin 1976, quelques mois seulement après sa première mise en eau une brèche s'est apparue en rive droite au contact barrage-appui, un premier écoulement a été remarqué d'environ 50 l/s à 40 m sous la crête du barrage à 7h du matin. Une demi-heure plus tard une source d'eau chargée, de 400 à 600 l/s apparaît 50 m plus bas.

- A 9h 10, les deux sources se développent et une gouttière d'érosion apparaît en rive droite. La source basse atteint 1,1 m³/s.

- A 10 h 30, la source haute atteint 0,5 m³/s, la gouttière d'érosion s'accroît.

- A 10h 40, l'ordre d'évacuation est donné à l'aval. Un vortex apparat dans la retenue à 11 h.

- A 11h 50, le tunnel d'érosion atteint la crête qui s'effondra 5 mn plus tard. A 11h 57 la brèche est formée et le réservoir se vide. Le débit atteint alors 70.000 m³/s. La brèche à 350m de large et représente 40 % du volume de la digue.

Grâce à une alerte improvisée à l'aval, cette rupture n'a fait que 11 morts, mais plus de 20000 personnes sur les 25000 personnes évacuées se sont retrouvées sans abri. (Lebreton, A, 1997).

Cette catastrophe a entraîné des études approfondies aux États-Unis. Celles-ci n'ont pas permis de dégager de façon certaine la cause du phénomène. Plusieurs mécanismes ont été proposés qui ont d'ailleurs pu jouer corrélativement:

- Fuite à travers le rideau d'étanchéité au ras de la tranchée ;

- Fracturation hydraulique et tassement différentiel dans la tranchée ;

- Fuite à la jonction tranchée-fondation ;

- Effondrement d'une couche mal compactée lors de l'humidification à la mise en eau ;

- Existence d'une zone jointive, à la base, saturée d'eau à la construction (peu probable).

A noter que lors de l'excavation de la tranchée en rive droite, de larges fissures ont été mises en évidence. Elles n'ont malheureusement pas été traitées sur toute la hauteur.

D'importantes critiques ont été faites sur la conception, le choix des matériaux, le manque d'instruments de contrôle, le suivi de chantier. Toutefois il faut souligner la remarquable organisation de l'alerte et de l'évacuation des zones aval. (Derdous, O, 2016).



Figure (1,5): Barrage de Teton avant la rupture



Figure (1,6): Barrage de Teton après la rupture

5-2 Les Exemples de rupture de barrages en Algérie :

- **Barrage Fergoug - Mascara (1872-1927)**

La rupture de barrage Fergoug, montre que les premiers barrages algériens ont connu des problèmes de conception du fait que les techniques de réalisation des barrages n'étaient pas alors maîtrisées. La construction d'un barrage sur l'Habra en amont du futur centre de Perrégaux était déjà évoquée dans le procès-verbal d'enquête du 14 avril 1853, la construction du barrage débuta en 1865.

- Première rupture :

Le 10 mars 1872. Une crue exceptionnelle estimée à $700 \text{ m}^3/\text{s}$ provoqua la rupture du déversoir en créant une brèche de 55 mètres de longueur sur 12 mètres de hauteur. Le débit d'eau sortant de la brèche fut évalué à $5\,600 \text{ m}^3/\text{s}$ et plus de $200\,000 \text{ m}^3$ de déblais furent entraînés. Il fut reconstruit sous forme d'un mur unique, profilé pour éviter les affouillements, basés sur de solides fondations après remplissage des excavations découvertes dans le rocher, et définitivement terminé en mai 1873. Le 15 décembre 1881, le barrage céda à nouveau. Une crue de $850 \text{ m}^3/\text{s}$ emporta 125 mètres du barrage sur la rive droite. Deux cent cinquante personnes furent noyées, ponts, et maisons emportés par les flots déchaînés. La reconstruction du barrage dura deux années, de 1883 à 1885, avec modification du profil et coûta 1 300 000 Fr.

- La 2eme rupture

Il avait plu toute la semaine et en ce vendredi 25 Novembre 1927, le niveau de l'eau ne cessait de monter obligeant les responsables du barrage à ouvrir les vannes d'évacuations à leur débit maximum, Cette opération ne suffit pas à diminuer la pression qui s'exerçait sur le barrage-poids. En 22 heures et 20 minutes, le plan d'eau s'éleva de 27m85 Le samedi matin, à 10h 45, le barrage de l'Oued Fergoug, de 32m de hauteur, se mettait à vibrer.

Soudain le barrage fléchissait dans son milieu, s'ouvrait, et une énorme trombe d'eau jaillissait au point de rupture. (Site et monuments de l'Algérie, 1902)



Figure (1,7): Le barrage de l'oued Fergoug avant la catastrophe de 1927



Figure (1,8): Vue du barrage Fergoug après la rupture du 25 novembre 1927

- **Barrage Cheurfa- (1885)**

Le barrage de Cheurfa est situé à Mekaréwadi à environ 20 km en amont de Sig, construit en 1882 pour assurer l'irrigation des plaines agricoles de Sig, le barrage est doté d'une capacité de 17 hm³ et une hauteur de 42 m. Le 8 février 1885 du soir, une crue résultante d'une pluie torrentielle érode les terres de la rive droite et cause l'effondrement du côté droit du barrage Cheurfa. Ceci est due certainement au manque de données hydrologiques lors du dimensionnement. Le barrage Cheurfa a été réparé et mis en service en 1892.



Figure (1,9): Barrage cheurfa



Figure (1,10): Barrage de Cheurfa, après travaux : nouvel appui RD vers l'amont(<http://sigoise.free.fr>)

6-Les ruptures des barrages et leurs statistiques

6-1.. Nombres total des ouvrages

Le registre mondial des barrages donnait pour 1982 un total d'ouvrages de hauteur supérieure à 1.5 m de 34798 pour l'ensemble du monde y compris la Chine (ce pays représentant à lui seul 18595 barrages) 16203 ruptures ont eu lieu en Chine, 5338 à l'Etats Unis, 2142 au Japon, 3800 en Europe.

6-2.. Recensement et statistiques des ruptures

M. Goube Président du Comité Technique Permanent des Barrages a réalisé en 1979 une étude très complète sur les ruptures basée sur les publications de la Commission Internationale des Grands Barrages et sur des éléments d'information complémentaires venant en particulier d'E.D.F (Expositions Découvrez l'Espace).

L'essentiel des tableaux ci-dessous proviennent de cette étude. Par ailleurs la CIGB a publié en décembre 1983 un ouvrage extrêmement détaillé de 360 pages sur les détériorations et ruptures.

M. Goubet a recensé 12.5 ruptures sur un échantillon de 1.5.000 ouvrages (Hors Chine), soit un pourcentage d'environ 0,8 %. D'après la CIGB les cas de ruptures représentent environ 10 % des détériorations graves constatées.

L'étude de M. GOUBET donne finalement les statistiques suivantes :

Il y a en moyenne, et très approximativement 1.5 rupture par an sur l'échantillonnage de 1.5.000 ouvrages considérés. La fréquence de l'événement "rupture d'un barrage dans l'ensemble mondial des ouvrages" est donc de 10^{-4} /an. En fait de nombreux paramètres jouent.

L'âge des ouvrages accidentés et leur date de construction sont déterminants.

Tableau (1,2): Statistiques des ruptures des barrages (Lonis, S, 1999)

Fréquence exprimée en 10^{-4}							
Année de mise en service	Nombre d'année entre la mise en service et la rupture						
	Pendant les constructions	0 à 5	6 à 10	11 à 20	21 à 40	41 à 60	>60
< 1900	30	23	8	5	4	1	1
1900 à 09	0	37	10	3	0	1	
1910 à 19	33	31	3	3	1	4	
1920 à 29	10	23	0	3	0.5		
1930 à 39	20	2	0	0	0		
1940 à 49	20	8	0	1	1		

1950 à 59	0	4	1	2			
1960 à 69	11	4	0	2			
1970 à 78	7	0,7					
totale	11	9	2	2	1	2	

- Les ruptures en cours de construction sont sensiblement moins fréquentes sur les barrages récents. On prend maintenant beaucoup plus de précautions durant cette période :

- Les risques les plus importants se situent pendant les cinq premières années. Le premier remplissage est vraiment une période critique ; récents ;

- La fiabilité globale est largement supérieure sur les barrages

- Les barrages anciens, bien conçus sont sûrs.

Toutefois il faut se rappeler qu'un barrage vieillit et que certains de ses organes doivent être revus (en particulier les évacuateurs de crues).

- La statistique des ruptures varie également beaucoup suivant la zone géographique.

Le tableau ci-dessus donne le nombre de ruptures sur des ouvrages construits depuis 1900 :

Tableau (1,3) : Rupture des ouvrages dans le monde

	Barrages mis en service entre 1900 et 1974	Barrages mis en service entre 1900 et 1974
U S A	3.407	46 à 48
Japon	1.464	4
Europe	2.177	6
Reste du Monde (Chine exclue)	3.776	25 à 28

Les Etats Unis y apparaissent comme particulièrement exposés. La raison essentielle est que beaucoup de barrages y ont été construits dans des régions peuplées où une construction soignée ne s'imposait pas, et dans le cadre de connaissances hydrologiques plus que succinctes.

L'Europe et le Japon présentent des densités de population beaucoup plus fortes et les crues surtout et depuis plus longtemps y étaient beaucoup mieux connues. Les techniques de construction y ont donc été plus élaborées.

- Influence du type de barrages On peut très globalement diviser les barrages en deux grands types :

- Remblai (terre, enrochements).
- Maçonnerie et Béton (poids, voûtes, contreforts).

Les mécanismes de rupture sont radicalement différents dans les deux cas, les premiers étant plus sensibles aux submersions (déversement) et à l'apparition des renards. Le nombre des ruptures montre néanmoins que les fréquences ne sont pas très dissemblables dans les deux types.

Tableau (1,4) : Rupture des ouvrages selon le type

	Barrages mise service entre 1900 -1974			Ruptures correspondantes		
	Remblai	Maçonnerie	Divers	Remblai	Maçonnerie	Divers ou non précisé
U S A						
Japon	2.537	608	262	38 ou 39	8 ou 9	3
Europe	851	613	-	3	1	-
	715	1.462	-	1	5	-
	4.103	2.683	262	42 ou 43	14 ou 15	3

Chapitre 2

CHAPITRE 2:PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

1. Situation géographique :

Le barrage de Foug-el-Gherza est un joyau hydrotechnique situé à 20 km à l'est de la ville de Biskra Il a été réalisé durant la période 1948 -1950 sur le site le plus approprié dans la région (Ramini, B, 2001).

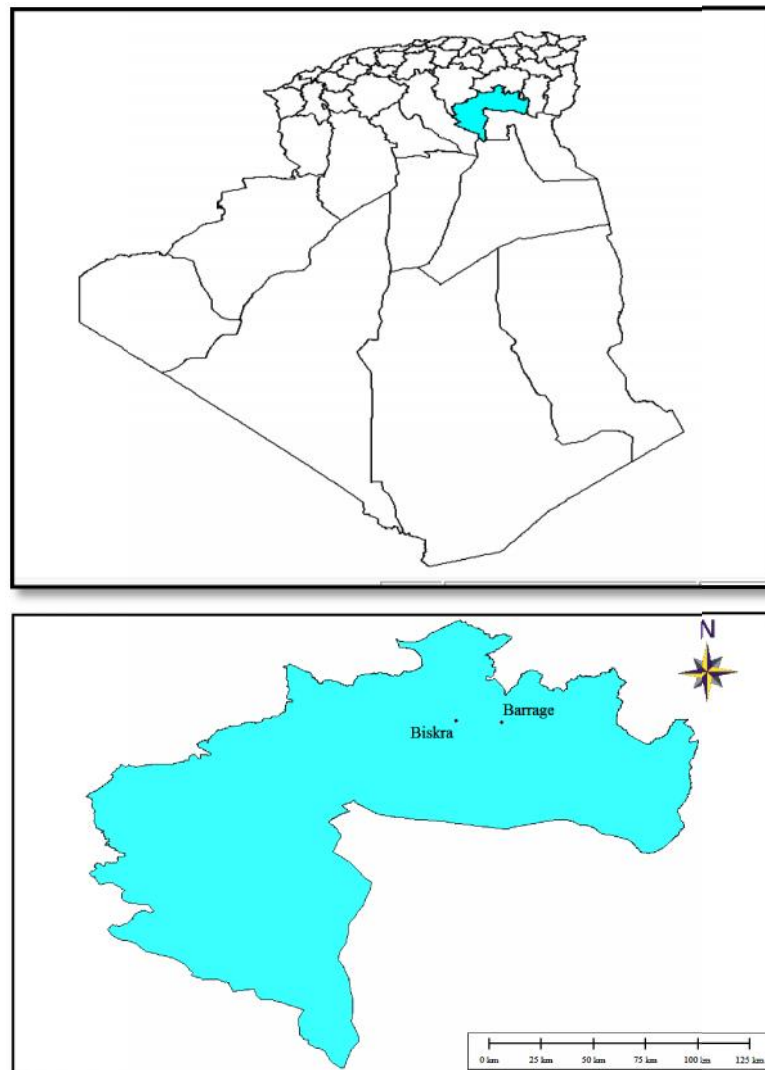


Figure (2,1) : Localisation du barrage de Foug El Gherza

2. Caractéristiques Climatiques

Le bassin versant qui alimente le barrage de Foum-el-Gherza s'étend sur une superficie de 1300 km², pour un périmètre de 200 km.

La température moyenne est de 22,9 C⁰. La pluviométrie moyenne annuelle est de 250 mm, mais se caractérise par une grande irrégularité. Les variations annuelles se situant entre 86 et 420 mm.

Les précipitations ne sont importantes qu'au milieu de l'automne et au début du printemps, des pluies orageuses se produisent assez fréquemment en Juin et Août, mais elles sont en moyenne peu abondantes .

2.1. Apports liquides

Les crues de oued EL-Abiod sont liées aux précipitations orageuses ayant une double origine, puisque provenant soit d'orages locaux en été, soit des dépressions sahariennes au printemps et plus souvent encore en automne. Les crues de l'oued sont très violentes et soudaines.

2.2. Apports solides

Les matières solides transportées ne sont pas apportées d'une façon continue au cours de l'année, mais liées aux crues: fortes teneurs en octobre et décembre , tandis que les mois de mars et juin peuvent charrier jusqu'à 1/5ème des apports solides. A titre d'exemple, la concentration moyenne durant l'année 1979/1980 a été de 32g/l.

3. Historique de la construction du Barrage de Foum-El-Gherza:

Le Barrage de Foum El Gherza a connu plusieurs phases d'étude et de réalisation. Les étapes de construction ont connu bien des interruptions, pour des raisons aussi bien techniques, qui peuvent être résumées en historique comme suit. (Djeghlaf, L, 2010).

A l'époque en 1847 un premier barrage de dérivation a été construit en amont des gorges de Foum El-Gherza, cet ouvrage rudimentaire fut emporté par les crues et il ne reste rien de cet ouvrage, et en 1912-1918 une construction d'un barrage de 3 m de hauteur fut édiflée au milieu de la gorge.

Une étude d'avant-projet est menée en 1927 l'administration commence à établir un projet de grand barrage – réservoir, c'est l'idée de construire le barrage de Foug El Gherza. Le service de la carte géologique de l'Algérie fait une étude géologique détaillée de l'emplacement du barrage en 1941, l'étude a été faite par l'ingénieur du service R. Laffite. En 1944 à 1955 des travaux ont porté sur; la série de sondage du barrage, la voûte et la culée, ainsi que les pontes sur les déversoirs. Le montage de la conduite forcée, la mise en place des déchargeurs et l'installation de la centrale hydroélectrique sont effectués en 1951. En septembre 1957 tous les travaux du barrage sont terminés.

4. Description de l'ouvrage

Cet ouvrage d'art a permis à la région de Sidi Okba de garder sa vocation économique basée sur l'agriculture durant un demi-siècle, du fait qu'il a aidé à contrer la sécheresse qui sévit dans la région depuis une vingtaine d'années. Ce barrage a permis en outre l'extension des palmeraies.

Cette infrastructure traduit l'intelligence de l'être humain étant donné qu'elle se compose de deux parties qui sont une voûte de 188m et une culée de 60.3m de longueur chacune. Sa hauteur maximale atteint 73m et sa capacité initiale est de l'ordre de 47 millions de mètres cubes (S.E.G.G.T.H., 2001). Les photos représente une vue de la partie voûte du barrage.(Larhyss/Journal N° 03, 2004)



Figure (2,2) : Différentes vues du barrage de Foug El Gherza

Tableau (2,1) : Caractéristiques de barrage de Fom-el-Gherza (Remini, B, 2001)

• Caractéristiques hydrologiques	
Oued	El-Abiod
Crues Historiques	10 Octobre 1966 - 29 Mars 2004 - 29-31 Octobre 2011
Capacité initiale	47,00 hm
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
• Caractéristiques techniques	
Altitude de la retenue maximale	198.1 m
Surface de la retenue au maximum	3.09 km ²
Capacité totale du réservoir	43.00 hm ³
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	47.00h m ³
Débit d'évacuateur	730 m ³ /s
La charge d'évacuateur	4.35m
La culée	60.3m

Le barrage de Fom El Gherzaa un très grand intérêt économique dans la région puisque il permet d'irriguer plus de 300.000 palmiers dattiers des palmeraies de Sidi Okba, Garta, Seriana et Thouda (Remini,B, 2001). Cependant, il se trouve amputé chaque année d'un volume important estimé en moyenne à 5 millions de m³. Ces pertes sont dues au site d'implantation de cet ouvrage qui est composé de calcaires cristallins du maëstrichtien

fissurés jusqu'à une profondeur de 80m (Gousskov, 1952). Sur la figure 2 nous représentons la variation annuelle du débit de fuites (A.N.B., 2002).

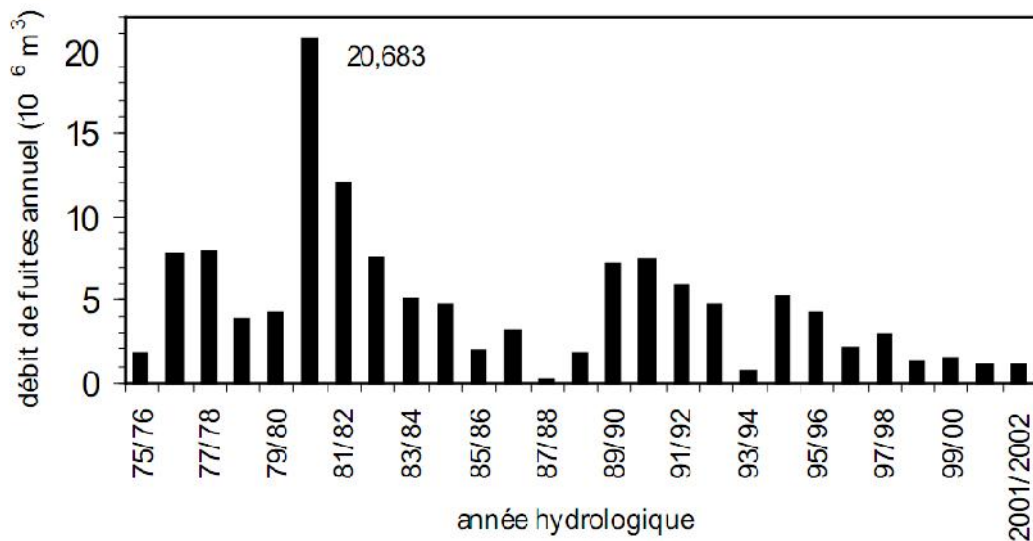


Figure (2,3) : Diagramme de débit de fuites annuel (10^6) m^3 (A.N.B., 2002)

5. Exploitation des eaux du barrage de Foug 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 (Anh, N, 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 (Anh, N, 2012) 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 m^3 d'eau pour obtenir 1 kg de dattes 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.

Dans notre étude le site du barrage de Foum El Gherza se situe à 15 Km au nord-est de Biskra il est destiné pour irriguer 1200 ha correspondant à la plantation de plus de 300 000 palmiers dans les villages de Sérïana, Garta et dans la daïra de Sidi Okba.

6. Équipement de mesures hydro pluviométriques du barrage de Foum El Gherza:

Dans le but de suivi le fonctionnement du barrage de Foum El Gherza au d'établir le bilan Hydrologique et de mettre en place un outil du suivi futur de sa disponibilité en eau dépend les entrées et les sorties de la retenue du barrage, une station de mesure a été installée près de la retenue du barrage depuis sa mise fonction, l'année de la mise eau en 1950. Cette station qui a été installé est équipé d'un dispositif expérimental composé par :

- Un pluviomètre permettant d'enregistrer les cumuls de précipitation sur une journée.
- Un bac d'évaporation enterré de type Colorado-Orstom de 1 m^2 d'ouverture et 60 cm de profondeur et un bac de classe A.
- Une batterie de deux échelles limnométriques.
- Une centrale d'enregistrement et de mémorisation des données au niveau de la direction du barrage.
- Un thermomètre protégé sous un abri météorologique.

Les données limnométriques et pluviométrique enregistrées, sont transférée régulièrement au laboratoire, puis gérées et transformées en formats accessibles (Excel). Les données d'évaporation sont déterminées de façon manuelle par un gardien tous les matins à 8 heures à partir du bac.

7. Envasement du barrage de Fom El Gherza :

Le barrage est situé dans une région saharienne dont les caractéristiques des cours d'eau sont la torrencialité et la violence des crues qui transportent une quantité élevée de matériaux solides. Arrivées à la retenue, les particules en provenance de l'érosion des bassins versants dénudés s'écoulent sous l'eau sous forme des courants de densité. Ces derniers arrivent au pied du barrage, déposent ces particules solides au fond du barrage. Les dépôts vaseux s'accumulent chaque année dans la retenue. En se basant sur le levé bathymétrique effectué par l'ANBT en 2004 (fig 2,5) nous avons schématisé la coupe longitudinale du barrage de Fom El Gherza de 2004 (fig. 2,6).

De 1950 jusqu'à 2004, une quantité de 32 millions de m³ de vase s'est déposée dans la retenue, provoquant un taux de comblement de 68 % en 2004, soit un taux d'envasement moyen annuel de 0,6 millions de m³/année. En 2018, le volume de vase drainé par les courants de densité au centre de la retenue avoisine 40 millions de m³, soit un taux de comblement de 85% de la capacité initiale.

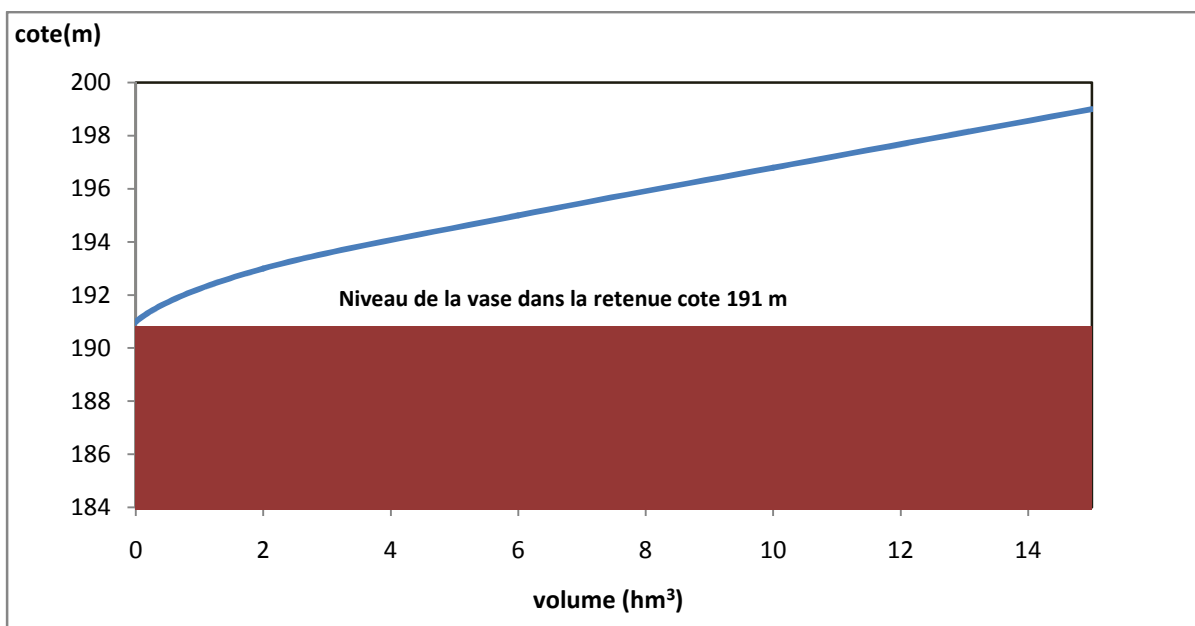
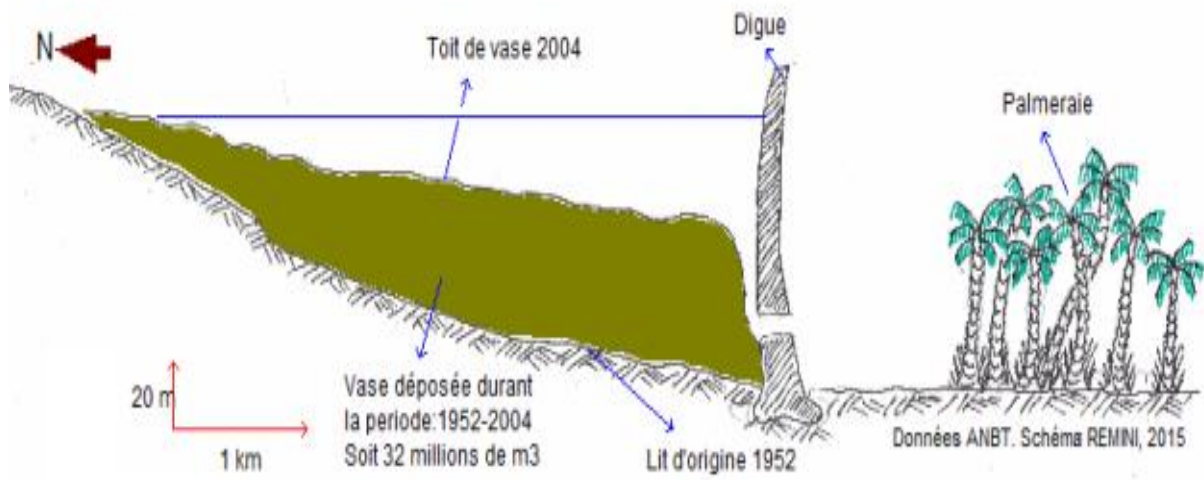


Figure (2,4) : Courbe hauteur –Capacité de 2004 (Données ANBT)



Figure(2,5) : Coupe longitudinale du barrage de foug El Gherza en 2004 (Données ANBT .Schéma Remini , B, 2015)

Chapitre 3

CHAPITRE 3: DETERMINATION DES CARACTERISTIQUES DE L'ONDEDE RUPTURE

1. Détermination de l'hydrogramme de rupture :

1.1. Hypothèses de simulation :

Le scénario choisi pour la simulation hydraulique de la rupture du barrage Fom-el-Gherza est l'effacement quasi instantané de la digue sur toute sa largeur (188 m) sous la sollicitation d'une crue d'une fréquence de 1% (730m³/s) alors que la retenue est à son niveau normal, donc au moment de la rupture le barrage est supposé plain.

Les paramètres géométriques ; largeur, hauteur, et pente du talus de la brèche ont été choisis à l'aide des formules et normes trouvées dans la bibliographie (Marche, H, 2008).

1.2. Estimation du débit de pointe au moment de la rupture

Le débit de pointe au moment de la rupture du barrage est calculé à l'aide des formules suivantes:

- **Formule Ritter :**

Les travaux théoriques de Ritter supposant une rupture infinie et une rupture instantanée donnent une première estimation du débit maximal envisageable de brèche:

$$Q_{\max} = 0.9^2 * L * H_0^{1.5} \quad (3,1)$$

L : Largeur constant de l'ouvrage (m).

H_0 : Profondeur initiale d'eau en amont (m)

- **Formule de Costa:**

A partir des données sur des ruptures survenues dans le passé l'auteur a proposé un certain nombre de formules parmi lesquelles la suivante présente la meilleure corrélation avec les données observées:

$$Q_{\max} = 325 * (H * V)^{0.42} \quad (3,2)$$

H : hauteur de barrage (m)

- **Formule de Hagen :**

La formule développée par Hagen (1982) donne une enveloppe maximale de ruptures historiques (progressives ou instantanées) de 14 barrages.

$$Q_{\max} = 540.7 * \sqrt{V * H} \quad (3,3)$$

V: volume de barrage (hm³).

H: hauteur de l'eau au-dessous de la brèche (m).

- **Formule de Molinaro :**

A partir des données fournies par Costa (1985) Molinaro a établi une relation entre les variations basées sur une analyse dimensionnelle:

$$Q_{\max} = 0.116 * (g * H)^{0.5} * H^2 * (V / H^3)^{0.22} \quad (3,4)$$

Temps secnde de pour arriver au débit point est:

$$T = 10 * V^{0.5} * g^{-0.5} * H \quad (3,5)$$

V: volume de barrage (m³).

H: hauteur de barrage (m)

- **Résultats**

Le tableau suivant présente les débits de pointe au moment de la rupture calculés à l'aide des formules précédentes:

Tableau (3,1) : Formule /Débit maximal de rupture

Formule utilisée	Ritter	Costa	Hagen	Molinaro
Débit en m ³ /s	6529	5493	6798	28868

En excluant la formule de Molinaro, on observe que les valeurs obtenues par les autres formules empiriques sont très proches.

Pour les simulations on va prendre le débit de pointe estimé par la formule de Hagen (la valeur la plus élevée) et ce par mesure de sécurité.

Le temps de formation de la brèche choisi est 3 minutes selon la formule de Molinaro.

1.3. Construction de l'hydrogramme :

L'hydrogramme de rupture est constitué à l'aide de la formule d'un seuil épais ayant la forme suivante :

$$Qb = Cw[bs(Ht - hb)^{1.5} + 0.8z(Ht - hb)^{2.5}] \quad (3.6)$$

ht: la charge d'énergie totale (m)

Cw: coefficient de débit

b: largeur instantanée de la base de la brèche (m)

hb : hauteur du fond de brèche(m)

z : pente de la paroi de brèche

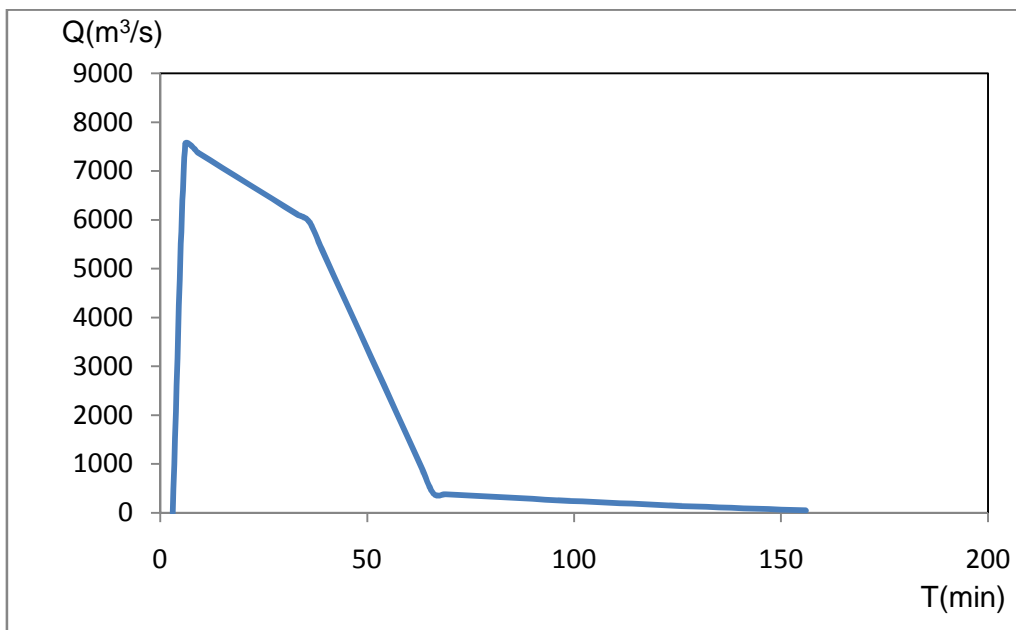


Figure (3,1) : L'hydrogramme de crue de rupture

2. Modélisation hydraulique

2.1. Le modèle HEC-RAS 2D :

HEC-RAS, Hydrologic Engineering Center's River Analysis System (Système d'analyse des rivières du centre d'ingénierie hydrologique) est un logiciel de modélisation hydraulique destiné à simuler l'écoulement dans les cours d'eau et les canaux.

HEC-RAS permet de simuler les écoulements permanents et non permanents, le transport de sédiments et même la rupture des barrages.

La modélisation de la propagation de l'onde de rupture du barrage est effectuée dans HEC-RAS en résolvant la forme suivante des équations bidimensionnelle de Saint-Venant. (Usace, H, 2015)

Conservation de la masse:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(h_u)}{\partial x} + \frac{\partial(h_v)}{\partial y} + q = 0 \quad (3.7)$$

Conservation de la quantité de mouvement:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial x} + v_t \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - c_f u + f \quad (3.8)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial y} + v_t \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - c_f v + f_v \quad (3.9)$$

Où: h = profondeur de l'eau, (m); u, v = composantes de la vitesse, ($m \cdot s^{-1}$); g = accélération de la gravité, ($m \cdot s^{-2}$); v_t = coefficient de diffusion de la vitesse, $m^2 s^{-1}$; H = élévation de la surface libre, (m); t = temps, s; x, y = direction respectivement (m); q = source ou puits de fluide, ($m \cdot s^{-1}$); c_f = le coefficient de frottement inférieur; f_v = le paramètre de Coriolis.

Les équations de Saint-Venant du modèle HEC-RAS sont résolues dans chaque cellule de la grille à l'aide d'un algorithme à volume fini implicite.

2.2. Montage du modèle:

2.2.1. Données Topographiques :

Dans les modèles hydrauliques 2-D la morphologie du terrain est représentée par un ensemble de mailles comme suit :

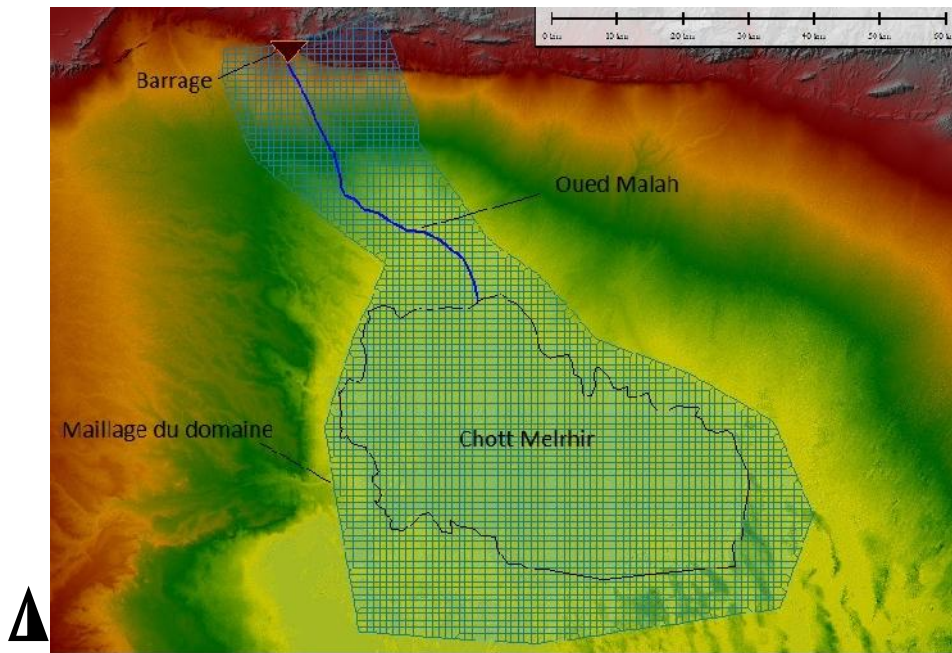


Figure (3,2) : le maillage de la zone d'étude

Le domaine de calcul prend en considération la vallée de l'oued Malah allant du barrage Foum-el-Gherza jusqu'au Chott Melrhir. Il est généré à partir du modèle numérique de terrain SRTM. Le maillage choisi est un maillage structuré comportant 406226 éléments de dimension de 100 m x 100 m.

2.2.2 Données hydrauliques:

- **Conditions initiales:**

Le niveau d'eau dans le réservoir à la cote 198.9 NGA (Niveau normal de la retenue)

- **Conditions aux limites:**

La condition aux limites amont est constituée de l'hydro gramme de rupture, alors que la condition à la limite aval est une sortie libre.

2.2.3. Données de rugosité:

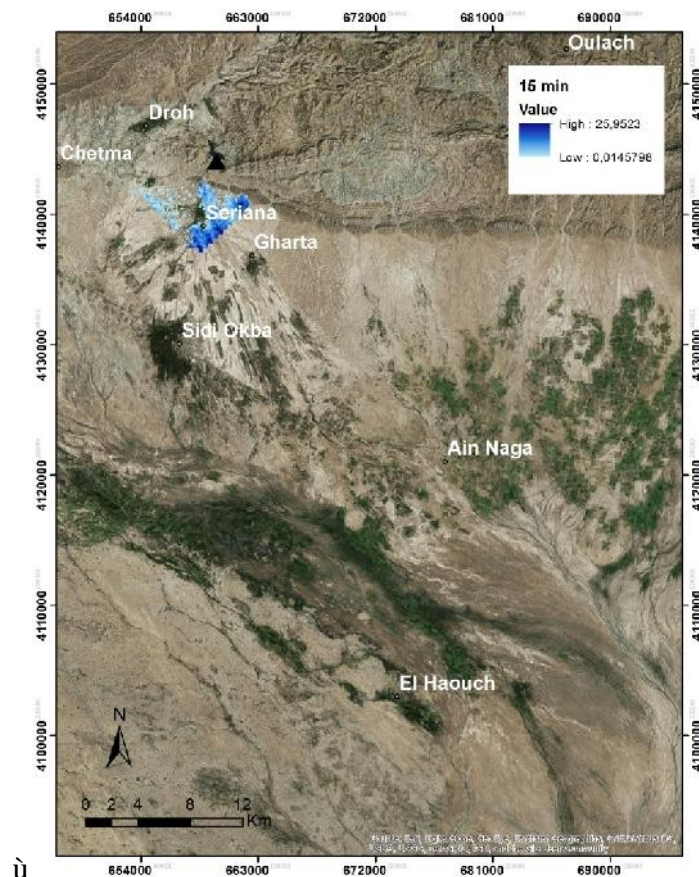
Le terrain est considéré comme terre nu sans végétation arbustive. Le coefficient de rugosité de Manning attribué est $n = 0.025$ (Debiane, K, 2010).

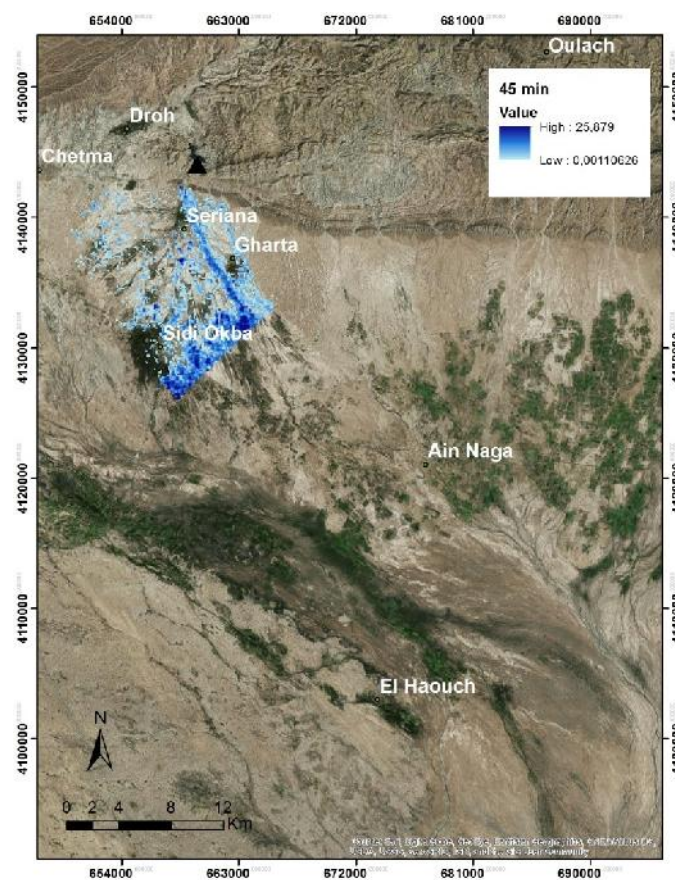
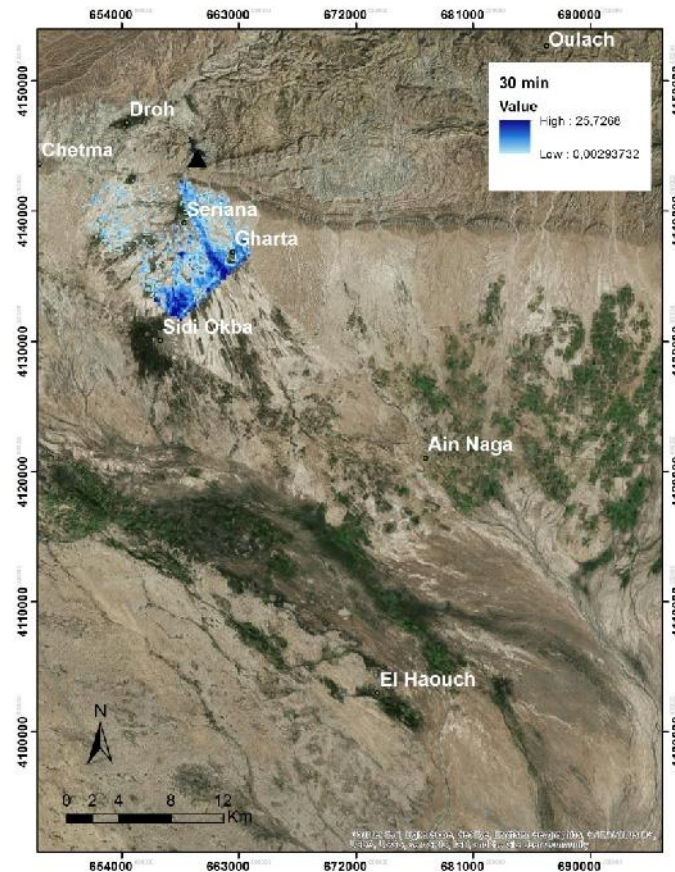
3. Résultats et discussion

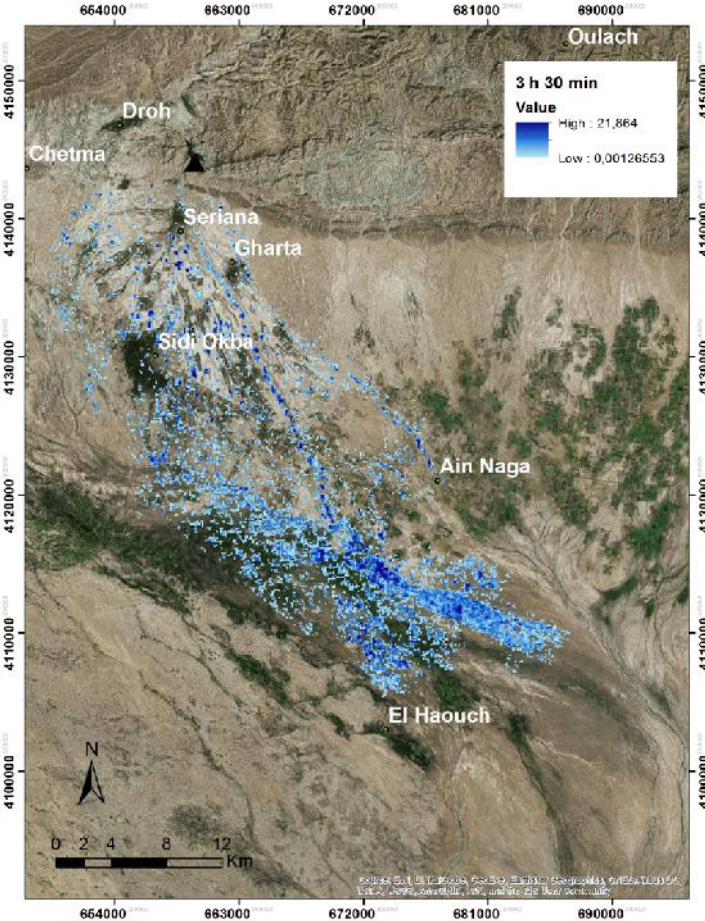
3.1. Cartes d'inondation:

Les profondeurs des eaux calculées par le modèle hydraulique HEC-RAS 2D à différents instants après la rupture du barrage Foum-El-Gherza ont été exportées à l'aide de l'outil RAS mapper vers le SIG afin de construire un support cartographique nécessaire à l'élaboration des mesures d'alerte et d'évacuation adéquates .

Les figures suivantes présentent un aperçu de la propagation de l'onde de submersion associée à la rupture du barrage Foum-El-Gherza:







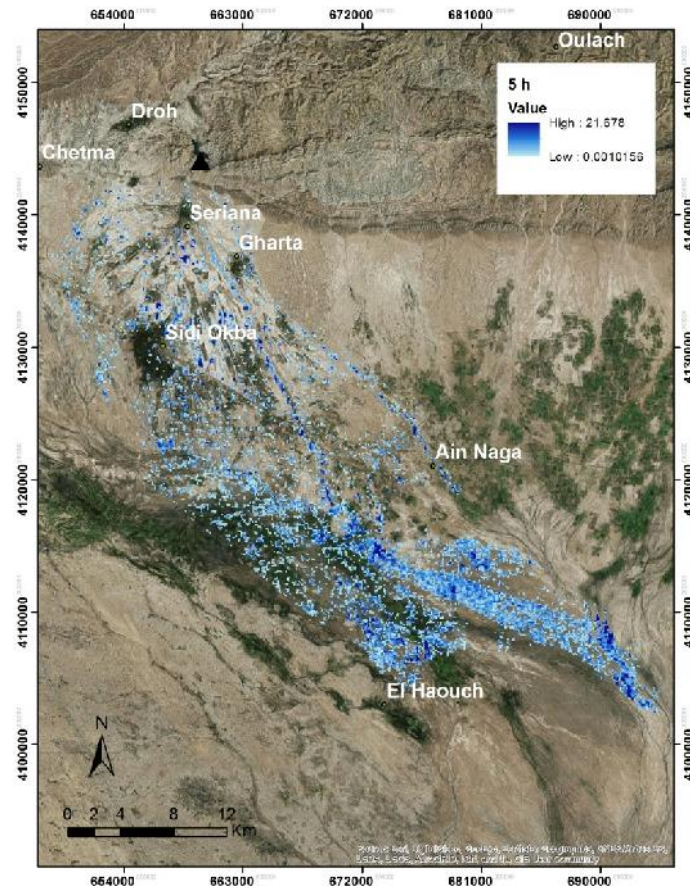


Figure (3,3) Séquences de propagation de la crue de rupture (UTM WGS 84 Zone32)

3.2. Analyse du risque:

D'après les calculs, la propagation de l'onde d'une rupture éventuelle du barrage de Foum-El-Gherza est très lente à cause de la faible pente du terrain ; la vidange de la cuvette se produit en moins de 2 heures alors que la propagation jusqu'au Chott Melghir, à environ 50 Km du barrage, se fait en 5 heures.

Dans son passage l'onde de rupture touche quelques agglomérations à savoir:

- Le village de Seriana situé à 2 Km du barrage ; le village est atteint par l'onde de submersion 15 min après la rupture, les hauteurs d'eau au niveau du village varient entre 2 et 7 m ce qui peut causer des pertes considérables en terme de vies humaines.
- En 30 min, l'onde atteint le village de Gharta à 3 Km du barrage, les hauteurs d'eau au niveau du village varient entre 1 et 8 m, toutefois le temps d'arrivée de l'onde permet d'alerter la population du village et minimiser ainsi les dommages.
- La ville de Sidi Okba situé à 8.75 km du barrage est atteinte après 45 min de la rupture, de faibles hauteurs d'eau sont prévues au niveau de la ville variant entre 0.5 et 1 m.

- La dernière agglomération atteinte est le village El Haouch qui se trouve à 36.41 Km du barrage, selon HEC-RAS 2D le temps d'arrivée de l'onde de rupture est estimé à 3 h 30 min, les hauteurs d'eau au niveau de la ville sont très faibles comparables à une crue naturelle.

CONCLUSION GENERALE

La détermination des zones à risque suite à la rupture d'un barrage et l'identification des caractéristiques de l'onde de rupture sont des outils essentiels pour la préparation des mesures d'alerte et d'évacuation appropriées. Elles sont définies sur la base d'une étude de rupture du barrage, à laquelle sont jointes des cartes d'inondation. Cette étude consiste, par des méthodes reconnues, en une évaluation détaillée des conséquences de la rupture au moyen de la délimitation précise du territoire affecté et de l'identification des caractéristiques de ce territoire.

Dans ce travail, nous avons essayé d'évaluer les conséquences d'une éventuelle rupture du barrage de Foum-el-Gherza à Biskra. Plusieurs étapes ont été entreprises pour atteindre cet objectif ; la première est la modélisation du processus de la rupture elle-même et la formation de l'écoulement au droit de la digue, ensuite la modélisation des écoulements résultants en aval à l'aide du modèle bidimensionnelle HEC-RAS, enfin la cartographie de la propagation de l'onde de rupture du barrage de Foum-el-Gherza dans le SIG.

Les calculs montrent que l'onde de rupture du barrage de Foum-el-Gherza possède un grand potentiel de destruction notamment dans les deux villages Seriana et Gharta. Néanmoins, les résultats fournis par cette étude peuvent assister les autorités dans l'élaboration d'un plan particulier d'intervention, ce plan comporte un ensemble de mesures d'alerte et d'intervention visant à réduire les risques associés à une éventuelle rupture du barrage de Foum-el-Gherza.

Il faut noter que ce travail peut être amélioré par les moyens suivants :

- Réaliser une étude topographique sur terrain et ne plus se fier aux données SRTM. Ceci coûte très cher mais il est indispensable et ce, notamment dans les zones plates où l'erreur de quelques centimètres sur les altitudes peut donner une zone inondable différente de la réalité.
- Inclure dans les calculs les phénomènes de l'érosion et du transport solide afin de voir l'impact de la rupture sur les berges et les bathymétries des oueds.

Bibliographie

- {1} Fernandez, F., Leze, S., & Marche, H. (2008). Le langage social des émotions (p. 430). *Economica-Anthropos*.
- {2} Lebreton, A., (1985). Les ruptures et accidents graves de barrages de 1964 à 1983. *La Houille Blanche*, (6-7), 529-544.
- {3} Bouhlali, M., 2006. Les risques associés du barrage. Mémoire magistère. Université Abou Baker belkaide. p27.p28
- {4} Derdous, O. 2016, Condition d'écoulement à l'aval d'un barrage en cas de rupture de la digue. Application aux cas Algériens. Thèse de doctorat
- {5} Anh, N. T., Rigg, J., Huong, L. T. T., & Dieu, D. T. (2012). Becoming and being urban in Hanoi: Rural-urban migration and relations in Viet Nam. *The Journal of Peasant Studies*, 39(5), 1103-1131.
- {6} Royet, P. (2004). Barrages et risques. *Ingénieries-EAT*, (38 supplément), p-11.
- {7} Schleiss, A. J., & Pougatsch, H. (2011). *Les barrages: du projet à la mise en service* (Vol. 17). PPUR Presses polytechniques.
- {8} Deroo, L., & Jimenez, B. (2011, Novembre). Note sur l'accidentologie des barrages poids. In *Colloque CFBR/AFEID: Pratique des études de dangers des barrages* (pp. 28-29).
- {9} [CEMAGREF (1989) La sécurité des barrages, Exposé présenté à la 5ème section du Conseil Général du G.R.E.F, 102p.
- {10} CAWAS, P. L'achèvement du Barrage et de l'Usine hydro-électrique de Boulder sur le Rio-Colorado (USA).
- {11} Michel, C. (1989). Hydrologie appliquée aux petits bassins versants ruraux. Cemagref, Antony. Robichon, N.,
- {12} Arenou, F., Turon, C., Mermilliod, J. C., & Lebreton, Y. (1997, August). Analysis of seven nearby open clusters using Hipparcos data. In *Hipparcos-Venice'97* (Vol. 402, pp. 567-570).
- {13} Ghiati, C. (2011). Le Maroc des voyageuses françaises au temps du Protectorat. Une vision (de) colonisatrices?. *Genre & Histoire*, (8).
- {14} (<http://sigoise.free.fr>).

Bibliographie

- {15} Varrin Jr, R. D., Marohnic, M. J., Kreider, M. A., Turner, A. P., & Lounis, S. (1999). U.S. Patent No. 5,913,320. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- {16} Toumi, A., & Remini, B. (2004). Barrage de Foug EL Gherza face au problème de fuites d'eau. LARHYSS Journal ISSN 1112-3680, (3).
- {17} Tabouche, N., & Achour, S. (2004). Etude de la qualité des eaux souterraines de la région orientale du Sahara septentrional algérien. Larhyss Journal, 3, 99-113.
- {18} Cornet, A., & Gousskov, N. (1952). Les eaux du Crétacé inférieur continental dans le Sahara Algérien (nappe dite "Albienne).
- {19} Friedman, P. M., Mafong, E. A., Kauvar, A. N., & Geronemus, R. G. (2002). Safety data of injectable nonanimal stabilized hyaluronic acid gel for soft tissue augmentation. *Dermatologic Surgery*, 28(6), 491-494
- {20} Said, Z. B. O. S., Haddadi-Guemghar, H., Boulekbache-Makhlouf, L., Rigou, P., Remini, H., Adjaoud, A., ... & Madani, K. (2016). Essential oils composition, antibacterial and antioxidant activities of hydrodistilled extract of *Eucalyptus globulus* fruits. *Industrial Crops and Products*, 89, 167-175.
- {21} Phan, V. N., Nguyen, N. T., Yang, C., Joseph, P., Djeghlaf, L., Bourrier, D., & Gue, A. M. (2010). Capillary filling in closed end nanochannels. *Langmuir*, 26(16), 13251-13255.
- {22} Labdi, N. (2016). Impact du barrage de Foug El Gherza sur le développement de l'agriculture en irrigué dans le périmètre de Sidi Okba (Biskra) (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider-Biskra).
- {23} Dahmoune, F., Nayak, B., Moussi, K., Remini, H., & Madani, K. (2015). Optimization of microwave-assisted extraction of polyphenols from *Myrtus communis* L. leaves. *Food chemistry*, 166, 585-595.
- {24} Campagnac, E., Sahraoui, A. L. H., Debiane, D., Fontaine, J., Laruelle, F., Garçon, G., ... & Grandmougin-Ferjani, A. (2010). Arbuscular mycorrhiza partially protect chicory roots against oxidative stress induced by two fungicides, fenpropimorph and fenhexamid. *Mycorrhiza*, 20(3), 167-178.

SOMMAIRE

Introduction générale.....1

Chapitre 1:Le risque de rupture de barrage

1. La rupture de barrage3

2. Les causes de rupture.....3

3. Danger et dégâts pouvant affecter un barrage et ses fondations.....4

4. Les modes de rupture5

5. Les Exemples de rupture.....6

5.1 Les Exemples de rupture Dans le monde.....6

5.2 Les Exemples de rupture de barrages en Algérie11

6. Les ruptures des barrages et leurs statistiques.....13

6.1.. Nombres total des ouvrages.....13

6.2.. Recensement et statistiques des ruptures.....14

Chapitre 2: Présentation de la zone d'étude

1. Situation géographique.....17

2. Caractéristiques Climatiques.....18

2.1. Apports liquids.....18

2.2. Apports solides.....18

3. Historique de la construction du Barrage de Foug-El-Gherza...18

4. Description de l'ouvrage.....19

5. Exploitation des eaux du barrage de Foug El Gherza.....	21
6. Équipement de mesures hydro pluviométriques du barrage de Foug El Gherza.....	22
7. Envasement du barrage de Foug El Gherza.....	23

Chapitre 3: Détermination Des Caractéristiques De L'onde de rupture

2. Détermination de l'hydro gramme de rupture	25
2.3. Hypothèse de simulation.....	25
2.4. Estimation du débit de pointe au moment de la rupture	25
2.5. Construction de l'hydro gramme	28
3. Modélisation hydraulique.....	28
3.1. Le modèle HEC-RAS 2D.....	28
3.2. Montage du modèle.....	29
2.2.1 Données Topographiques.....	29
2.2.2 Données hydrauliques.....	29
2.2.3 Données de rugosité.....	30
4. Résultats et discussion	30
4.1. Cartes d'inondation.....	30
4.2. Analyse du risque.....	33
Conclusion générale.....	34
Bibliographie.....	35

List des tableaux

Tableau (1.1) : exemple de danger et de dégâts affectant les barrages leurs fondations.....	5
Tableau (1,2) : Statistiques des ruptures des barrages.....	15
Tableau (1,3) : rupture des ouvrages dans le monde.....	15
Tableau (1,4) : Rupture des ouvrages selon le type.....	16
Tableau (2,1) : Caractéristiques de barrage de Foum-el-Gherza.....	20
Tableau (3,1) : Formule /Débit maximal de rupture.....	26

Liste des figures

Figure (1,1) : Vue du barrage de St Francis.....	7
Figure (1,2) : Etat du barrage de St Francis après la rupture.....	7
Figure (1,3) : Le barrage de Malpasset avant et après sa rupture	8
Figure (1,4) : Le barrage de Sella Zerbino avant et après sa rupture...	9
Figure (1,5) : Barrage de Teton avant la rupture.....	11
Figure (1,6) : Barrage de Teton après la rupture.....	11
Figure (1,7) : Le barrage de l'oued Fergouge avant la catastrophe de 1927.....	12
Figure (1,8) : Vue du barrage Fergoug après la rupture du 25 novembre 1927.....	12
Figure (1,9) : Barrage cheurfa.....	13
Figure (1,10) : Barrage de Cheurfa, après travaux : nouvel appui RD vers l'amont.....	13
Figure (2,1) : Localisation du barrage de Foum El Gherza	17
Figure (2,2) : Différentes vues du barrage de Foum El Gherza.....	19
Figure (2,3) : Diagramme de débit de fuites annuel (10^6) m ³	21
Figure (2,4) : Courbe hauteur –Capacité	23
Figure (2,5) : Coupe longitudinale du barrage de foum El Gherza..	24
Figure (3,1) : L'hydro-gramme de crue de rupture.....	27

Figure (3,2) : Le maillage de zone d'étude.....	29
Figure (3,3) Séquences de propagation de la crue de rupture.....	30-32

Résumé :

Le risque nul de rupture d'un barrage n'existe pas, il est toujours indispensable d'évaluer les conséquences d'une éventuelle rupture. L'ingénierie assistée par ordinateur a permis la mise au point de méthodes de calcul et d'analyse plus complètes pour aider à ces évaluations et à l'établissement des mesures d'urgence locales. Dans le présent travail, la simulation numérique de l'onde de rupture du barrage de Foum el Gherza avec le code bidimensionnel HEC-RAS a été effectuée, le calcul nous a permis d'étudier l'évolution spatio-temporelle de l'onde de rupture et d'estimer ses caractéristiques hydrodynamiques le long de la vallée. Les résultats de calculs ont permis d'établir des supports cartographiques indiquant les zones inondables ainsi que les temps d'arrivée de l'onde de rupture aux agglomérations en aval, éléments d'information très utiles pour les pouvoirs publics.

Mots clés : rupture de barrage, mesures d'urgence, HEC-RAS, zones inondables.

Abstract :

The zero risk of dam failure does not exist; it is always indispensable to assess the consequences of a possible failure. Computer-aided engineering has led to the development of more comprehensive computation and analysis methods to assist with these assessments and to help elaborating local emergency measures. In the present study, the numerical simulation of the dam break flood wave of Foum el Gherza dam with the two-dimensional model HEC-RAS was carried out, the calculation allowed us studying the spatio-temporal evolution of the dam break flood wave and estimating its hydrodynamic characteristics along the downstream valley. The calculations results permitted the generation of cartographic supports indicating the flooded zones as well as the arrival times of the dam break flood wave at the downstream agglomerations, which are very useful information for the public authorities.

Keywords: dam failure, emergency measures, HEC-RAS, flooded zones.

:
يوجد
بتطوير
عملية حسابية
العمليات الحسابية
فهد
المفتاحية:
تدابير
HEC-RAS
الفيضانات .
الهندسة
المحلية . هذا
انهيار
هذه التقييمات
وتقدير خصائصها الهيدروديناميكية
تشير
مهمة للغاية
التحليل
انهيار هادئة
العمليات الحسابية
فهد
المفتاحية:
تدابير
HEC-RAS
الفيضانات .