

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



جامعة عبد الحميد ابن باديس مستغانم
Université Abdelhamid Ibn Badis- Mostaganem
كلية العلوم والتكنولوجيا
Faculté des Sciences et de la Technologie
قسم الهندسة المدنية
Département de Génie Civil



N° d'ordre : M...../GC/2021

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE DE MASTER ACADEMIQUE

Année universitaire : 2020/2021

Filière : Génie Civil

Spécialité : Structures

Thème

Risque de rupture des barrages

Présenté par :

Mr. BELARBI Aymen Abdessalam

Mr. AISSAOUI Djelloul

Soutenu publiquement le 29/09/2021 devant le jury composé de :

Mr. ZELMAT Yassine	MAA	Université de Mostaganem	Président
Mr. SARDOU Miloud	MCA	Université de Mostaganem	Rapporteur
Mr. Reziga Ahmed	MAA	Université de Mostaganem	Examineur

Remerciements

Nous remercions tout d'abord, le Dieu le tout puissant de nous avoir gardé en bonne santé afin de finaliser ce projet de fin d'étude.

Nous remercions très sincèrement à notre promoteur Dr. SARDOU Miloud, pour son aide, conseils et remarques, et qui nous a permis d'accomplir ce modeste travail.

Nous remercions aussi aux membres de jury qui ont accepté d'examiner ce travail.

Nous remercions tous les enseignants au sein de département génie civil qui ont contribué à notre formation.

Nous remercions nos chers parents de nous avoir aidés durant plusieurs années d'études.

Nous remercions tous ceux qui nous ont aidés pour la réalisation de ce travail.

Dédicace

Ce travail est dédié à :

A nous parents qui représentent pour nous l'exemple du courage et de volonté.

A nos familles

A tous nous amis.

A nous enseignants

A toute la promotion de Génie Civil (2020/2021)

Résumé

Les ruptures des barrages constituent l'une des aléas technologiques les plus meurtriers et dévastateurs. L'Algérie a connu des ruptures de barrages qui ont causé d'importants dégâts humains et matériels. L'objectif de ce travail est de mettre en évidence l'aléa rupture des barrages avec une considération de quelques cas Algériens. L'étude s'est basée sur une recherche bibliographique sur l'aléa rupture des barrages et leurs impacts sur les biens et l'être humain. La rupture du barrage de Mohammadia (Mascara) en novembre 1927 à Mohammadia est considérée comme un événement de référence. La pluviométrie abondante durant une semaine et d'autres facteurs humains ont été à l'origine de cet accident. Les effets des inondations dues à la rupture de ce barrage reflètent la nécessité de l'amélioration de la connaissance sur les ruptures des barrages pour adopter des stratégies efficaces de gestion de ce risque.

Mots clés : Rupture de barrage, Risque, Inondation, Barrage Fergoug, Mohammadia

Abstract

Dam failures are one of the most deadly and devastating technological hazards. Algeria has experienced dam failures that have caused significant human and material damage. The objective of this work is to highlight the hazard of dam failure with a consideration of some Algerian cases. The study was based on a bibliographic research on the hazard of dam failure and their impacts on property and human beings. The failure of the Mohammadia dam (Mascara) in November 1927 is considered as a reference event. The heavy rainfall during one week and other human factors were at the origin of this accident. The effects of flooding due to the failure of this dam reflect the need to improve knowledge on dam failures to adopt effective strategies to manage this risk.

Keywords: Dam failure, Risk, Flooding, Fergoug dam, Mohammadia

ملخص

تعد حالات انهيار السدود من أكثر المخاطر التكنولوجية فتكًا وتدميرًا. شهدت الجزائر انهيارات في السدود تسببت في أضرار بشرية ومادية جسيمة. الهدف من هذا العمل هو تسليط الضوء على مخاطر انهيار السدود مع النظر في بعض الحالات الجزائرية. اعتمدت الدراسة على بحث بليوغرافي حول مخاطر انهيار السدود وتأثيراتها على الممتلكات والبشر. يعتبر انهيار سد المحمدية (معسكر) في نوفمبر 1927 حدثًا مرجعيًا. كان سبب هذا الحادث هو هطول الأمطار الغزيرة خلال أسبوع كامل بالإضافة الى عوامل بشرية أخرى. تعكس آثار الفيضانات بسبب انهيار السد فرقوق الحاجة إلى تحسين المعرفة بشأن فشل السدود في اعتماد استراتيجيات فعالة لإدارة هذه المخاطر.

الكلمات المفتاحية: انهيار السد ، المخاطر ، الفيضانات ، سد فرقوق ، المحمدية

Table des matières

Remerciements	III
Dédicace	IV
Résumé	V
Abstract	V
ملخص	VI
Table des matières	VII
Table des figures	X
Liste des tableaux	X
Introduction générale	11
I. Généralités	14
Introduction.....	14
I.1 Définitions.....	14
I.1.1 Aléa.....	14
I.1.2 Vulnérabilité.....	15
I.1.3 Risque.....	15
I.1.4 Les barrages.....	16
I.2 Types de barrages.....	17
I.2.1 Barrages en terre.....	17
I.2.1.1 Classification des barrages en terre en termes de matériaux de construction.....	17
I.2.1.2 Classification des barrages selon la méthode de construction.....	18
I.2.1.3 Classification des barrages selon la hauteur.....	19
I.2.2 Les barrages en béton.....	19
I.2.2.1 Barrage voûte.....	19
I.2.2.2 Barrage poids.....	20
I.3 Causes et processus de rupture des barrages.....	20
I.3.1 Processus de formation.....	20
I.3.2 Onde de submersion.....	21

I.4	Conséquences de rupture des barrages	21
I.4.1	Les conséquences sur les populations.....	22
I.4.2	Les conséquences sur les biens.....	22
I.4.3	Les conséquences environnementales.....	22
	Conclusion.....	23
II.	Risque de rupture des barrages.....	25
	Introduction.....	25
II.1	Le risque de rupture des barrages.....	25
II.2	Mécanismes de rupture des barrages	25
II.2.1	Rupture instantanée ou graduelle	25
II.2.2	Rupture par renard	26
II.2.3	Rupture par glissement	27
II.2.4	Rupture par surverse.....	27
II.2.5	Rupture de petit barrage d'accumulation.....	28
II.3	Objectifs de l'analyse des ruptures de barrage.....	29
II.4	Classification du risque	29
II.4.1	Barrage à haut risque.....	29
II.4.2	Barrage à risque significatif.....	29
II.4.3	Barrage à faible risque.....	29
II.4.4	Barrage sans danger public	30
II.5	Approche de l'analyse des ruptures de barrage.....	30
II.5.1	Approche basée sur les événements	30
II.5.2	Approche basée sur les conséquences	30
II.6	Carte des inondations dues à la rupture d'un barrage	30
II.6.1	Utilisations de la cartographie des inondations	31
II.6.1.1	Plans d'action d'urgence	31
II.6.1.2	Réponse d'urgence	31
II.6.1.3	Planification de l'atténuation des risques	32
II.6.1.4	Évaluation des conséquences d'une rupture de barrage	33
	Conclusion.....	33
III.	Rupture de barrage Fergoug, Mohammadia.....	35
	Introduction.....	35

III.1	Aperçu sur le barrage	35
III.2	Historique du barrage Fergoug.....	36
III.2.1	Construction du barrage.....	36
III.2.2	La première rupture du barrage en 10 mars 1872	37
III.2.3	La deuxième rupture du barrage en 15 décembre 1881.....	37
III.3	La rupture du barrage en novembre 1927	38
III.3.1	Etat du barrage avant la rupture	38
III.3.2	Survenance de la crue	39
III.3.3	Causes de la rupture du barrage.....	40
III.3.4	Les dégâts engendrés après la rupture	41
III.3.5	Endommagement du barrage après la rupture	42
III.3.6	Etat actuel du barrage.....	42
	Conclusion.....	43
IV.	Prévention et moyens de secours.....	45
	Introduction.....	45
IV.1	La maîtrise du risque à la source	45
IV.1.1	Moyens de prévention	45
IV.1.1.1	L'examen préventif du barrage	45
IV.1.1.2	La surveillance constante de l'ouvrage	46
IV.1.1.3	La gestion active.....	46
IV.1.2	La maîtrise de l'urbanisation	46
IV.1.3	La planification des secours	47
IV.1.3.1	Le plan ORSEC.....	47
IV.1.3.2	Les plans particuliers d'intervention	47
IV.1.4	L'information préventive de la population.....	48
IV.1.5	Les consignes d'alerte aux populations	48
IV.1.5.1	Le signal d'alerte lié aux ouvrages hydrauliques.....	48
IV.1.5.2	Les consignes.....	48
IV.1.6	L'indemnisation des victimes et assurance catastrophes naturelles	48
	Conclusion.....	50
	Conclusion générale	51
	Bibliographie	52

Table des figures

Figure I.1: Types de barrages en terre selon les matériaux de construction	18
Figure I.2: Types de barrages en terre selon la méthode de construction	19
Figure I.3: Barrage voûte	20
Figure I.4: Barrage poids.....	20
Figure I.5: L'onde de submersion	21
Figure I.6: Dégâts dus à la rupture d'un barrage au Brésil	23
Figure II.1: Rupture par renard.....	27
Figure II.2: Rupture par surverse	28
Figure III.1: Localisation de barrage Fergoug.....	36
Figure III.2: Vue sur le barrage Fergoug (1875)	37
Figure III.3: Etat du barrage de l'oued Fergoug après la crue du décembre 1881	38
Figure III.4: L'état du barrage Fergoug avant sa rupture en 1927	39
Figure III.5: Dommages causés suite à la rupture du barrage Fergoug en 1927	41
Figure III.6: Endommagement du barrage après sa rupture (1927)	42
Figure III.7: Etat actuel du barrage de Fergoug	43

Liste des tableaux

Tableau 1: Aléas affectants les barrages et les digues.....	15
Tableau 2: Caractéristiques du barrage Fergoug	35
Tableau 3: Heure et cote du plan d'eau du barrage pendant la crue de 1927.....	40
Tableau 4: Consignes générales à suivre	49

Introduction générale

L'histoire de la construction du barrage remonte à plusieurs siècles. Le premier barrage a été construit à partir d'environ 4000 avant JC, et qui était prévu de détourner le cours de la Nil pour créer la ville de Memphis en Egypte.

Les Romains ont construit des barrages dans toutes les provinces de leur empire. Souvent, ces remblais sont construits avec deux murs de pierre avec un espace entre eux. Ce vide était rempli de matériaux peu coûteux tels que du sable ou diverses petites pierres.

Au huitième siècle avant JC, les Yéménites ont construit un barrage à Marib, qui est le barrage le plus célèbre de l'histoire. Après sa construction, sa hauteur a été augmentée afin de piéger les eaux de crue dans la vallée pendant de longues périodes, dans le but d'irriguer plus de terres à travers le système de canaux, car la vallée représente le canal principal avant sa destruction finale vers 475 après JC.

Au troisième siècle après JC, les Sassanides construisirent de nombreux barrages en Iran, largement influencés par les barrages romains. D'autres barrages ont été construits, notamment celui d'Ahvaz, qui mesure plus de 90 mètres de long et environ 8 mètres d'épaisseur. Au fil du temps, les barrages se sont développés au fur et à mesure qu'ils étaient divisés en fonction de leur forme structurelle et des matériaux utilisés pour les construire¹.

Les principaux types de barrages sont: les remblais lourds, les ponts, les remblais et les ponts renforcés. Le béton est généralement utilisé pour l'installation des trois premiers types. Le même bâtiment peut contenir un ou plusieurs types de ces barrages².

Malgré tous les développements intervenus, le risque d'effondrement des barrages est encore possible en raison des aléas naturels (tremblements de terre et inondations), matérielles et humaines (guerres et conflits).

Parmi les accidents les plus dangereux on peut citer la rupture de barrage de Malpasset (Var, France) en 1959. Le barrage-voûte barrant la rivière Reyran cède à cause d'un défaut géologique dans le massif où s'ancrait la voûte. Cet événement a causé

¹ <https://berber.ahlamontada.com/t14429-topic>

² <https://sites.google.com/site/scdgnndeti/dams-throughout-the-ages>

423 victimes³. En août 1979, le barrage de Morvi (Inde) de 25 mètres de hauteur a été submergé par la montée du niveau de la retenue suite à de fortes pluies. Sa rupture a créé une vague de 5 à 10 mètres qui a atteint la ville de Morvi à 5 km en aval, faisant plusieurs milliers de victimes.

Cette étude vise à faire une recherche sur les inondations causées par la rupture des barrages, et sur la vulnérabilité de ces infrastructures face aux différents facteurs intrinsèque et externes. Le manuscrit est constitué de quatre chapitres :

Chapitre 01: ce chapitre aborde des notions générales sur l'aléa rupture des barrages en présentant les éléments générateurs de ces accidents.

Chapitre 02: intitulé risques de rupture des barrages. Il aborde des connaissances essentielles sur la rupture des barrages, ensuite il montre les différents risques probables sur les enjeux.

Chapitre 03: intitulé rupture de barrage Fergoug, Mohammadia, ce chapitre vise à l'étude des causes et des conséquences des ruptures de barrage de Fergoug sur les habitants et sur leurs biens.

Chapitre 04: intitulé prévention et moyens de secours, ce chapitre montre les mesures et les dispositifs de surveillance et de protection des barrages pour minimiser le risque de rupture, ainsi que les moyens de secours en cas d'accident.

³ <https://dimenc.gouv.nc/sites/default/files/documents/4-6-RisqueRuptureGrandsBarrages.pdf>

Chapitre 1

Généralités

I. Généralités

Introduction

Dans ce chapitre on va aborder les différentes définitions liées aux barrages, les types et les usages de barrages ainsi que les causes et les conséquences des ruptures.

I.1 Définitions

I.1.1 Aléa

Les barrages restent vulnérables à l'effondrement en raison de divers phénomènes naturels tels que les inondations, les séismes, les tempêtes, les pluies torrentielles, les éruptions volcaniques et autres. Ou à cause d'activités humaines nuisibles telles que les conflits et les guerres. Cela représente un aléa pour les vies humaines, car cela peut entraîner la mort de nombreuses personnes, des dommages matériels importants et la perte de moyens de subsistance.

Les principaux aléas externes auxquels sont exposés les barrages sont les crues, les séismes et les glissements de terrain dans les retenues, ces derniers étant susceptibles de provoquer une vague sur le barrage. Ces aléas sont examinés dans un cadre réglementaire pour l'établissement des plans particuliers d'intervention.

Pour les barrages plus anciens, et de façon générale pour tous les barrages en service, les exploitants et les services de contrôle procèdent périodiquement à une réévaluation de la sécurité qui porte bien évidemment sur les trois aléas externes indiqués ci-dessus, mais qui examine aussi les aléas internes liés au vieillissement de la structure ou aux dysfonctionnements des organes hydrauliques⁴.

Une rupture de barrage correspond à une destruction partielle ou totale de l'ouvrage et entraîne la formation d'une onde de submersion; celle-ci engendre l'élévation brutale du niveau de l'eau à l'aval, voire un gigantesque torrent⁵.

⁴ <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00601051/document>

⁵ <https://www.gouvernement.fr/risques/rupture-de-barrage>

Tableau 1: Aléas affectants les barrages et les digues

Aléas affectant plus particulièrement les barrages	Aléas affectant plus particulièrement les digues
Les crues pouvant entraîner une surverse.	
Les glissements de terrain pouvant entraîner une surverse et une dégradation de la capacité de l'ouvrage à évacuer les crues.	
La foudre pouvant affecter le fonctionnement de la vannerie par défaillance des systèmes de commande électrique.	
Les séismes pouvant entraîner une liquéfaction.	
Le gel pouvant conduire à une défaillance du fonctionnement de la vannerie.	
Le vent pouvant générer des vagues et une surverse.	
Les avalanches pouvant entraîner une surverse.	
	Les tempêtes et surcotes pouvant conduire à une submersion.
	Les tsunamis pouvant entraîner une submersion.
	Les laves torrentielles pouvant entraîner une surverse et une dégradation de la fonction de protection assurée par l'ouvrage.
	La sécheresse pouvant conduire à l'apparition de fissures de retrait fragilisant l'ouvrage par rapport à l'érosion interne ou externe.

I.1.2 Vulnérabilité

La vulnérabilité des barrages fait partie des causes de leur effondrement, notamment dans les pays pauvres, en raison du manque de pays sur les matériaux nécessaires à la construction, de l'existence de problèmes matériels et économiques, ou en raison des changements climatiques qui affectent négativement la qualité des barrages, et à partir de là, le risque d'effondrement augmente.

I.1.3 Risque

Le risque est la survenance d'un événement contraire à ce que nous croyons en termes de destruction, Ce sont des conséquences du risque

Le *risque* par définition (de l'accident à la catastrophe) est égal au produit de l'*aléa* (probabilité d'occurrence spatiale et temporelle d'un phénomène échappant à la prévision) par la *vulnérabilité* (enjeux culturels, sociaux, économiques et environnementaux).

Le risque total (= *aléa* X *vulnérabilité*) est la somme de tous les risques possibles comme dans « l'effet domino »⁶.

Risque = aléa x Vulnérabilité

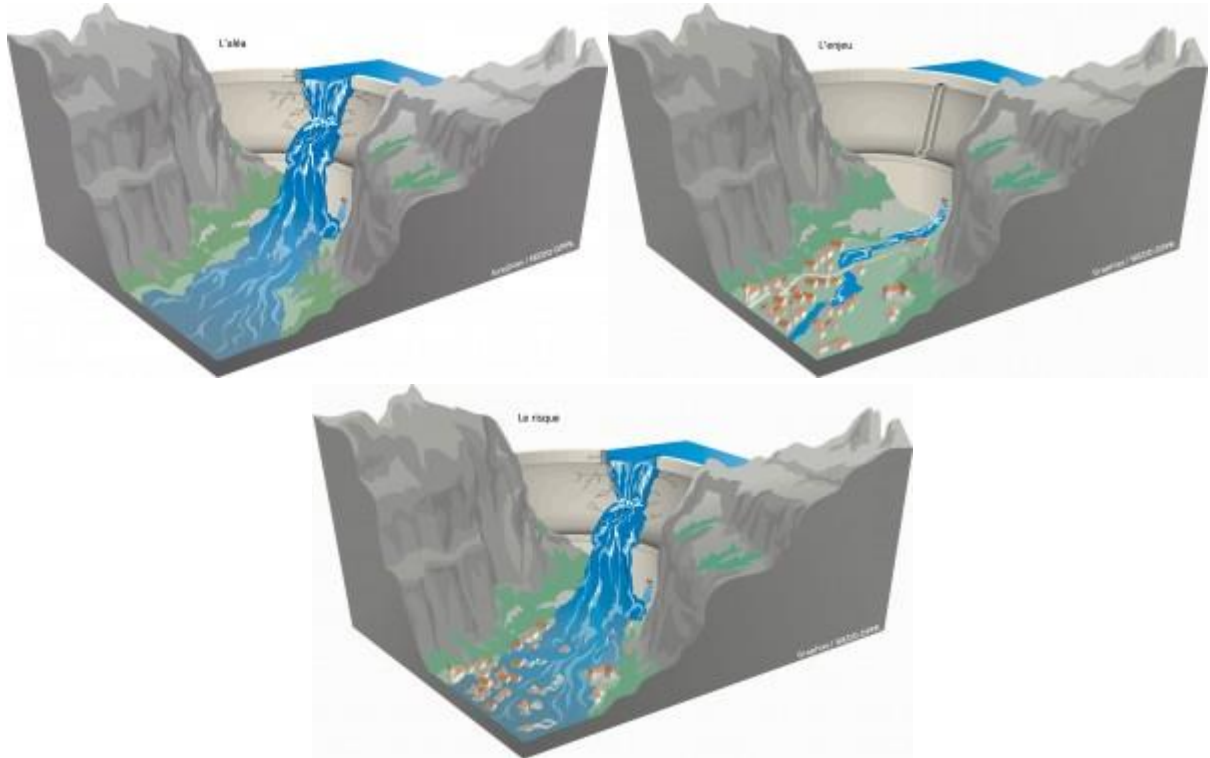


Figure 1: Risque de rupture des barrages⁷

I.1.4 Les barrages

Un barrage est une construction technique érigée au-dessus d'une vallée ou d'une dépression dans le but de réserver de l'eau. Les barrages servent généralement à retenir l'eau, tandis que d'autres structures telles que des tranchées sont utilisées pour empêcher l'écoulement de l'eau vers des zones spécifiques du sol. Le plus long barrage du monde est le barrage de Nurk avec une hauteur de 300 mètres au Tadjikistan.

Un barrage est une barrière qui emprisonne ou retient l'eau d'un cours d'eau, y compris les ruisseaux souterrains. Admis comme un ouvrage d'art, il est fabriqué en béton et pierres, généralement construit dans une gorge du cours d'eau.

⁶ <https://eauterrefeuair.wordpress.com/2016/07/02/leruption-volcanique-risque-alea-et-vulnerabilite/>

⁷ <http://www.mementodumaire.net/risques-technologiques/rt-4-rupture-de-barrage/>

Un barrage est destiné à circonscrire l'eau dans le lit de la rivière pour élever leur niveau d'eau afin d'en tirer, par le biais de canaux d'irrigation, une utilisation telle que l'irrigation, la production d'électricité, ou prévenir des inondations en aval du barrage.

Les barrages peuvent également être créés par des forces géologiques naturelles. Les barrages volcaniques se forment lorsque des coulées de lave, souvent basaltiques, interceptent le chemin d'un cours d'eau ou d'un lac, ce qui entraîne la création d'un bassin de retenue naturelle⁸.

I.2 Types de barrages

Les barrages sont des barrières d'eau faites de différents matériaux et cela dépend de l'endroit dans lequel ils se trouvent et du but pour lequel ils ont été construits, et donc les barrages ont plusieurs types.

I.2.1 Barrages en terre

Les types de barrages en terre constituent une barrière de terre qui interfère avec le cours d'eau, formant un grand lac derrière lui. Les barrages en terre sont parmi les plus anciens types de barrages érigés par l'homme.

I.2.1.1 Classification des barrages en terre en termes de matériaux de construction

Barrages en terre naturelle: environ 50% ou plus du volume du barrage à partir de sols argileux à grains fins et de sols sableux ou de gravier sableux.

Barrages à cumulus: La partie principale du corps du barrage est composée d'ardoise de gravier grossier ou de miettes rocheuses et contient un composant anti-lessivage à base de sols argileux ou à sols grains fins (limon, limon, lisier, argile sableuse).

Barrages en pierre: La plus grande partie est composée de sols à gros grains (blocs de pierre) et du composant anti-infiltration, qui est constitué de matériaux non salis (cloisons internes _ barrières minces). Acier, copeaux de plastique, asphalte ou le béton ordinaire peut être utilisé dans sa construction.

⁸ <https://www.aquaportail.com/definition-6024-barrage.html>



Figure I.1: Types de barrages en terre selon les matériaux de construction
(a) Barrage en terre naturelle⁹, (d) Barrages à cumulus¹⁰, (c) Barrage en pierre¹¹

I.2.1.2 Classification des barrages selon la méthode de construction

Les barrages en remblai : à construire par méthode de remblayage sous forme de couches les unes après les autres puis rouler chaque couche mécaniquement «pour atteindre la densité de conception.

Barrages sédimentaires: Ils sont créés par drainage du sol dans la rivière (dragage hydraulique) en transférant le sol à l'aide d'eau dirigée à l'aide de pompes spéciales pour cela vers le corps du barrage.

Barrages semi-sédimentaires: le noyau est créé uniquement par dragage hydraulique et le reste est créé par la méthode de remblayage à sec.

Barrages construits par la méthode de la détonation dirigée: Ces barrages proviennent des miettes de roche résultant des opérations de dynamitage des flancs du site. Les conditions d'utilisation de cette méthode sont que le site est étroit et situé en

⁹ <https://www.pietrangeli.com/fr/fracerenza-barrage-en-terre-italie-europe>

¹⁰ <https://www.marefa.org/%D8%B3%D8%AF>

¹¹ https://fr.wikipedia.org/wiki/Barrage_du_lac_de_PierrePerc%C3%A9#/media/Fichier:Barrage2011.jpg

zone montagneuse, c'est-à-dire la profondeur de la vallée est supérieure à sa largeur. Un des inconvénients de ce type de barrage est qu'il est du type Perméabilité à l'eau élevée.

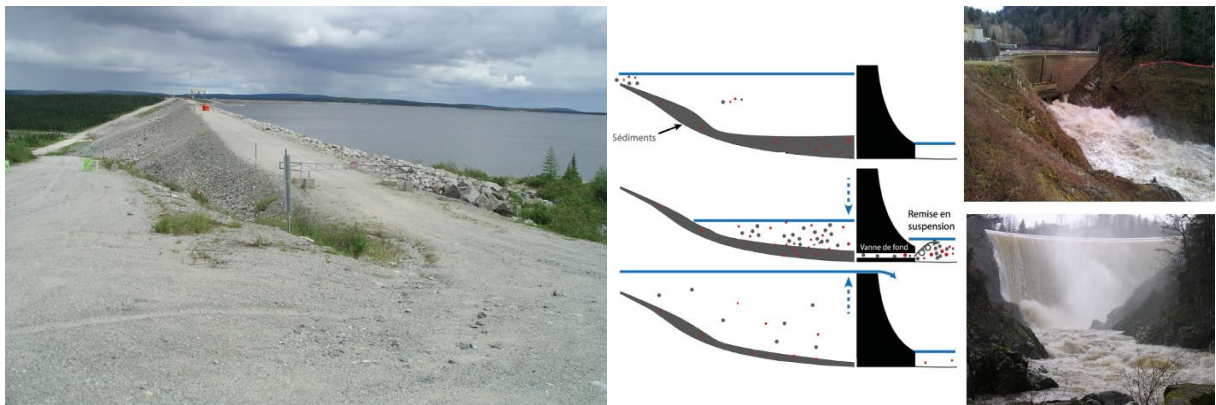


Figure I.2: Types de barrages en terre selon la méthode de construction
(a) Barrage en remblai¹², (b) Illustrations d'une gestion des sédiments¹³

I.2.1.3 Classification des barrages selon la hauteur

Classe I : Barrages de très haut " $H > 125\text{m}$ "

Classe II : Barrages hauts " $H \leq 125\text{m} < 75\text{m}$ "

Classe III : Barrages de hauteur moyenne " $H \leq 75\text{m} > 30\text{m}$ "

Classe IV : barrages de faible hauteur de " $H \leq 30\text{m}$ "

I.2.2 Les barrages en béton

I.2.2.1 Barrage voûte

Le barrage voûte représente l'ultime aboutissement de l'utilisation des propriétés du béton en termes de résistance. Il permet des économies de volume d'au moins 30 % par rapport à un barrage-poids. On pourrait comparer sa forme à celle d'un pont couché sur l'un de ses côtés, et qui chargerait de l'eau au lieu de véhicules.

L'effort de résistance est ainsi en partie reporté par l'arc central sur les rives, permettant de construire des ouvrages moins volumineux, à performance égale. En revanche, les fondations, sur lesquelles se reporte une grande partie de l'effort, doivent posséder des caractéristiques mécaniques élevées afin de supporter celui-ci¹⁴.

¹² https://fr.wikipedia.org/wiki/Barrage_en_remb lai

¹³ <https://www.encyclopedie-environnement.org/zoom/exemples-gestion-sediments/>

¹⁴ <https://www.planete-tp-plus.com/fr/spip.php?article128>

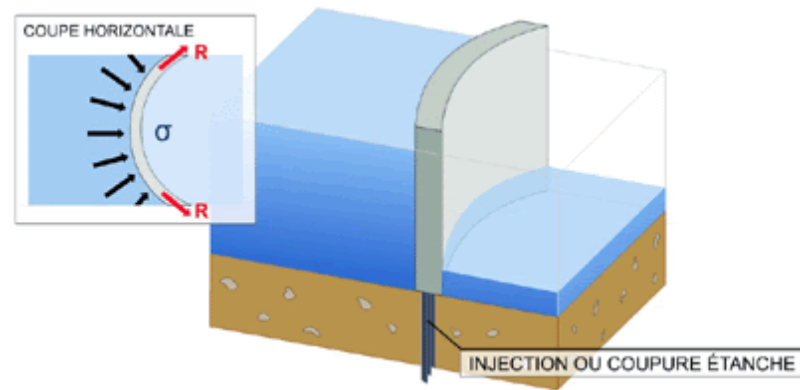


Figure I.3: Barrage voûte

I.2.2.2 Barrage poids

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

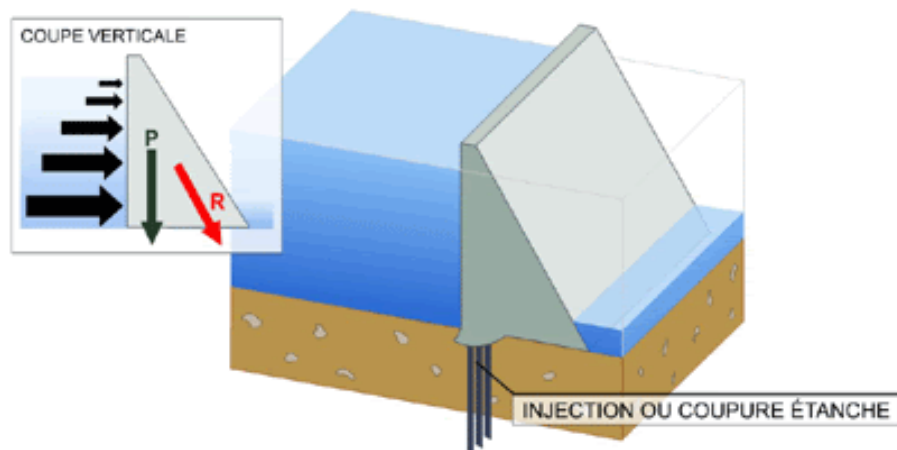


Figure I.4: Barrage poids

I.3 Causes et processus de rupture des barrages

I.3.1 Processus de formation

Tous les barrages de différents types doivent continuer à mesurer qu'ils vieillissent, et sans un entretien adéquat, cela conduit au phénomène d'effondrement, dont les causes et les conséquences doivent être examinées car cela conduira à des catastrophes naturelles. Les raisons les plus importantes de l'effondrement des barrages sont les suivantes:

- Erreurs de conception dans la construction de barrages,
- Erreurs dans la mise en œuvre de la masse de béton (facteurs d'hydratation, température et mélange de poids approprié pour les matières premières de la masse de béton, et la qualité du matériau de ciment),
- Erreurs de conception des armatures et du calcul des contraintes,
- Erreurs dans les études de sol pour le site du barrage,
- Erreurs de mise en œuvre dans le processus de coffrage et de joints de support,
- Erreurs dans le calcul du niveau de crue,
- Erreurs dans le calcul du relèvement d'un corps de barrage pour un le séisme au sol.

I.3.2 Onde de submersion

Dans ce type, il arrive que l'eau inonde le barrage et cela est dû au fait que les estimations des vagues de crue sont inférieures au niveau requis, ou que le déversoir (spillway) a une capacité insuffisante pour passer les vagues de crue, ou que les portes de ce déversoir versant a des problèmes en termes de fonctionnement et afin de surmonter ce problème. Il est impératif qu'un franc-bord approprié soit sécurisé en plus d'autres comptes de sécurité.

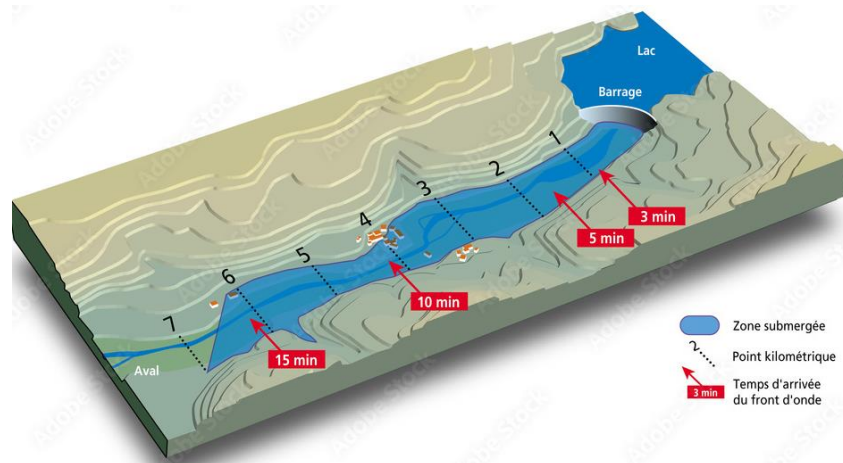


Figure I.5: L'onde de submersion

I.4 Conséquences de rupture des barrages

À la suite d'une rupture d'un barrage, on observe en aval une inondation précédée par le déferlement d'une onde de submersion. Celle-ci occasionne d'énormes dommages

par sa force intrinsèque. L'inondation et les matériaux transportés, issus du barrage et de l'érosion intense de la vallée peuvent causer des dommages considérables.

I.4.1 Les conséquences sur les populations

Les conséquences sur les populations vont des blessures plus ou moins graves à la mort par noyade. Les victimes peuvent également être isolées suite à l'inondation.

La plus grande preuve en est ce qui s'est passé en Août 1975, barrages de Banqiao et de Shimantan (Chine). Ces barrages en remblai, d'une centaine de mètres de hauteur, ont été submergés par les pluies diluviennes d'un ouragan et ont cédé, créant une lame d'eau de 6 mètres de hauteur sur 12 km de large et faisant plusieurs dizaines de milliers de victimes directes, plusieurs centaines de milliers de victimes indirectes, et environ 11 millions de personnes affectées par la catastrophe.

I.4.2 Les conséquences sur les biens

La rupture des barrages constitue de graves dommages, en particulier pour les biens. Les pertes peuvent être importantes en perdant des personnes leurs maisons ou en perdant des usines, des fermes, etc., ce qui peut entraîner d'importantes pertes économiques. Par conséquence, il affecte négativement la vie de la population, surtout dans les pays pauvres, par exemple au Soudan et le 27 juillet 2020. Les habitants de Bot, la capitale locale Tadamun dans l'état du Nil azrak, ont été surpris par la rupture du barrage existant dans la localité, qui a causé la destruction de plus de (750) maisons, le déplacement de milliers de citoyens et (600) maisons inondées d'eau, et la perte d'environ (800) têtes de bétail.

I.4.3 Les conséquences environnementales

Les conséquences environnementales sont multiples. La faune et la flore sont détruites par le passage de l'eau, le sol est emporté, ce qui rend l'exploitation agricole des terrains difficile.

De plus les barrages sont responsables d'une régression de la distribution des poissons et constituent des entraves à leur libre circulation.

Diverses pollutions peuvent être occasionnées par la destruction d'usines et autres bâtiments industriels. Des accidents technologiques dus à l'implantation d'entreprises

dans la vallée (déchets toxiques, explosions par réaction avec l'eau, etc.) peuvent avoir lieu suite au passage de l'onde.



Figure I.6: Dégâts dus à la rupture d'un barrage au Brésil¹⁵

Conclusion

En somme, le barrage est une barrière construite sur une rivière pour stocker l'eau et élever son niveau. Il se compose de plusieurs types et a plusieurs utilisations telles que l'irrigation, la production d'électricité, etc., et malgré son développement au fil du temps, il est susceptible de rupture, pour diverses raisons, notamment structurelles et naturelles telles que les inondations, ce qui entraîne des pertes naturelles, matérielles et humaines.

¹⁵ <https://geo.fesec.be/phytoplankton-decrire-une-repartition-spatiale-en-annotant-une-carte-3-15/>

Chapitre 2

Risque de rupture des barrages

II. Risque de rupture des barrages

Introduction

Les ruptures de barrage sont des événements rares correspond à une destruction partielle ou total de la structure qui entraîne la formation d'une onde de submersion se traduisant par une élévation brutale du niveau de l'eau à l'aval, voire un gigantesque torrent.

II.1 Le risque de rupture des barrages

Le risque de rupture brusque et imprévue est aujourd'hui extrêmement faible. La situation de rupture pourrait plutôt venir de l'évolution plus ou moins rapide d'une dégradation de l'ouvrage. Une rupture progressive laisserait le temps de mettre en place les procédures d'alerte et de secours des populations.

En revanche, une rupture partielle ou totale brusque produirait une onde de submersion très destructrice dont les caractéristiques (hauteur, vitesse, horaire de passage...) ont été étudiées en tout point de la vallée.

Les facteurs menaçant l'ouvrage sont:

- les accidents géologiques dont le poids de l'eau retenue en est parfois la cause (ex. : glissements de terrain),
- la perturbation du fonctionnement de la rivière (crues moins fréquentes surprenant les riverains),
- la libération potentielle de la quantité d'eau retenue.

II.2 Mécanismes de rupture des barrages

II.2.1 Rupture instantanée ou graduelle

La rupture d'un barrage est rarement instantanée. Que cela soit pour un barrage en béton ou bien en remblai, il y a eu généralement la formation d'une brèche dans le barrage, qui s'agrandit progressivement. La libération de l'eau se fait donc de façon graduelle. Ce processus de formation de brèche dans un barrage ou une digue a fait

l'objet de plusieurs études pour en étudier la dynamique. Cela reste un processus complexe et en général, on fait l'hypothèse que le volume d'eau est lâché instantanément (c-à-d effacement du barrage).

Cette hypothèse va dans le sens de la sécurité, mais peut induire à majorer le risque hydraulique induit par l'onde de crue, en particulier pour les barrages en remblai (qui sont majoritaires) ; pour des barrages en remblai, on observe que la largeur de la brèche est généralement située dans la fourche $hb \leq L \leq 3hb$, où hb est la hauteur du barrage. Pour ces barrages, le temps nécessaire à former une brèche varie de façon considérable (de quelques minutes à quelques heures) selon le matériau et la cause de la rupture.

Les spécialistes recommandent de procéder pour le scénario de rupture :

- Pour les barrages-voûtes et barrage-poids : rupture totale et instantanée de tout le barrage ;
- Pour les digues : formation d'une brèche de forme trapézoïdale de base égale deux fois la hauteur d'eau et avec une pente de talus de 1:1 (en veillant que la surface ne soit pas plus grande que la digue elle-même) ;
- Pour les barrages mobiles : rupture totale ou partielle en fonction du type de construction.

II.2.2 Rupture par renard

Les ruptures consécutives à une érosion interne (effet renard) sont peu fréquentes. La rupture par effet renard est fréquente lorsque les matériaux constitutifs du barrage ont pour propriétés d'être (a) perméables ou (b) fortement érodables.

Les barrages naturels sont constitués de matériaux hétérogènes ayant été peu compactés en comparaison aux barrages de construction. De ce fait, ces barrages sont souvent poreux, non imperméabilisés et non drainés. Il y a donc présence d'écoulements internes. Ces écoulements peuvent entraîner de l'érosion interne, qui peut aboutir à une rupture par renard.

Des suintements sont souvent observés à la base de nombreux barrages. Mais ces suintements sont rarement assez importants pour provoquer un « renard ».

L'érosion interne peut aussi provoquer un affaissement partiel du barrage, suivi du débordement, de la formation d'une brèche et de la rupture (rupture par surverse). Il y a peu d'exemple de rupture par renard car celle-ci arrive rarement. En 1966, rupture de l'éboulement ayant entraîné la formation du lac Yashinkul sur la rivière Isfayramsay (Centre sud de l'ex URSS) et en 1906 rupture de l'éboulement sur le cache creek (Californie).

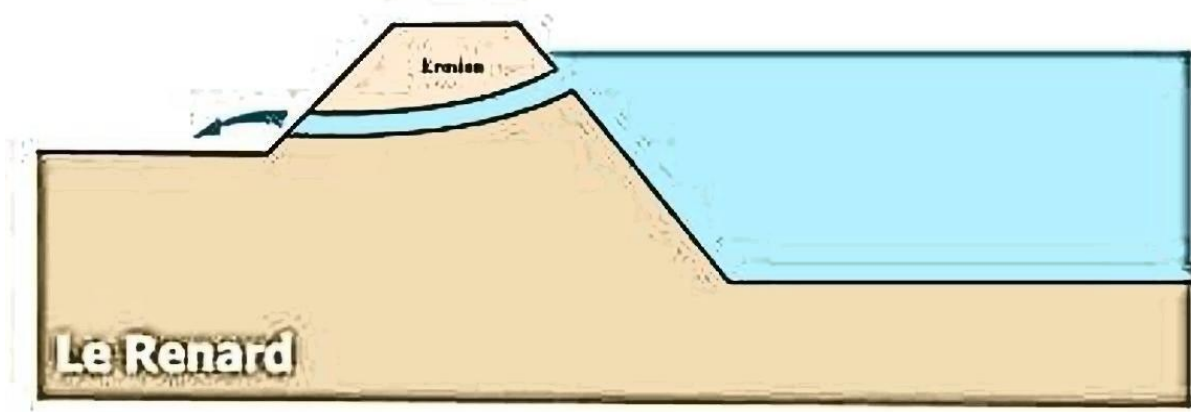


Figure II.1: Rupture par renard

II.2.3 Rupture par glissement

Il existe peu de cas de rupture par glissement des pentes du barrage. Ceci est dû au fait que naturellement les pentes du barrage se sont formées à un état d'équilibre naturel. Les glissements sont observés dans les cas où les pentes du barrage s'avèrent trop raides. Les masses éboulées avec leurs pentes relativement douces sont souvent peu vulnérables au glissement. Un seul cas de glissement semble avoir été identifié, celui du Cerro Condor-Sencca au Pérou sur la rivière Mantaro, bien qu'il soit possible que la rupture fût due à un effet renard.

II.2.4 Rupture par surverse

La surverse est la principale cause de rupture de barrages naturels. Elle représente 92 à 95 % des cas de rupture observés. S'il n'y a pas d'infiltration d'eau dans le barrage, le barrage se remplit jusqu'au déversement. Il y a alors apparition d'un écoulement, sur le parement aval de la masse éboulée. L'écoulement emporte progressivement les matériaux constituant le barrage pour aboutir par érosion régressive à la formation d'une brèche. Une fois la brèche formée, la rupture du barrage et la vidange de la retenue peuvent alors être très rapides. La brèche due à la surverse se forme localement

au point le plus bas ou le plus faible de la crête du barrage, puis se développe jusqu'au point bas du barrage, avant de s'élargir jusqu'à une situation d'équilibre (qui n'atteint pas la largeur totale du barrage).

Il est rare que la brèche descende jusqu'au niveau d'origine du cours d'eau car la présence de matériaux grossiers au sein de l'éboulement limite l'incision.

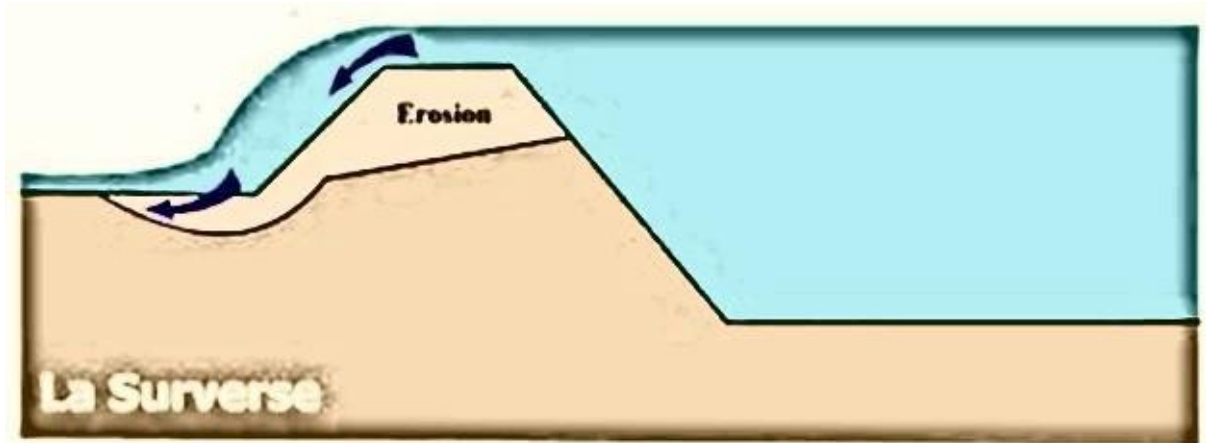


Figure II.2: Rupture par surverse

II.2.5 Rupture de petit barrage d'accumulation

Au cours du XXe d'un grand nombre de barrages ont été équipées pour la production d'électricité. Plus récemment, des petits barrages ont été construits pour la production de neige de culture dans les stations de ski et, dans une moindre mesure, pour assurer l'approvisionnement en eau potable lors des pics de fréquentation touristique. Au cours des prochaines années un accroissement considérable du nombre de petites retenues est prévue et une augmentation du volume de stockage. Les petites retenues peuvent connaître des accidents plus ou moins graves. En 2004-2005, deux ouvrages ont connu une rupture lors de leur mise en eau en France, entraînant une ruine partielle ou totale.

Les ouvrages d'accumulation sont pourtant placés dans un milieu naturel hostile et donc exposés à des contraintes sévères (cycle gel/dégel, vieillissement des bétons, géomembranes, etc.) ainsi qu'à des dangers naturels (mouvement de terrain, avalanche, chute de blocs, etc.). Comme ils sont assez souvent construits l'amont d'enjeux significatifs (typiquement une station de ski), leur rupture peut éventuellement causer des dommages sévères.

II.3 Objectifs de l'analyse des ruptures de barrage

Le mode et le rythme de rupture d'un barrage peuvent avoir une incidence sur le moment de la rupture, le rythme et l'ampleur des eaux de crue libérées et la taille de la brèche elle-même. Par conséquent, la rupture affecte l'analyse du risque d'inondation et peut changer la façon dont les événements d'inondation peuvent être gérés.

Les résultats de l'analyse des brèches dans les barrages sont généralement utilisés pour développer une carte d'inondation qui peut avoir une variété d'utilisations :

- Planification de l'utilisation de l'eau,
- Planification des actions d'urgence,
- Planification des mesures d'atténuation et évaluation des conséquences.

II.4 Classification du risque

II.4.1 Barrage à haut risque

Un barrage à haut risque est un barrage pour lequel on s'attend à ce que la rupture du barrage entraîne la perte de vies humaines. Les sites récréatifs désignés situés en aval dans les limites de l'inondation possible doivent également être évalués pour la perte potentielle de vies humaines. Il est important de noter que le potentiel de perte d'une seule vie humaine est suffisant pour classer un barrage comme étant à haut risque.

II.4.2 Barrage à risque significatif

Un barrage à risque significatif est un barrage pour lequel on s'attend à ce que des dommages significatifs se produisent, mais aucune perte de vie humaine n'est prévue en cas de défaillance du barrage. Les dommages significatifs sont définis comme des dommages aux structures où les gens vivent, travaillent ou se détendent, ou aux installations publiques ou privées. Les dommages importants sont ceux qui sont suffisants pour rendre les structures ou les installations inhabitables ou inopérantes.

II.4.3 Barrage à faible risque

Un barrage à faible risque est un barrage pour lequel on ne s'attend pas à ce qu'il y ait des pertes de vies humaines et à ce que des dommages importants aux structures et aux installations publiques, tels que définis pour un barrage à risque significatif, ne soient pas prévus.

II.4.4 Barrage sans danger public

Un barrage sans danger pour le public est un barrage pour lequel aucune perte de vie humaine n'est attendue, et dont la rupture n'entraînera que des dommages aux biens du propriétaire du barrage.

II.5 Approche de l'analyse des ruptures de barrage

Deux approches sont couramment utilisées pour l'analyse des ruptures de barrage.

II.5.1 Approche basée sur les événements

Une approche basée sur les événements est une méthode déterministe. Elle utilise un événement spécifique ou une série d'événements spécifiques de précipitation et de non-précipitation pour l'évaluation de la défaillance d'un barrage et la cartographie de l'inondation en aval. Les événements de non-précipitation et de précipitation sont également appelés événements non hydrologiques (beau temps/jour ensoleillé) et hydrologiques (jour de pluie), respectivement. Les événements non hydrologiques décrivent une situation où la rupture du barrage se produit de manière inattendue en raison de l'effondrement du corps du barrage, de la tuyauterie ou de la perte de stabilité. Plusieurs événements non hydrologiques et hydrologiques sont évalués dans une analyse de rupture typique.

II.5.2 Approche basée sur les conséquences

Une approche basée sur le risque pour la conception et l'évaluation de la sécurité des barrages a été développée pour prendre en compte les conséquences en aval d'une éventuelle rupture de barrage. L'évaluation des conséquences n'est pas basée sur la probabilité de défaillance, mais plutôt sur la perte potentielle de vie ou l'augmentation des pertes économiques causées par une défaillance potentielle du barrage.

II.6 Carte des inondations dues à la rupture d'un barrage

La carte d'inondation en cas de rupture de barrage est une carte décrivant la zone en aval d'un barrage qui pourrait raisonnablement être inondée en cas de rupture. La cartographie d'inondation du profil de la surface de l'eau résultant de la rupture d'un barrage est utilisée pour une évaluation préliminaire du risque d'inondation et sert à fournir des informations pour la préparation aux situations d'urgence. La zone

d'inondation due à la rupture d'un barrage est définie comme la zone en aval d'un barrage qui serait inondée ou autrement directement affectée par la rupture d'un barrage.

En général, les cartes d'inondation en cas de rupture de barrage sont des cartes produites pour montrer les zones géographiques qui pourraient être inondées en cas de rupture de barrage. Ces cartes indiquent la profondeur ou le niveau de l'eau et, le cas échéant, les temps d'arrivée de l'inondation et les vitesses d'écoulement.

Bien que de nombreux organismes de réglementation de la sécurité des barrages aient produit des directives importantes sur la modélisation des ruptures de barrages, ils n'ont que des directives limitées pour développer des cartes d'inondation reflétant les incidents de rupture de barrage. Lorsque des lignes directrices sont disponibles, elles sont incohérentes quant à la manière dont une rupture de barrage est modélisée et dont les résultats sont représentés sur une carte.

II.6.1 Utilisations de la cartographie des inondations

Les cartes d'inondation peuvent être utilisées de diverses manières, notamment pour les plans d'action d'urgence, les plans d'atténuation et les interventions d'urgence et l'évaluation des conséquences.

II.6.1.1 Plans d'action d'urgence

Le plan d'action d'urgence est un document formel qui identifie les conditions d'urgence potentielles d'un barrage et spécifie les actions préplanifiées à suivre par le propriétaire du barrage en coordination avec les autorités de gestion des urgences pour minimiser les dommages matériels et les pertes de vie. Il comprend généralement des cartes d'inondation pour aider les autorités de gestion des urgences à identifier les infrastructures critiques et les sites de population à risque qui peuvent nécessiter des mesures de protection et un plan d'alerte et d'évacuation. Ces cartes étant destinées à être utilisées en cas d'urgence, il est essentiel qu'elles soient facilement reproductibles sans perte d'informations essentielles.

II.6.1.2 Réponse d'urgence

L'intervention d'urgence comprend les mesures prises immédiatement après un incident pour sauver et maintenir des vies, répondre aux besoins humains

fondamentaux, réduire les pertes matérielles et les effets sur les infrastructures critiques et l'environnement. Les actions peuvent inclure l'alerte et l'évacuation de la population à risque. Étant donné la brièveté des délais d'alerte généralement rencontrés lors de ruptures et d'incidents de barrages, les plans d'évacuation d'urgence des barrages doivent être élaborés avant qu'un incident ne se produise. Il est recommandé que les plans soient basés sur le scénario le plus pessimiste et traitent des éléments suivants, y compris l'identification des rôles et des responsabilités pour toutes les actions :

- Identification des installations critiques et mise à l'abri.
- Lancement des systèmes d'alerte d'urgence (qui est responsable et quelle est la méthode)
- Procédures d'évaluation spécifiques, y compris les considérations relatives au temps de parcours de l'onde de crue (par exemple, l'évacuation des populations ayant des besoins spéciaux et la levée des ordres d'évacuation)
- Distance et itinéraires vers les hauteurs
- Mesures de contrôle du trafic et voies de circulation
- Effet potentiel des conditions météorologiques ou des lâchers de barrage sur les itinéraires d'évacuation (par exemple, déterminer si certaines parties de l'itinéraire d'évacuation peuvent être inondées avant que l'incident du barrage ne se produise).
- Évacuation verticale / mise à l'abri sur place
- Transport d'urgence
- Mesures de sûreté et de sécurité pour le périmètre du barrage et les zones affectées
- Retour dans les zones affectées

II.6.1.3 Planification de l'atténuation des risques

L'atténuation est un effort proactif visant à réduire les pertes de vies humaines et de biens en atténuant l'effet des catastrophes. Pour ce faire, on identifie les dangers potentiels et les risques qu'ils représentent dans une zone donnée, on identifie les alternatives d'atténuation pour réduire les risques et on analyse les risques des alternatives d'atténuation. Le résultat est la sélection de mesures proactives, à la fois structurelles et non structurelles, qui réduiront les pertes économiques et les pertes de vie potentielles lorsqu'elles seront mises en œuvre. Dans le cas des ruptures et des incidents de barrage, la planification de l'atténuation des risques implique

l'identification de la population à risque et l'identification des actions pour réduire la vulnérabilité.

Les planificateurs de l'atténuation des risques ont besoin de données numériques qui définissent la rupture du barrage. Les informations nécessaires comprennent les limites de la zone d'inondation de la brèche, la profondeur de l'inondation, la vitesse et le moment de l'inondation.

II.6.1.4 Évaluation des conséquences d'une rupture de barrage

L'évaluation des conséquences d'une rupture de barrage comprend l'identification et la quantification des conséquences potentielles d'une rupture de barrage ou d'un incident. Alors que la planification de l'atténuation des risques se concentre sur des projets spécifiques pour réduire les risques d'inondation, l'évaluation des conséquences se concentre sur les impacts économiques et sociaux d'une catastrophe potentielle et sur les actions organisationnelles et gouvernementales nécessaires à la suite d'une rupture de barrage pour répondre et se rétablir. Les données compilées pour une évaluation des conséquences peuvent également être utilisées dans les évaluations des risques. L'évaluation des conséquences nécessite les mêmes données de base que celles utilisées dans la planification de l'atténuation des risques, auxquelles s'ajoutent des données relatives à la communication du risque aux élus communautaires et au public. Les produits cartographiques avancés qui permettent une visualisation de pointe sont essentiels pour communiquer sur les dangers et les conséquences d'une rupture potentielle de barrage.

Conclusion

Les barrages sont une infrastructure critique qui sert généralement dans le but principal de retenir l'eau. En contrepartie de ces multiples aspects positifs, les barrages constituent un potentiel de destruction énorme. Les dernières statistiques montrent que le taux de rupture des barrages de tout type diminue, en effet ceci peut être expliqué par les progrès accomplis en matière de conceptions et de surveillance des barrages sans oublier la grande expérience tirée des ruptures antérieures. Toutefois, il est faux de croire qu'avec ces progrès, les civilisations sont à l'abri d'éventuelles ruptures et que la surveillance des barrages est une pratique dépassée et superflue. Il est important par conséquent d'être prêt à réagir face aux conséquences de ces événements très rares.

Chapitre 3

Rupture de barrage Fergoug, Mohammadia

III. Rupture de barrage Fergoug, Mohammadia

Introduction

Dans ce chapitre nous montrons l'effet d'inondations générées suite aux ruptures des barrages sur les habitants et sur les biens avec des exemples de ruptures de barrage Fergoug à Mohammadia (Mascara).

III.1 Aperçu sur le barrage

Le sous-bassin-versant de l'oued Fergoug se situe dans les monts de Béni Chougrane. Il couvre une superficie de 122km², et il fait partie du bassin versant de la Macta (Tableau 1). Le barrage est implanté en aval de l'oued Fergoug, de l'oued Tharzout et de l'oued Guettar, en amont d'un élargissement de la vallée.

La région de Mohammadia a été inondée à plusieurs reprises dans le passé. Sa situation dans une zone de confluent de plusieurs oueds la rend vulnérable aux crues. Ces dernières ont frappé la région avec parfois de fortes intensités. Les causes ont été différentes d'un cas à un autre, dont les dégâts ont atteint quelques fois le degré d'une catastrophe.

Tableau 2: Caractéristiques du barrage Fergoug

Date de construction	1865
Année d'achèvement	1871
Type de barrage	Barrage poids
Hauteur (au-dessus du talweg)	35m
Hauteur à partir de fondation	43m
Largeur maximum de fondation	33m
Capacité de la cuvette	30m
Débit de crue	400-500 m ³ /s
La hauteur de barrage	32

III.2 Historique du barrage Fergoug

III.2.1 Construction du barrage

Le barrage a été construit au nord-ouest de l'agglomération dans la plaine de l'Habra. Pour dompter d'une part les eaux torrentielles des oueds et d'autres parts irriguer les terres fertiles de la plaine (Fig. III.1). L'ancien ouvrage, construit de 1865 à 1871, était un barrage-poids en maçonnerie hydraulique de 316m de long, flanqué en rive droite d'un mur de 30m, et en rive gauche d'un déversoir de 125m de long.



Imagery ©2021 CNES / Airbus, Landsat / Copernicus, Maxar Technologies, Map data ©2021 500 m



Figure III.1: Localisation de barrage Fergoug
(a) Localisation du barrage; (b) Vue aérienne du barrage (source : archive)

III.2.2 La première rupture du barrage en 10 mars 1872

Le 10 mars 1872, la construction du barrage était à peine achevée. Toutefois, la crue dont le débit de 700m^3 a provoqué la rupture du barrage. Une brèche de 55m de longueur sur une hauteur de 12mètres a été engendrée et plus de 200000m^3 de déblais ont été entraînés. Cet accident est dû à l'insuffisance des fondations du déversoir. Le barrage a été reconstruit sous forme d'un mur unique (Fig III.2), profilé pour éviter les affouillements, et basé sur de solides fondations après remplissage des excavations découvertes dans le rocher (Sardou 2016).



Figure III.2: Vue sur le barrage Fergoug (1875)

III.2.3 La deuxième rupture du barrage en 15 décembre 1881

Le 15 décembre 1881, à la suite de fortes pluies, le barrage fut à nouveau rompu (Fig III.3). A cinq heures de matin, le barrage a cédé sous la poussée de $30.000.000\text{m}^3$ d'eau, causant une crue de $850\text{m}^3/\text{s}$ et emportant 125mètres du barrage sur la rive droite (Bouhlali 2006). Les pertes en vies humaines ont atteint 250 victimes. Nombreuses maisons détruites et 8km des rails de la voie ferrée ont été enlevés ainsi que la destruction des ponts.

La cause fondamentale de la rupture a été la mauvaise qualité de la maçonnerie et la faible résistance des fondations de la rive droite; la structure du terrain comportait des bancs alternés de grès et d'argile ayant un fort pendage vers l'aval et traversés de failles, ce qui a permis d'expliquer des glissements dans le sol d'appui; les ingénieurs n'ont pas pris la précaution d'ancrer les maçonneries assises sur les bancs de grès (DTPCFM 1928).

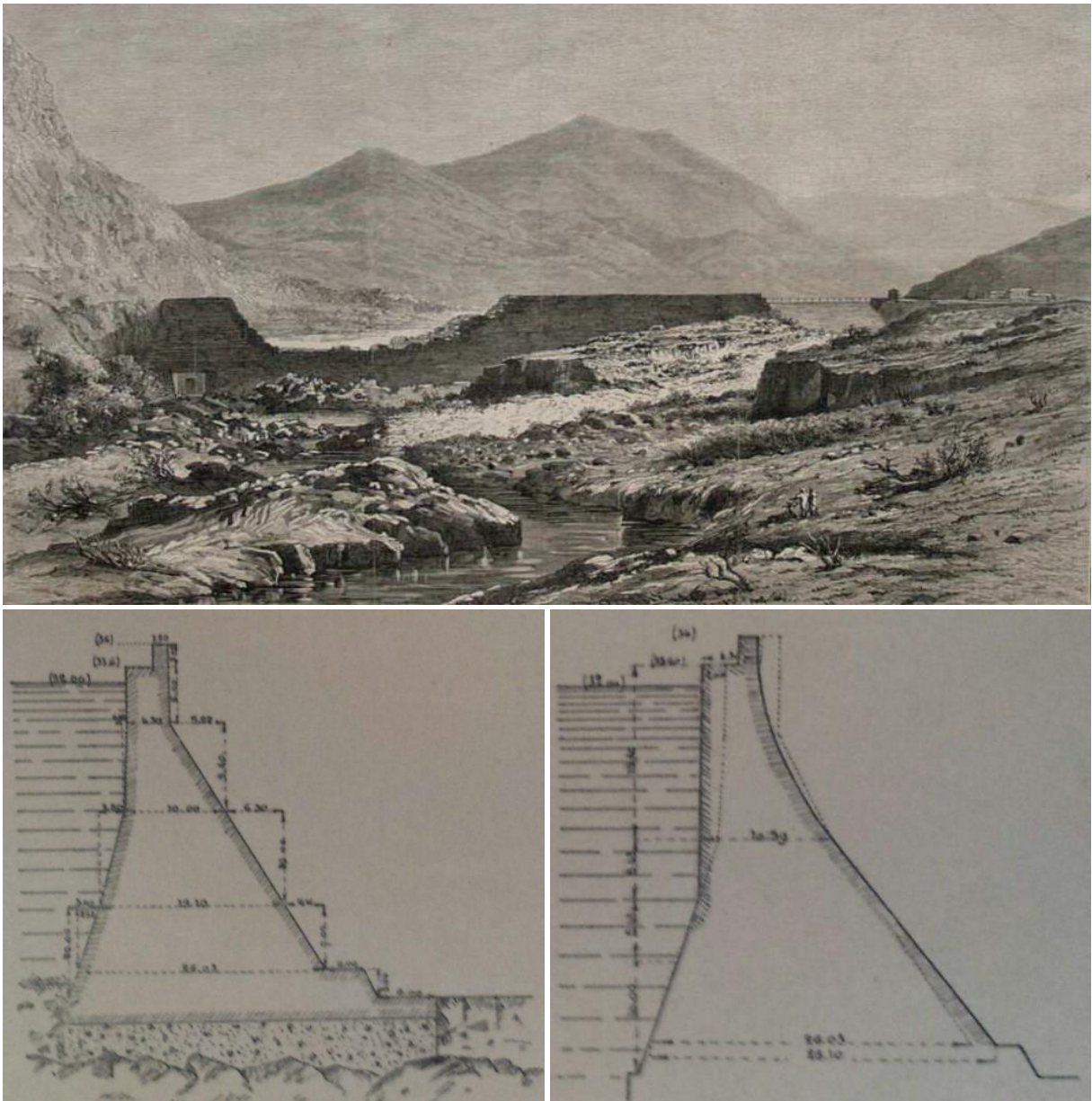


Figure III.3: Etat du barrage de l'oued Fergoug après la crue du décembre 1881
(a) croquis de l'état du barrage après sa rupture, (b) un profil-type du barrage avant sa rupture, (c) un profil de la partie reconstruite après la rupture (Source : www.delcampe.net; DTPCFM 1928).

III.3 La rupture du barrage en novembre 1927

III.3.1 Etat du barrage avant la rupture

D'après la notice publiée par les services des Ponts et Chaussées de 1875, l'affaiblissement des mortiers dû à une action prolongée des eaux, où l'infiltration, n'avait pas été sans inquiéter l'administration qui avait approuvé un projet comportant l'exécution d'injections de ciment à partir du parement amont pour apprécier

l'importance des vides existant dans l'ouvrage et pour les boucher éventuellement. Ensuite, la pose d'un enduit sur ce parement pour empêcher les infiltrations de continuer.

Le soulagement dû à l'amoncellement de vase était d'autant plus sensible que celle-ci était plus sèche. L'été de 1927 a été excessivement chaud, le plan d'eau du réservoir n'a pas dépassé la cote 20 et depuis le mois d'octobre, il a été maintenu aux environs de la cote 8. Durant l'automne le fond de la cuvette aux abords du barrage était desséché et les maçonneries de la tranche supérieure du barrage avaient perdu une grande partie de leur eau d'imbibition. Les mortiers étaient revenus plus poreux à la suite des infiltrations qui les avaient altérés et que les pierres de grès employées à la maçonnerie étaient considérées comme notablement poreuses. Il est indiqué dans la notice que dans la zone amont de l'ouvrage exposée au sud, la diminution du poids unitaire des maçonneries et par conséquent de la stabilité de l'ouvrage a pu être fragilisée (fig III.4).

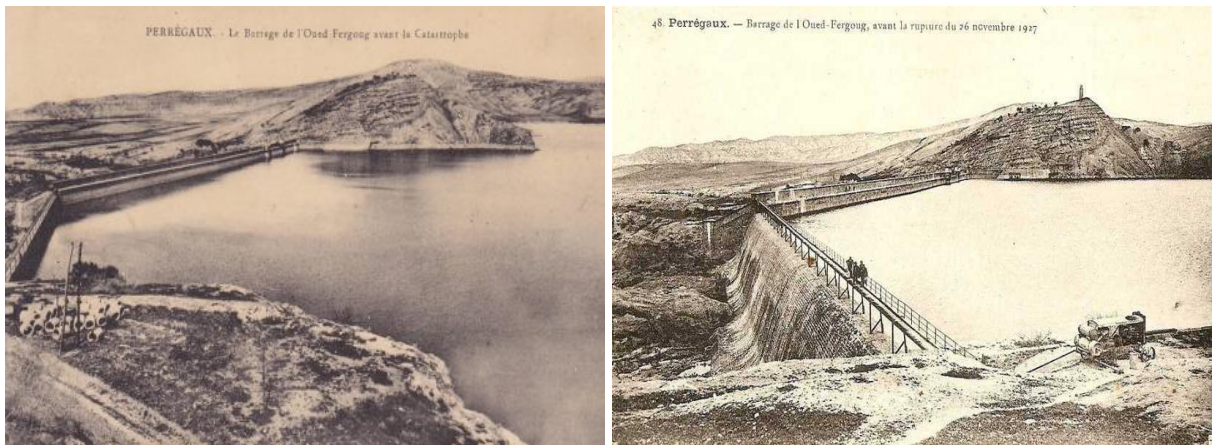


Figure III.4: L'état du barrage Fergoug avant sa rupture en 1927

III.3.2 Survenance de la crue

Les courbes de la crue pendant les journées des 25 et 26 novembre accusent sa violence exceptionnelle traduisant pour le barrage par une ascension extrêmement rapide et anormale du plan d'eau de la cote 8 à la cote 32 (crête du déversoir). La rupture s'est produite le 26 novembre à 11h, 20 minutes, où le plan d'eau atteignait dans le réservoir au droit du barrage environ la cote 35,85 (Tableau 3).

D'après les constatations des témoins; la stabilité du barrage au moment où s'est produite la rupture était amoindrie parce qu'en même temps que la charge verticale

résultant du poids de maçonneries supérieures était réduite, la poussée horizontale était augmentée du fait de la quantité de vase en suspension. Ainsi, la brèche s'est amorcée dans la zone voisine de l'évacuateur de gauche et qu'elle s'est ensuite étendue de part et d'autre dans un temps très court. La crue a atteint 2.300m³/s avec pointe de plus de 5.000m³/s a entaillé une brèche de 155m.

Tableau 3: Heure et cote du plan d'eau du barrage pendant la crue de 1927

Journées	Heure	Cote du plan d'eau	Observations
25/11/1927	13 h	8 m	
	16 h	12 m	
	20h 30	20,3 m	
26/11/1927	0 h	32 m	(1)
	6 h	32,6 m	1) Le déversoir commence à fonctionner.
	7 h	34,1 m	
	9 h	34,8 m	
	10 h	35 m	2) Le barrage se rompt.
11 h 20	35,85 m	(2)	

III.3.3 Causes de la rupture du barrage

Selon les calculs, le mortier étant incapable de résister, ce qui a créé une fissure longitudinale; dès que celle-ci s'est ouverte, l'eau y a pénétré et exercé une sous-pression, en diminuant la stabilité de la partie supérieure du barrage. Le travail augmentant en même temps en aval a bientôt dépassé la limite de résistance des maçonneries et la tranche supérieure détachée a été renversée vers l'aval et emportée.

Le barrage de l'oued Fergoug a été victime d'un concours imprévisible de circonstances défavorables. Les calculs de stabilité établis pour la charge maximum d'eau (considérée a cet époque comme admissible) montrent que les conceptions anciennes de l'ouvrage, n'offrait pas les garanties que comportent les théories nouvelles sur les barrages poids et que procurent désormais les formes qu'on leur donne, les moyens qu'on emploie pour les construire et les précautions qu'on prend lors de leur établissement pour les conserver, notamment pour les protéger contre les infiltrations.

III.3.4 Les dégâts engendrés après la rupture

Mohammadia a été la plus endommagée suite à la rupture du barrage. Les eaux parcourant la distance de neuf kilomètres qui sépare le barrage de la ville ont complètement inondé le site. Le débit de la crue était $1000.000\text{m}^3/\text{s}$, et une vague de 3m est passée au-dessus du déversoir. La hauteur de l'eau a atteint 2,5m à la gare et 1,5m au centre de la ville. Tous les immeubles ont été endommagés et 6km de voie ferrée ont été enlevés (fig III.5).



Figure III.5: Dommages causés suite à la rupture du barrage Fergoug en 1927 (a) et (b) les ateliers des chemins de fer après la catastrophe, (c) une locomotive renversée par les eaux, (d) les dégâts au niveau de la gare, (e) les dégâts au niveau des fermes, (f) un pont détruit sur la ligne du chemin de fer (Source: photos d'archives).

III.3.5 Endommagement du barrage après la rupture

Des profils ont été dressés à travers la brèche existante et ont été rapprochés de ceux qui sont relatifs à la brèche de 1881. Il est déduit que dans la zone de l'évacuateur de gauche où s'est amorcée la brèche, la ligne de rupture de 1927 est un peu en dessous, mais très voisine, de celle de 1881. D'après les rapports des ingénieurs des Ponts et Chaussées, la brisure suivant une section transversale présente la même forme qu'en 1881; elle est sensiblement horizontale ou légèrement ascendante jusqu'à une certaine distance du parement amont et elle plonge ensuite vers l'aval avec une inclinaison croissante qui va jusqu'à atteindre, par endroit celle du parement aval. Il résulte des différentes constatations que dans la zone où s'est amorcée la rupture, les mortiers étaient notablement affaiblis (Fig III.6).

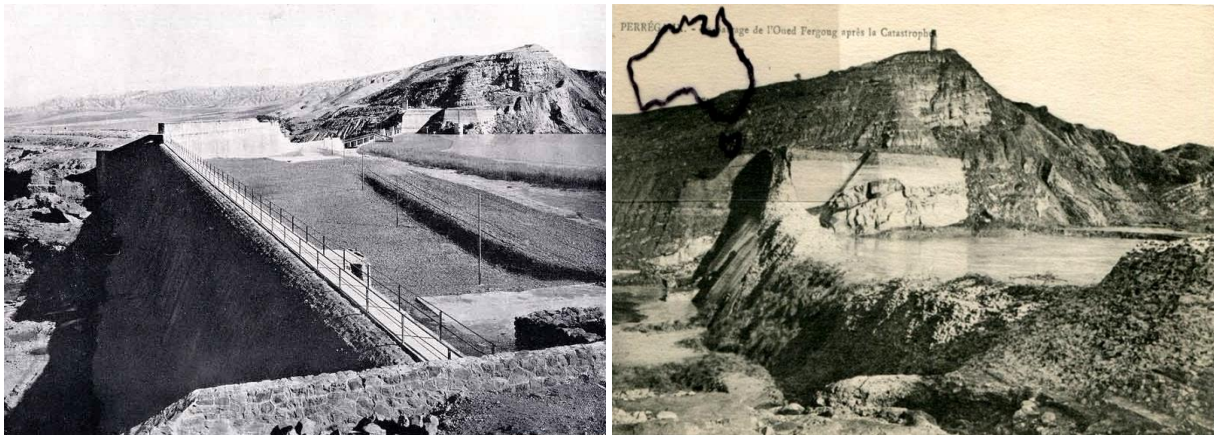


Figure III.6: Endommagement du barrage après sa rupture (1927)

III.3.6 Etat actuel du barrage

Le barrage n'était pas encore au point à l'indépendance. Il a été reconstruit au cours des années 1966 à 1970. Depuis la modification de son profil, le barrage avait une capacité de stockage de 17hm^3 en 1970. A cause du phénomène d'envasement, sa capacité a chuté à $9,67\text{hm}^3$ en 1977 (avec un taux annuel d'envasement de 1hm^3). Le barrage a passé d'une capacité initiale de 18hm^3 à $100,50\text{hm}^3$ en 1986 (avec volume régularisé de 93hm^3 et un apport moyen annuel de 15hm^3). Entre 1984 et 1986, plus de 10hm^3 ont été récupérés après une première opération de dragage. En 2005, une deuxième opération de dragage est lancée. Actuellement, il atteint un taux d'envasement estimé à 95%, avec pour conséquences des volumes importants d'eaux pluviales qui se perdent dans la nature (Fig III.7).



Figure III.7: Etat actuel du barrage de Fergoug

Conclusion

Les inondations de novembre 1927 à Mohammadia peuvent être considérées comme un événement de référence en Algérie. Il est lié à une pluviométrie abondante durant une semaine, et d'autres facteurs humains ont aggravé la situation. A Mohammadia, le barrage de Fergoug a connu une seconde rupture entraînant des pertes et des victimes.

Les effets des inondations dues à la rupture du barrage de Fergoug reflètent la nécessité de l'amélioration de la connaissance et l'information sur les ruptures des barrages pour adopter des stratégies efficaces de gestion de ce risque.

Chapitre 4

Prévention et moyens de secours

IV. Prévention et moyens de secours

Introduction

La priorité de la stratégie de prévention du risque de rupture de barrage est de maîtriser le risque à la source. A cet effet, des mesures d'organisation des secours, d'alerte et d'information des populations sont mises en œuvre afin de limiter au maximum les conséquences d'un accident.

IV.1 La maîtrise du risque à la source

L'estimation de la date de survenance d'une rupture de barrage étant impossible, la prévision d'un tel phénomène est réduite à l'estimation de ses caractéristiques (intensité, localisation) synthétisées sur la carte du risque (MEDD 2004).

IV.1.1 Moyens de prévention

IV.1.1.1 L'examen préventif du barrage

Lorsque l'ouvrage a une hauteur importante, le comité technique des barrages doit obligatoirement donner son avis sur les points suivants :

- Choix du site et du type d'ouvrage ;
- Etude hydrologique déterminant la crue de projet ;
- Etude et traitement des fondations ;
- Conception des structures ;
- Condition d'exécution, choix du directeur de travaux ;
- Programme de mise en eau de l'ouvrage ;
- Etude de l'onde de rupture du barrage.

Pour les plus grands barrages, un plan particulier d'intervention est réalisé conjointement entre l'État et l'exploitant, en complément des mesures déjà citées.

IV.1.1.2 La surveillance constante de l'ouvrage

Pour prévenir toute dégradation, et a fortiori toute rupture, il faut exercer une surveillance constante de l'ouvrage (MEDD 2004).

L'inspection et la surveillance des barrages intéressant la sécurité publique, dont font partie tous les grands barrages.

Lors de la mise en eau de l'ouvrage, période essentielle de la vie de l'ouvrage qui permet de déceler d'éventuelles anomalies, une surveillance continue et complète du corps de l'ouvrage est obligatoire.

Lors de l'exploitation en service normal de l'ouvrage, des examens visuels réguliers sont prévus, ainsi que des mesures plus ou moins espacées, selon que des anomalies sont constatées ou non.

IV.1.1.3 La gestion active

Pour la sécurité de l'ouvrage des *lâchures de barrage* (ou lâchers d'eau) peuvent être réalisées : il s'agit d'évacuations contrôlées d'une fraction d'eau de la retenue. Ces lâchures sont réalisés lors des crues ou des intempéries importantes afin d'empêcher la cote de la retenue d'atteindre son niveau critique ou lorsque l'ouvrage présente des signes de faiblesse. Dans ce dernier cas, le niveau de l'eau dans la retenue doit diminuer afin de réduire les contraintes exercées sur l'ouvrage. Néanmoins ce scénario est extrêmement rare et les lâchers d'eau interviennent essentiellement comme régulation pendant l'exploitation normale de l'ouvrage (MEDD 2004).

IV.1.2 La maîtrise de l'urbanisation

Face au risque rupture de barrage, la seule mesure d'urbanisme applicable pourrait être l'interdiction de construire au sein des zones les plus menacées. Néanmoins, celles-ci couvrent de si grandes surfaces, qu'une telle mesure serait disproportionnée par rapport à la probabilité d'occurrence du risque (MEDD 2004).

IV.1.3 La planification des secours

IV.1.3.1 Le plan ORSEC

Il est institué une planification des secours dénommée plan ORSEC et une planification des interventions particulières. Ces plans peuvent se combiner lorsqu'il s'agit d'une catastrophe nationale¹⁶ :

- Plans ORSEC nationaux,
- Plans ORSEC inter-wilaya,
- Plans ORSEC de wilaya,
- Plans ORSEC de commune,
- Plans ORSEC de sites sensibles.

Les plans ORSEC doivent dégager les priorités suivantes :

- Le sauvetage et le secours des personnes,
- La mise en place des sites d'hébergement provisoires sécurisés,
- La gestion rationnelle des aides,
- La sécurité et la santé des sinistrés et de leurs biens,
- L'alimentation en eau potable,
- La mise en place de l'alimentation en énergie.

Les plans ORSEC sont organisés selon les phases suivantes :

- La phase d'urgence ou phase « rouge »,
- La phase d'évaluation et de contrôle,
- La phase de réhabilitation et/ou de reconstruction.

IV.1.3.2 Les plans particuliers d'intervention

Ils ont pour objet, pour chaque aléa ou pour chaque Risque Majeur particulier identifié d'analyser les risques, de mettre en œuvre les mesures particulières nécessaires et d'informer le citoyen sur les mesures prises.

¹⁶ Intervention possible de l'A.N.P dans les limites des règles fixées par la loi 91/23 du 6 décembre 1991.

IV.1.4 L'information préventive de la population

Dans les communes concernées par un ouvrage faisant l'objet d'un plan particulier d'intervention, une campagne d'information doit être réalisée. Son objectif est de faire connaître les risques et les consignes de sécurité spécifiques.

IV.1.5 Les consignes d'alerte aux populations

IV.1.5.1 Le signal d'alerte lié aux ouvrages hydrauliques

Il comporte un cycle d'une durée minimum de deux minutes diffusé par un réseau de sirènes type corne de brume, installées par le maître d'ouvrage.

IV.1.5.2 Les consignes

Un certain nombre de consignes générales à suivre « avant, pendant et après ». Elles sont complétées par des consignes spécifiques à chaque risque (tableau 4).

En matière de risque rupture de barrage, il est nécessaire de connaître le système d'alerte spécifique pour la zone de proximité immédiate, ainsi que les points hauts assurant un refuge (MEDD 2004).

IV.1.6 L'indemnisation des victimes et assurance catastrophes naturelles

En cas de survenance d'un accident industriel endommageant un grand nombre de biens immobiliers. Un fonds de garantie doit garantir l'indemnisation des dommages sans devoir attendre un éventuel jugement sur leur responsabilité.

En Algérie, la production de l'assurance contre les effets des catastrophes naturelles n'a toujours pas atteint son rythme normal enregistrant une relative progression des résultats depuis son instauration en 2003. Aussi, le taux de souscription à cette assurance reste encore faible en dépit de la menace permanente liée aux risques des aléas naturels. Ce type d'assurance rendue pourtant obligatoire, par l'ordonnance N° 03-12 du 26 août 2003 relative à l'obligation d'assurance des catastrophes naturelles et l'indemnisation des victimes n'a pas encore pris ancrage dans la culture assurantielle en Algérie¹⁷.

¹⁷ file:///C:/Users/toshiba/Downloads/RP_Sp%C3%A9ciale_Catastrophes_Naturelles_2012-2019.pdf

Tableau 4: Consignes générales à suivre

Consignes Générales	
Avant	<p>Prévoir les équipements minimums :</p> <ul style="list-style-type: none"> • radio portable avec piles ; • lampe de poche ; • eau potable ; • papiers personnels ; • médicaments urgents ; • couvertures ; • vêtements de rechange ; • matériel de confinement. <p>S'informer en mairie :</p> <ul style="list-style-type: none"> • des risques encourus ; • des consignes de sauvegarde ; • du signal d'alerte ; • des plans d'intervention (PPI). <p>Organiser :</p> <ul style="list-style-type: none"> • le groupe dont on est responsable ; • discuter en famille des mesures à prendre si une catastrophe survient (protection, évacuation, points de ralliement). <p>Simulations :</p> <ul style="list-style-type: none"> • y participer ou les suivre ; • en tirer les conséquences et enseignements.
Pendant	<p>Évacuer ou se confiner en fonction de la nature du risque.</p> <p>S'informer : écouter la radio. Les premières consignes seront données par France-Inter (1852 mGO soit 162 kHz ou 87.8 FM).</p> <p>Informer le groupe dont on est responsable.</p> <p>Maîtriser le comportement</p> <ul style="list-style-type: none"> • de soi et des autres ; • aider les personnes âgées et handicapées ; • ne pas téléphoner ; • ne pas fumer
Après	<p>S'informer : écouter et suivre les consignes données par la radio et les autorités.</p> <p>Informer les autorités de tout danger observé.</p> <p>Apporter une première aide aux voisins ; penser aux personnes âgées et handicapées.</p> <p>Se mettre à la disposition des secours.</p> <p>Évaluer :</p> <ul style="list-style-type: none"> • les dégâts ; • les points dangereux et s'en éloigner. <p>Ne pas téléphoner</p>

Conclusion

La surveillance des barrages est une activité essentielle qui doit être prise en compte dès la conception du projet et qui fait ensuite l'objet d'une rigueur exemplaire. Cette surveillance fait partie de l'exploitation quotidienne des installations, et repose en conséquence sur des acteurs proches du terrain pour les inspections visuelles et la collecte des mesures. Dans tous les cas, et quelle que soit la méthode adoptée, les personnels concernés profitent de l'analyse de risque inclus dans l'évaluation de sécurité pour mieux connaître le comportement des ouvrages, sentir leur évolution et mieux déceler leurs points faibles.

Conclusion générale

L'objectif de ce travail était de mettre en évidence le risque de rupture des barrages et ses conséquences. L'étude s'est basée sur une recherche bibliographique sur l'aléa rupture des barrages, ainsi que sur les différentes conséquences des accidents des barrages telles que la génération des ondes d'inondation. En outre, un constat a été fait sur la rupture des barrages en Algérie, avec une prise en compte de l'exemple du barrage de Fergoug, Mohammadia (Mascara), qui représente le cas le plus connu en Algérie.

Tout au long de l'histoire, la construction, l'exploitation et l'entretien des barrages et de leurs réservoirs ont apporté des avantages considérables à l'humanité. Le stockage de l'eau derrière les barrages permet de régler efficacement le débit naturel des cours d'eau, mais crée en même temps un nouveau danger en aval si le barrage cède.

La rupture de barrage reste un sujet de grande préoccupation pour les ingénieurs de la communauté des ingénieurs des barrages. Cette préoccupation découle des effets catastrophiques potentiels de l'onde de crue sur une vallée peuplée en aval du barrage. Les ingénieurs spécialisés ont amélioré leurs connaissances sur les mécanismes de rupture des barrages et sur la manière de les prévenir. Compte tenu des conséquences potentielles d'une rupture de barrage pour des tiers, beaucoup diraient que la sécurité ne doit pas être basée uniquement sur des considérations techniques, mais qu'elle doit prendre en compte le niveau de risque tolérable pour le grand public. Le rôle de la communauté des ingénieurs est de s'assurer que toutes les dispositions nécessaires sont en place pour atteindre ces normes de sécurité afin de protéger les personnes, les biens et l'environnement des effets néfastes d'une défaillance du barrage ou d'une exploitation inappropriée.

La compréhension des risques liés à la sécurité des barrages par le biais d'une évaluation complète des risques est un élément clé du développement d'un système de gestion de la sécurité des barrages, et un processus formel et organisé garantissant que les risques liés à la sécurité des barrages sont correctement gérés tout au long de leur cycle de vie et que tous les aspects de la gestion de la sécurité sont correctement intégrés et alignés sur la structure de gestion globale de l'organisation propriétaire du barrage.

Bibliographie

Bouhlali M (2006) Les risques associés aux barrages. Mémoire de magister, Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen, 174 p.

DTPCFM (Direction des Travaux Publics des Chemins de Fer et des Mines, Service Hydraulique) (1928), Rupture du barrage réservoir de l'oued Fergoug (26 Novembre 1927), Rapport de la commission technique chargée de déterminer les causes de la rupture, Alger, 19 p.

Ministère de L'Écologie et du Développement Durable (MEDD) (2004) Les ruptures de barrages, dossier d'information, 24 pages

Sardou M (2016) contribution a la cartographie du risque d'inondation en Algérie : cas de l'ouest algérien. Thèse de doctorat, université de Mostaganem, 143 p

Sites web

<https://berber.ahlamontada.com/t14429-topic>

<https://sites.google.com/site/scdgn deti/dams-throughout-the-ages>

<https://dimenc.gouv.nc/sites/default/files/documents/4-6-RisqueRuptureGrandsBarrages.pdf>

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00601051/document>

<https://www.gouvernement.fr/risques/rupture-de-barrage>

<https://eauterrefeuair.wordpress.com/2016/07/02/leruption-volcanique-risque-alea-et-vulnerabilite/>

<http://www.mementodumaire.net/risques-technologiques/rt-4-rupture-de-barrage/>

<https://www.aquaportail.com/definition-6024-barrage.html>

<https://www.pietrangeli.com/fr/fracerenza-barrage-en-terre-italie-europe>

<https://www.marefa.org/%D8%B3%D8%AF>

https://fr.wikipedia.org/wiki/Barrage_du_lac_de_PierrePerc%C3%A9#/media/Fichier:Barrage2011.jpg

https://fr.wikipedia.org/wiki/Barrage_en_remb lai

<https://www.encyclopedie-environnement.org/zoom/exemples-gestion-sediments/>

<https://www.planete-tp-plus.com/fr/spip.php?article128>

<https://geo.fesec.be/phytoplancton-decrire-une-repartition-spatiale-en-annotant-une-carte-3-15/>

www.delcampe.net

file:///C:/Users/toshiba/Downloads/RP_Sp%C3%A9ciale_Catastrophes_Naturelles_2012-2019.pdf