

Introduction Générale

De toute antiquité, l'homme, s'inspirant peut-être de la technique du castor pour la protection de ses cités lacustres, a dû constituer des barrages, soit pour l'arrosage, l'irrigation, (Bourgin A. 1955). Puis ses besoins se développant ; ajoutant aux précédents la régularisation des fleuves, la suppression des crues, l'atténuation des étiages, la navigation fluviale, sans compter les besoins en eau industrielle. Par conséquent, depuis moins d'un siècle ces barrages ont pris des dimensions considérables pour répondre à ces besoins spécifiques.

En outre, bien que petite, la possibilité de rupture d'un barrage existe. Au cours de l'histoire, plusieurs ouvrages importants se sont rompus partiellement ou totalement sous l'effet de crues exceptionnelles, de séismes, etc. Les conséquences de ces ruptures peuvent être catastrophiques, provoquant des centaines, voire des milliers de morts, les accidents les plus marquants des cinquante dernières années sont les suivants :

- Décembre 1959, barrage de Malpasset (Var, France) : le barrage-voûte barrant la rivière Reyran cède à cause d'un défaut géologique dans le massif où s'ancrait la voûte. Une vague de 40 mètres déferle sur la vallée et atteint la ville de Fréjus. Des blocs rocheux sont entraînés et détruisent le quartier de Malpasset. En tout, ce sont 423 victimes qui sont déplorées.

- Octobre 1963, barrage de Vajont (Italie) : La mise en eau de ce barrage voûte de 261 mètres de hauteur et 190 mètres de longueur a créé un désordre géologique qui a provoqué un glissement de terrain massif dans la retenue d'eau, provoquant une vague de 150 mètres de hauteur dans la vallée escarpée en aval et faisant environ 2000 victimes. Le volume d'eau est passé par-dessus l'ouvrage qui est resté intact.

- 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.

- Août 1979, barrage de Morvi (Inde) : Ce barrage en remblai de 25 mètres de hauteur a lui aussi 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.

La rupture du barrage Malpasset (1959) a incité les chercheurs à entreprendre des efforts considérables dans le domaine de la recherche sur la simulation de l'onde de rupture de barrage, en particulier avec les programmes européens : CADAM (2000) et IMPACT (2001), et les programmes Américains Dam Safety (1989) et FLOOD site (2004). Ces efforts ont été associés au développement de nombreux modèles numériques, et de quelques travaux de modélisation physique. (Paquier A. 2002), (Chanson H. 2006)

En Algérie, les accidentologies de rupture de barrages furent rares, seulement deux accidents de rupture ont été recensés et documentés ; la rupture à deux reprise du barrage Fergoug en 1881 et en 1927 à cause de l'insuffisance du déversoir. Bouhali, S., (2006) Une rareté qui reflète sur le nombre de travaux de recherches effectuées sur le calcul et la simulation de l'onde de rupture de barrage.

Parmi ces travaux on peut citer ceux de Djemili, L., (2010) qui a utilisé le modèle monodimensionnel HEC-RAS afin de simuler la rupture progressive du barrage Ain Dalia à Souk-Ahras et évaluer les dangers potentiels en Aval.

Mentionnons aussi les travaux de Salhi, L., (2010) qui a comparé les résultats obtenus par logiciel de simulation bidimensionnelle TELEMAC-2D et le logiciel unidimensionnel CASTOR, simulant la rupture du barrage Boukerdane à Tipasa. Il résulte une grande différence dans l'estimation des paramètres hydrodynamiques de l'onde de rupture calculés par les deux codes. Il précise que ces écarts sont dus à la discrétisation du domaine et la représentation de la bathymétrie de la vallée qui est faite de façon plus complète en mode bidimensionnelle, ce qui entraîne l'implication de phénomènes hydrodynamiques supplémentaires par rapport au mode unidimensionnel. Rahmani, K., (2011) a développé un code de calcul sous Fortran, basé sur la résolution des équations de continuité et conservation de quantité de mouvement par la méthode des différences finies, pour ensuite étudier l'effet de changement de pente du canal, le frottement et de la largeur et la forme du canal, sur les ondes qui se propagent vers l'aval. Boussekine, M., (2014) a également utilisé HEC-RAS pour évaluer l'impact de l'onde de rupture du barrage Hammam Grouz sur les constructions existantes en aval, un barrage poids en béton situé dans la wilaya de Mila actuellement victime d'importantes fuites et sous pressions en dessous du barrage.

Aujourd'hui, l'Algérie compte de plus de 64 barrages en service totalisant une capacité de 7.7 milliards de m³ et permettant de régulariser un volume annuel de 3.6 milliards de m³ utilisés pour l'Alimentation en eau potable, l'industrie et l'irrigation. Un grand nombre de ces barrages est vieillissant d'où la plupart sont touchés par de sérieux problèmes tels que l'envasement, les problèmes de fondation, les fuites incontrôlées.

Parmi ces barrages figure le barrage des Zardezas, d'une part l'aménagement est situé dans un contexte géologique difficile. La fondation du barrage est constituée de calcaires, poudingues et de grès d'assez médiocre qualité. La construction du barrage a été marquée par un important glissement de terrain en rive gauche qui a conduit à des modifications de projet. (ISL Ingénierie. 2006)

En d'autres parts, le barrage est victime d'un état critique d'envasement estimé à environ 25 m au-dessus du fond initial de l'oued. En 1990 les services concernés ont diminué le volume de l'eau claire de 9.10 m uniquement pour assurer la sécurité de l'ouvrage, bien évidemment, cela s'est fait au détriment de l'approvisionnement de la population de la ville de Skikda et du périmètre du Saf-Saf, Le volume régularisé qui était de 20.10^6 m³ s'est trouvé réduit à environ 10.10^6 m³. (Remini B. 2000)

Indépendamment du problème de la diminution de la capacité du réservoir, L'envasement pose celui de la stabilité de l'ouvrage: on sait que pour une variation linéaire de la hauteur de la vase, la poussée progresse au carré de la hauteur. La densité de la vase peut atteindre 1,6 (Remini B. 2000)

Face à cette situation, il est indispensable de réaliser la présente étude qui a pour objectifs :

En première étape :

- D'estimer les conséquences d'une éventuelle rupture du barrage des Zardezas dans la zone aval. Pour ce faire, deux modèles numériques unidimensionnels d'écoulement non permanent ont été employés, le modèle HEC-RAS développé par le Corps des ingénieurs armés des États-Unis et le modèle MIKE11 développé par l'institut d'hydraulique du Danemark (DHI) ;

- De comparer les résultats obtenus par ces deux modèles en déduisant les paramètres influant sur ces résultats.

- Dégager des recommandations sur le choix entre ces deux modèles numériques et sur les paramètres à introduire dans les simulations.

En deuxième étape, l'établissement des cartes de risques.

En troisième étape et en conséquence de la 1^{re} et la 2^e étape, établir un plan particulier d'intervention (PPI) intrinsèque au barrage en cas de catastrophe. L'objectif de ce plan est principalement d'expliquer au mieux le danger potentiel que le barrage constitue, d'évaluer les effets dans la zone aval en cas de rupture de barrage et de prévoir les démarches appropriées à entreprendre pour empêcher ou au moins diminuer les conséquences de tels incidents.

Pour aboutir aux objectifs visés, le mémoire se compose de sept chapitres précédés d'une introduction générale et suivis d'une conclusion générale, ordonnés de la manière suivante :

- Le premier chapitre, c'est une synthèse documentaire sur les accidents de rupture de barrages dans le monde leurs causes et conséquences.
- Le deuxième chapitre c'est une synthèse bibliographique dont laquelle on présente les principes généraux de modélisation de l'onde de rupture d'un barrage.
- Dans le troisième chapitre, nous présentons les deux modèles numériques HEC-RAS et MIKE 11 utilisés dans les simulations de rupture du barrage à l'étude ; le barrage des Zardezas.
- Le quatrième chapitre est consacré, à la présentation de la zone d'étude, une description détaillée du barrage des Zardézas est également effectuée.
- Le cinquième chapitre traite la modélisation du régime de crue dans le bassin versant de l'Oued Saf-Saf, et par conséquent la détermination des hydrogrammes des crues rares qui serviront de données d'entrée dans les modèles hydrauliques.
- Alors que le sixième chapitre est consacré à la comparaison et à l'interprétation des résultats obtenus par les deux modèles numériques HEC-RAS et MIKE 11.
- Enfin, dans le septième chapitre on s'intéresse à l'évaluation des inondations induites par la rupture du barrage des Zardezas et à l'élaboration d'un plan particulier d'intervention.

Chapitre 1 : Barrages, ruptures de barrages et conséquences

Introduction

Il existe près de 50 000 grands barrages dans le monde, utilisés pour recueillir de l'eau, l'irrigation, le contrôle des inondations, et l'approvisionnement en énergie. Pour une grande partie de la population, les barrages sont essentiels et contribuent au développement économique et à la satisfaction des besoins essentiels.

Comme tout ouvrage de génie civil, les barrages peuvent connaître des défaillances de sécurité. Au cours de l'histoire, de maints incidents se sont produits lors de la construction ou de l'exploitation de ces ouvrages. Certains de ces incidents ont fini même par la rupture du barrage, due à de différentes raisons. Ces incidents et ruptures de barrages se sont traduits par des conséquences de différente envergure, allant des conséquences mineures à celles catastrophiques (Marche C. 2008).

En Algérie, seulement deux accidents majeurs de rupture de barrage ont eu lieu "Fergoug en 1830 et en 1927 " causant la perte d'environ 250 personnes; cette rareté des accidents de rupture ne doit pas conduire à penser que le risque de rupture de barrage est négligeable. En fait c'est le résultat d'un aspect de surdimensionnement des ouvrages d'évacuations notamment les évacuateurs de crues. (Bouhali M. 2006), (Djemili L. 2010).

1. Les barrages

1.1. Définition

Selon le Larousse un barrage est un « *ouvrage artificiel coupant le lit d'un cours d'eau et servant soit à en assurer la régulation, soit à pourvoir à l'alimentation en eau des villes ou à l'irrigation des cultures, ou bien à produire de l'énergie* » et une digue est un « *ouvrage destiné à contenir les eaux, à élever leur niveau ou à guider leur cours.* »

Les deux termes barrage et de digue ne sont pas sans confusion; on emploie parfois le terme digue pour décrire un petit barrage réalisé en remblai. Les berges des canaux ou cours d'eau canalisés peuvent également constituer des digues. Si les barrages sont généralement implantés sur des cours d'eau, il existe également des ouvrages construits

pour stocker de l'eau de ruissellement d'un talweg en créant une « retenue collinaire » ainsi que des ouvrages situés hors d'un lit majeur, et se remplissant par pompage ou par dérivation d'un cours d'eau.

1.2. Les différents types de barrages

On distingue deux grandes familles de barrages selon les matériaux qui les composent :

- Les barrages rigides, en béton ou en maçonnerie
- Les barrages souples, en enrochement ou en terre.

1.2.1. Barrages rigides

Les barrages rigides en béton ou en maçonnerie se regroupent principalement en trois types:

• Barrage poids

Les barrages poids sont parmi les types les plus anciens et ils en existent un grand nombre dans les pays industrialisés, ces barrages résistent à la poussée de l'eau par leur propre poids et par leur forme trapézoïdale (figure 1.1), ils ont connu une certaine désaffection en raison de leur volume et de leur coût relatif, jusqu'au développement récent de la technique du béton compacté au rouleau (BCR) qui leur a donné une nouvelle jeunesse depuis 1980. (Carrère A. 2000)

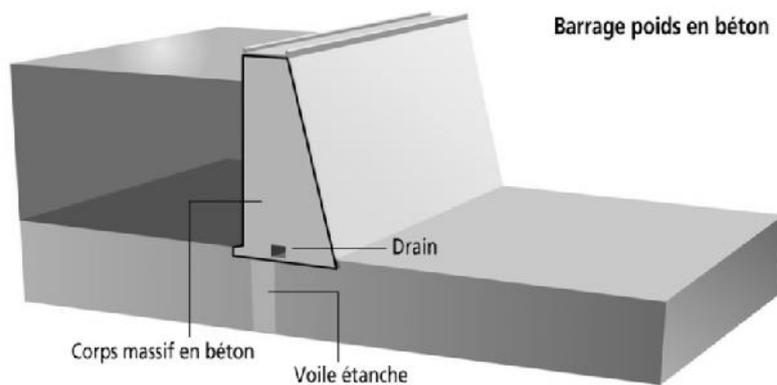


Figure 1.1. Barrage poids

• Barrage voûte

De forme arquée tournée vers l'amont (figure 2.1), le barrage voûte permet de reporter la pression de l'eau du réservoir sur les rives. Cela permet également de diminuer le volume de béton et d'utiliser au mieux ses capacités à supporter la compression.

De ce fait, c'est un barrage extrêmement sûr et la seule rupture connue (Malpasset, 1959) a été due non à la voûte elle-même, mais à la défaillance en profondeur d'une rive, dans des conditions de structure géologique, de pétrographie et de pressions interstitielles très particulières. (Carrère A. 2000)

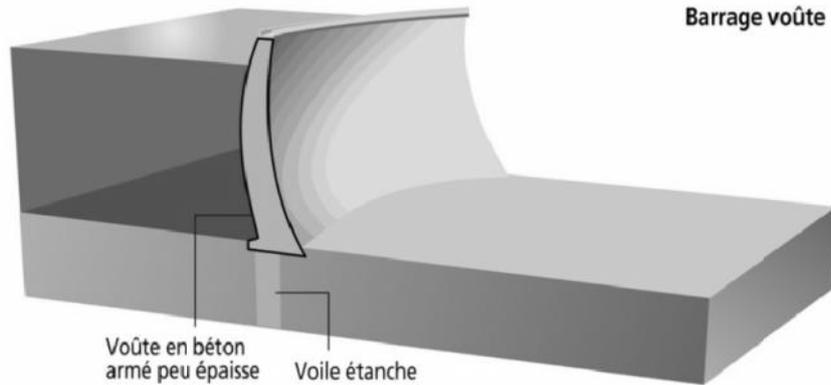


Figure 2. 1. Barrage voûte

• Barrage à contreforts

C'est un grand mur en béton qui s'appuie sur des contreforts en laissant des évidements, économisant ainsi du béton. Les contreforts, relativement minces, conduisent les efforts jusqu'aux fondations. (Carrère A. 2000)

Ce mode de construction se subdivise en sous-catégories; contreforts à têtes arrondies à masque amont, à voûtes multiples.

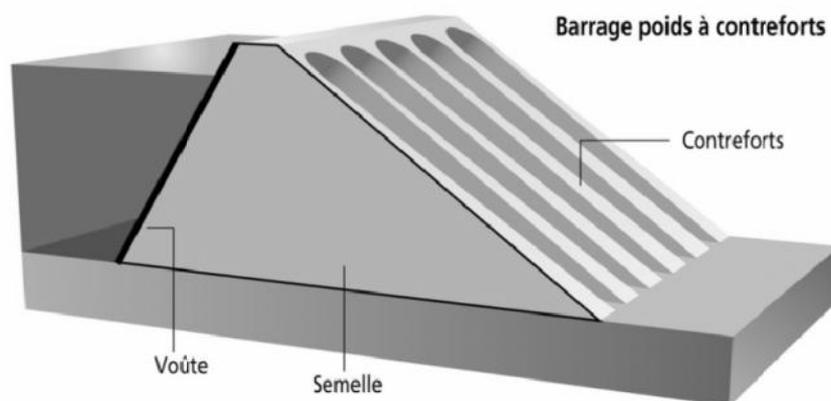


Figure 3. 1. Barrage à contreforts

1.2.2. Barrages souples

Il existe trois schémas principaux de structure de barrage souple:

- **Barrage homogène**

Le barrage en terre homogène est constitué d'un seul matériau meuble suffisamment imperméable pour assurer à la fois l'étanchéité et la résistance, la terre est généralement mise en place par compactage.

La structure de ces barrages est souvent complétée par un dispositif de drains dans sa partie aval et d'une protection mécanique contre l'érosion dans sa partie amont. (Djemili L. 2006)

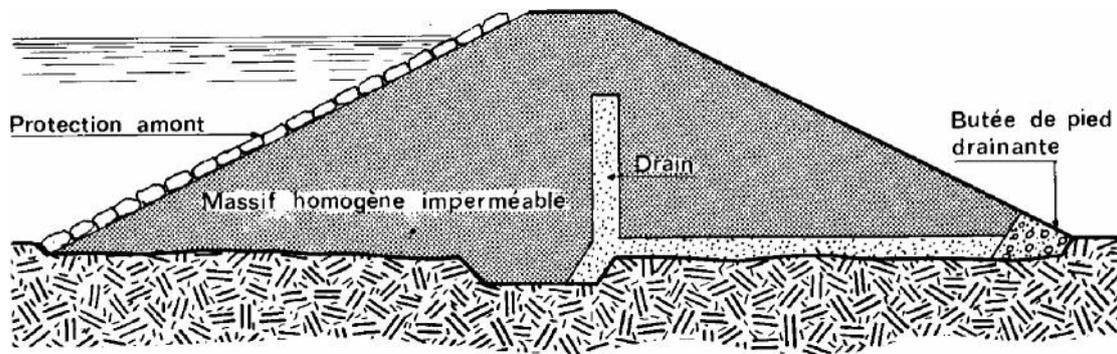


Figure 4. 1. Barrage homogène

- **Barrage à noyau étanche**

Souvent l'hétérogénéité des matériaux disponibles sur place ou leurs caractéristiques géotechniques ne permettent pas d'envisager une digue homogène étanche. Dans ce cas, une solution couramment adoptée consiste à concevoir un massif en plusieurs zones (figure 5.1), dont chacune est constituée d'un matériau différent suivant le rôle que doit jouer chaque zone. L'étanchéité est assurée par un noyau imperméable constitué de terres argileuses, d'argile, de terres caillouteuses ou tout autre matériau terreux comportant une forte proportion de matériaux fins lui conférant une faible perméabilité.

Cette technique permet de faire de grandes économies dans les volumes mis en oeuvre et d'utiliser au mieux les matériaux disponibles sur le site. (Djemili L. 2006)

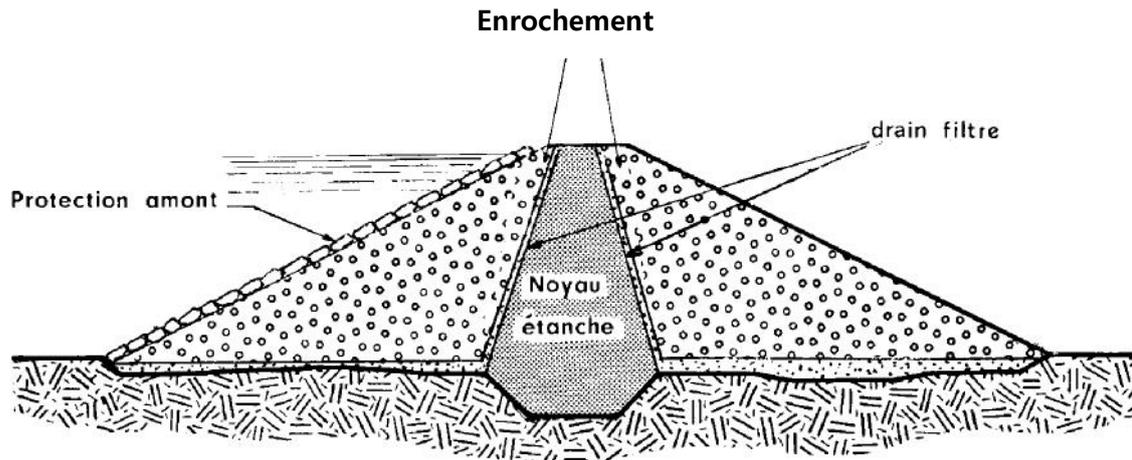


Figure 5. 1. Barrage à noyau étanche

• Barrage à masque amont

La réalisation d'une digue à noyau étanche peut présenter des difficultés telles que l'indisponibilité de matériaux conformes et la difficulté de mise en œuvre, cette technique devrait être alors comparée à celle d'une digue homogène à masque amont étanche.

Le masque amont (figure 6.1) est une paroi étanche posée sur le talus amont du barrage, il peut être de nature très différente: béton armé, matériel bitumineux, "bâche" et même tôle d'acier. Le corps du barrage assurant la stabilité peut être en matériau quelconque pour autant qu'il soit peu déformable. (Djemili L. 2006)

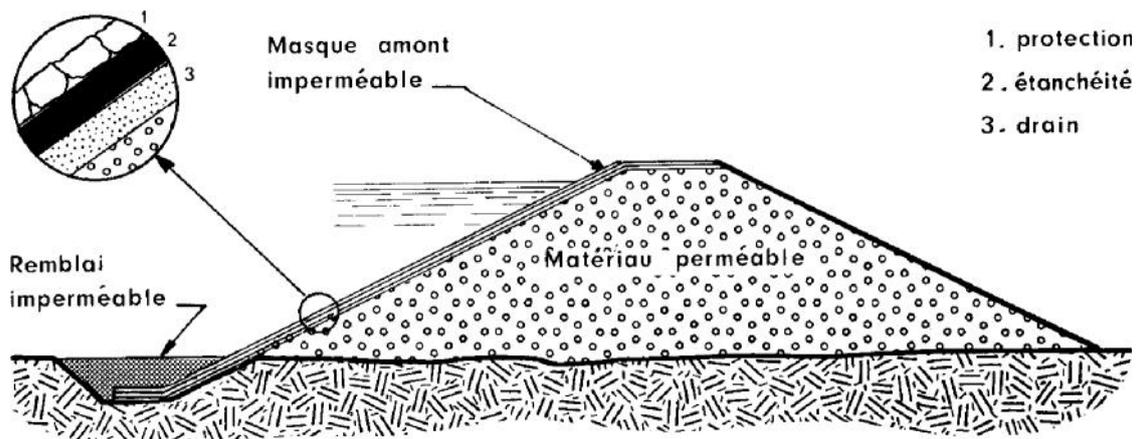


Figure 6. 1. Barrage à masque amont

1. 3. Rôle des barrages

A l'origine, les barrages furent construits afin de satisfaire des besoins assez précis: l'approvisionnement en eau et l'irrigation. Avec le développement des civilisations, les besoins furent plus importants et plus nombreux, ajoutant aux précédents la nécessité de contrôler les crues, la navigation, la qualité de l'eau, le contrôle des sédiments et la production de l'énergie. Par conséquent des barrages ont été construits pour répondre à ces besoins spécifiques.

Les barrages sont conçus dans un objectif bien précis, mais certains ouvrages peuvent être polyvalents en combinant plusieurs usages. D'après les dernières publications du Registre mondial des Grands Barrages, l'irrigation est de loin la raison la plus courante pour construire un barrage. Parmi les barrages à but unique, 48% sont pour l'irrigation, 17% pour l'hydro-électricité, 13% l'approvisionnement en eau, 10% le contrôle des crues, 5% pour les loisirs et moins de 1% pour la navigation et la pisciculture. (CIGB. 2007)

1. 3.1. L'irrigation:

Les terres irriguées couvrent aujourd'hui environ 277 millions d'hectares soit 18% des terres arables du monde, elles produisent 40% des récoltes et emploient 30% de la population dispersée dans les régions rurales. Du fait de l'importante croissance démographique pressentie pour les années à venir, l'irrigation doit être étendue afin d'augmenter la capacité de production. On estime que 80% de la production additionnelle de nourriture en 2025 viendra de terres irriguées. Même avec le développement qui ne cesse d'accroître des méthodes de conservation de l'eau et des techniques d'irrigation, la construction de réservoirs supplémentaires sera nécessaire. (CIGB. 2007)

1. 3. 2. Hydro-électricité:

Les usines de production d'énergie hydro-électrique produisent en général entre plusieurs centaines de kilowatts et plusieurs centaines de mégawatts, certaines usines immenses peuvent produire jusqu'à 10 000 mégawatts afin d'approvisionner en électricité plusieurs millions de personnes. La capacité mondiale combinée de ces usines est estimée à 675 000 mégawatts, elles fournissent 2,3 trillions de kilowatts d'électricité par heure et couvrant 24% des besoins en électricité mondiaux. (CIGB. 2007)

1. 3. 3. Distribution d'eau pour usages domestiques et industriels:

Il est important de signaler que la grande partie des précipitations retournent aux océans et qu'une grande proportion de celles qui tombe sur les terres s'écoule aussi jusqu'aux étendues salées. Au fait, seulement 2% des précipitations s'infiltrant et alimentent les nappes phréatiques. Les barrages planifiés, conçus, construits et entretenus convenablement pour stocker l'eau contribuent amplement à satisfaire nos besoins d'approvisionnement en eau pour usages domestiques et industriels. Pour ajuster les variations des cycles hydrologiques, les barrages et réservoirs sont indispensables pour emmagasiner l'eau et approvisionner avec régularité lors de pénurie. (CIGB. 2007)

1. 3. 4. Navigation fluviale

À cause des conditions naturelles, les rivières subissent des modifications de débit, niveau, formation de glace, du cours du lit dû à l'érosion et à l'envasement, cela cause des problèmes et obstacles pour la navigation fluviale. Le développement de cette activité résulte de l'aménagement accompli de bassins, barrages et réservoir qui sont régulés afin de réaliser des bénéfices économiques. De plus, ce système et les activités des loisirs en découlant réduisent l'érosion et stabilise le niveau des nappes phréatiques. (CIGB. 2007)

1. 3. 5. Contrôle des crues

Les barrages peuvent être utilisés pour réguler le niveau d'eau dans les rivières et réguler efficacement le débit déversé en stockant temporairement l'eau et en la relâchant plus tard. La méthode la plus efficace pour réguler le débit est la mise en œuvre d'un système intégré de gestion de l'eau qui contrôle le stockage et les relâches des principaux barrages d'un bassin fluvial. Chaque barrage est réglé selon un programme d'exploitation spécifique afin de contrôler les flux d'eau sans causer de dommage. À titre d'exemple, lors des saisons pluvieuses il faut baisser le niveau de la retenue pour faire plus de capacité d'accumulation. (CIGB. 2007)

2. Rupture de barrage

La rupture de barrage correspond à une destruction partielle ou totale de l'ouvrage, elle 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.

Bien que les ruptures de barrage soient des événements rares, on en a recensé 2000 depuis le 12^{ème} siècle. La figure 1.7 montre qu'au 20^{ème} siècle, il se produisait entre 10 et 40 ruptures de barrage chaque décennie. Les données les plus récentes indiquent que le nombre de ruptures de grands barrages tend vers 1,5 par année. Si l'on met en relation ces ruptures avec le nombre de barrages en service pendant la même période, on constate néanmoins un recul progressif du taux de rupture. (Marche C. 2008).

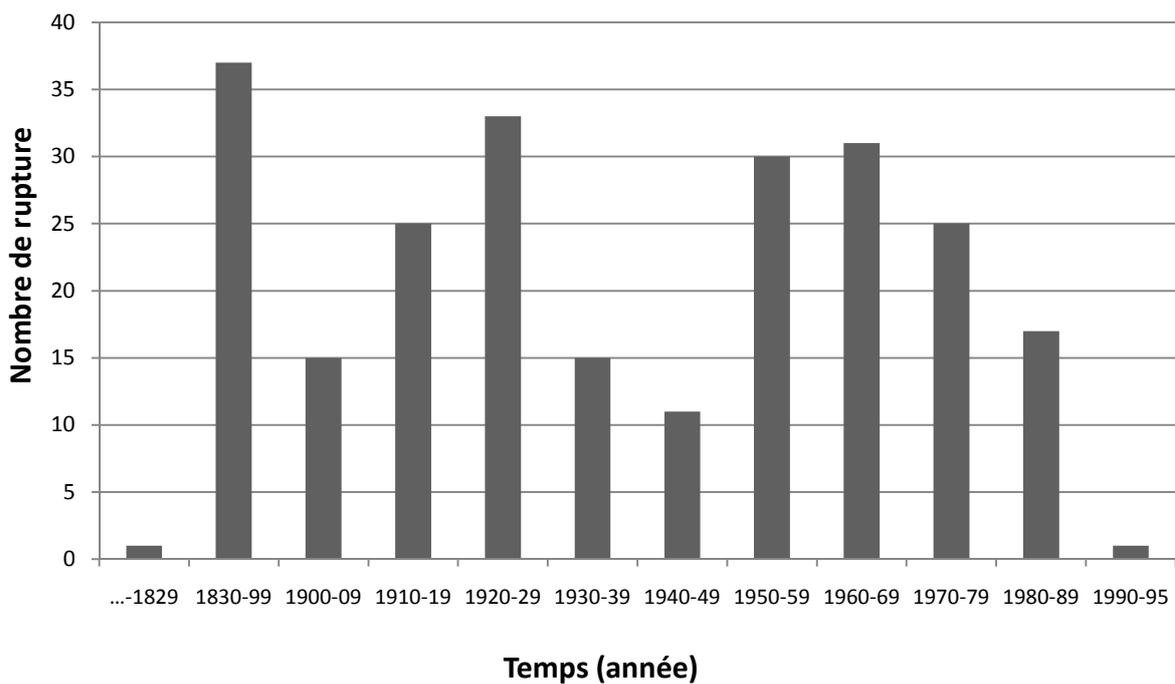


Figure 7. 1. Historique des ruptures de barrages

Le tableau 1.1 énumère les catastrophes les plus marquantes ayant eu lieu depuis le 19^{ème} siècle.

Barrage	Pays	Date de rupture	Hauteur du barrage (m)	Volume de la retenue (hm ³)	Nombre de victimes
Barrage en remblai, rupture durant la construction					
Panshet	Inde	1961	49	214	1 000
Sempor	Indonésie	1967	60	56	200
Barrage en remblai, rupture lors de la première mise en eau					
Dale Dyke	Grande-Bretagne	1864	29	3,2	230
Barrage en remblai, rupture en service					
Iruhaïke	Japon	1868	28	18	1200
Mill River	États-Unis	1874	13	<i>Inconnu</i>	140
South Fork	États-Unis	1889	21	18	2 200

Walnut Grove	États-Unis	1890	33	11	129
Hyogiri	Corée du Sud	1961	15	0,2	139
Nanak Sagar	Inde	1967	16	210	100
Machu	Inde	1979	26	101	2 000
Gotvan	Iran	1980	22	<i>Inconnu</i>	200
Kantale	Sri Lanka	1986	27	135	127
Barrage poids, rupture lors de la première mise en eau					
Puentes	Espagne	1802	69	13	600
Saint Francis	États-Unis	1928	62	47	450
Barrage poids, rupture en service					
Fergoug I	Algérie	1881	33	30	200
Tigra	Inde	1917	25	124	1 000
Malpasset	France	1959	60	49	423
Khadakwasla	Inde	1961	33	137	1 000
Barrage à contreforts et voûtes multiples					
Gleno	Italie	1923	35	5	600
Vega de Terra	Espagne	1959	33	7,3	140

Tableau 1.1. Pertes humaines et matérielles majeures aux 19^{ème} et 20^{ème} siècles

[source : www.hydrocoop.org].

En considérant l'ensemble des ruptures postérieures à 1800 dans le monde, quelle que soit la hauteur du barrage, on compte 144 ruptures dont :

- 71 sans victime ;
- 31 avec moins de 10 morts ;
- 17 avec 10 à 99 morts ;
- 25 avec 100 morts et plus.

2.1. Les causes de rupture

Les causes de rupture peuvent être diverses et souvent cumulatives :

2.1.1. Causes techniques

vices de conception ou de construction, mauvais vieillissement des matériaux et défaut d'entretien des installations, défaut de fonctionnement des vannes permettant l'évacuation des eaux, obstruction des dispositifs d'évacuation des crues (déversoirs ou vannes), absence de dispositif permettant de suivre le comportement de l'ouvrage. (Marche C. 2008). (Paquier A. 2002)

2.1.2. Causes naturelles

séismes, crues exceptionnelles, glissements de terrain au droit des appuis du barrage, glissements de terrain, écroulements ou avalanches dans la retenue provoquant, par élévation brusque du niveau des eaux, un déversement brutal sur la crête de l'ouvrage. (Marche C. 2008). (Paquier A. 2002)

2.1.2. Causes naturelles

insuffisance des études préalables et du contrôle d'exécution, compétence insuffisante des intervenants et dilution des responsabilités avec les services en charge du contrôle, erreurs d'exploitation, de surveillance et d'entretien, malveillance, conflit, absence d'actions des opérateurs suite à des signes précurseurs de dégradation, manques ou mauvaises interprétations du comportement de l'ouvrage. (Marche C. 2008). (Paquier A. 2002)

2.2. Ruptures barrage documentées

Quelques cas de ruptures relativement bien connus et documentés, qui ont eu lieu après 1900, seront maintenant présentés en détail. Il s'agit de cas très variés tant au niveau de la catégorie d'ouvrage que du type de ruptures. Ces accidents ou incidents, bien documentés ont fait l'objet de longues études et investigations, d'ailleurs certains d'entre eux ont permis d'améliorer considérablement les connaissances antérieures dans le domaine de sécurité de barrages.

2.2.1. Machhu II

Situé en Inde sur la cote Ouest de l'Etat du Gujarat, le barrage Machhu II consistait en une combinaison d'un barrage poids en maçonnerie et de digues en terre. Le barrage était d'une hauteur de 60 m pour une longueur de crête de 3905,0 m. Le volume total de son réservoir était estimé à 100 millions de mètres cubes. La rupture du barrage est survenue à 13h30 le 11 aout 1979 et fut considérée comme l'accident de ce genre le plus important à toucher l'Inde.

Les commissions d'enquête qui succédèrent l'accident attribuèrent la rupture au comportement du corps du barrage. Les causes principales et secondaires de la rupture sont:

- 1) Submersion de l'ouvrage ;
- 2) Pressions hydrostatiques et poussées des sédiments trop élevés.

Plus de 700 m de digue furent emportés par l'eau suite à de fortes crues. Durant les 24h précédant le désastre, un peu plus de 500 mm de pluie sont tombés sur cette région. Cette quantité équivaut à près de la moitié des précipitations annuelles que reçoit habituellement cette région. Le 10 aout vers les 21h00, les responsables du barrage de Machhu I, situe a environ 50 km à l'amont, formulèrent la demande d'une ouverture supérieure des vannes aux barragistes de Machhu II.

Les responsables de Machhu I préconisaient une augmentation de l'ouverture de 1,65 m de la position actuelle afin de parer le déversement de la crue qu'ils étaient eux-mêmes entrain d'effectuer. Lorsque les barragistes de Machhu II s'exécutèrent, 3 des 18 vannes sont restées bloquées suite à une panne électrique des dispositifs de levage.

Malgré les efforts manuels, les vannes refusèrent de s'ouvrir. Le niveau de la retenue s'éleva à 60 m alors que le niveau prévu en cas de crue est de 57,6m, ce qui provoqua la rupture. En dépit des efforts voués à l'alerte de la population, 1540 personnes n'ont pu être évacuées à temps et moururent lors de cet accident. L'onde de submersion engendrée par la rupture des digues latérales inonda 68 villages des régions de Morvi et de Malia pour un total de 12700 foyers détruits et quelque 6700 autres fortement endommagés. (Cote M. 2008)

2.2.2. Vajont

La rupture du barrage de Vajont au Nord-Est de Italie n'est pas une rupture réelle en soi puisque le barrage est encore intact. Le barrage été une voûte spectaculaire de 265 m la plus haute au monde à l'époque. (Marche C. 2008).

Dés la première année de la mise en eau en 1960, on a constaté l'écroulement d'une grande surface de la rive gauche du réservoir sur la face du mont Toc. Avant la catastrophe on savait qu'il s'agissait d'un glissement important. Toutefois ni son importance ni sa cinématique n'avaient été soupçonnées.

Le 9 octobre 1963 un glissement de terrain majeur a mobilisé 250 Mm³de terres et de roches dans la retenue. La vague engendrée a atteint une hauteur de 260 m au-dessus du niveau du réservoir (donc de 240 m au-dessus de la crête du barrage) avant de retomber dans la gorge de la Piave, détruisant six villages, dont le Longarone.

On évalue que l'accident a fait plus de 2000 morts en quelques minutes. (Marche C 2008). Le barrage lui-même supporta plusieurs fois sa charge nominale sans se rompre, seules quelques craquelures apparaissant au niveau des appuis.

Le problème posé par Vajont est avant tout celui de la gestion d'une catastrophe en évolution lente.

En 2002, le Festival des films du monde a présenté un film retraçant les péripéties de la construction et du remplissage du réservoir de Vajont jusqu'à l'accident. (Marche C. 2008).

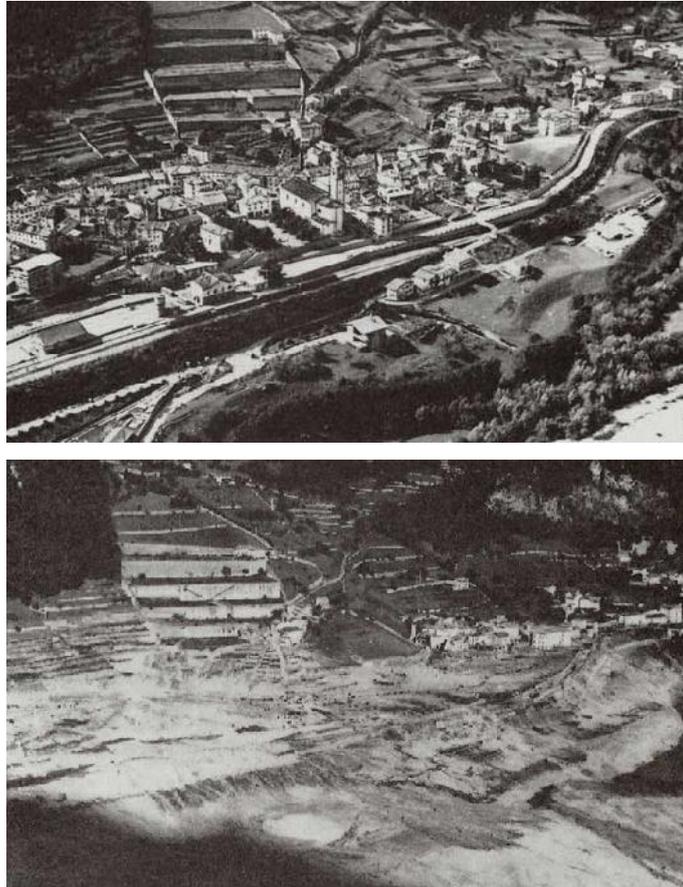


Figure 8. 1. Village de Longarone avant et après l'inondation

2.2.3. Teton

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 haut et 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 rhyolitique très fissuré et donc fortement perméable. Un rideau 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 profondeur remplie avec le matériau du noyau. Ce silt s'est révélé fortement érodable.

Aucune liaison n'était prévue entre les différents matériaux ni entre le silt et le rocher. (CEMAGREF. 1989)

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. (Marche C. 2008).

- 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 350 m 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. (CEMAGREF. 1989)



Figure 9. 1. Phases successives de la rupture du barrage Teton

2.2.4. Malpasset

Ce barrage était une voûte mince à double courbure de 66 m de haut construite sur le Reyran Rivière côtière proche de Fréjus (Var), formant un réservoir de $60.10^6 m^3$.

La fondation était un gneiss légèrement fissuré et altéré. Le barrage avait été construit en accord avec les règles de l'époque en particulier au niveau des taux de contraintes et de la résistance du béton. (CEMAGREF. 1989)

Le 2 décembre 1959, à 21 h 14, le barrage a littéralement explosé sous la pression et a provoqué la mort de 433 personnes en inondant les villages de Malpasset et de Bozon avant d'atteindre la ville côtière du Frejus 20 minutes plus tard pour finir sa course dans la mer Méditerranée.

Malpasset est la seule voûte accidentée en service normal ce qui n'a pas facilité les investigations. La première explication donnée a été le glissement le long d'une faille existant sous la rive gauche et apparaissant en surface à l'aval. L'explication a été complétée un peu plus tard par la" considération de pressions hydrauliques.

Sous la rive gauche, la poussée de l'arc pratiquement parallèle au feuilletage du gneiss n'a pu se dissiper dans l'appui : elle est restée concentrée jusqu'à la faille. La poussée s'accroissant le gneiss est devenu de plus en plus imperméable créant une sorte de barrage souterrain

supportant une pression hydraulique interstitielle au moins égale à celle du niveau du réservoir (et peut être supérieure compte tenu de la saturation du massif due aux pluies). Il en est résulté une poussée vers le haut qui a fait finalement sauter une partie de la fondation inférieure R.G. (CEMAGREF. 1989)

La fondation n'était pas drainée (aucun barrage voûte à l'époque n'avait de drainage), mais il n'est pas certain qu'un drainage eut évité l'accident.

Les propriétés particulières de perméabilité et de compressibilité du gneiss ont joué un rôle important dans cette catastrophe. Son étude a permis de mettre au point une méthode de calcul de stabilité d'un massif rocheux de fondation fissurée soumis à des pressions hydrostatiques. Les programmes de calcul actuels permettent d'intégrer cette circonstance et de tenir compte de modules d'élasticité très variables du rocher. (CEMAGREF. 1989)

L'accident de Malpasset est à l'origine en France de la mise en place des premières législations en matière de sécurité des barrages. Celles-ci imposaient pour la première fois aux propriétaires d'ouvrages la réalisation d'études de rupture de barrage. (Marche C. 2008).

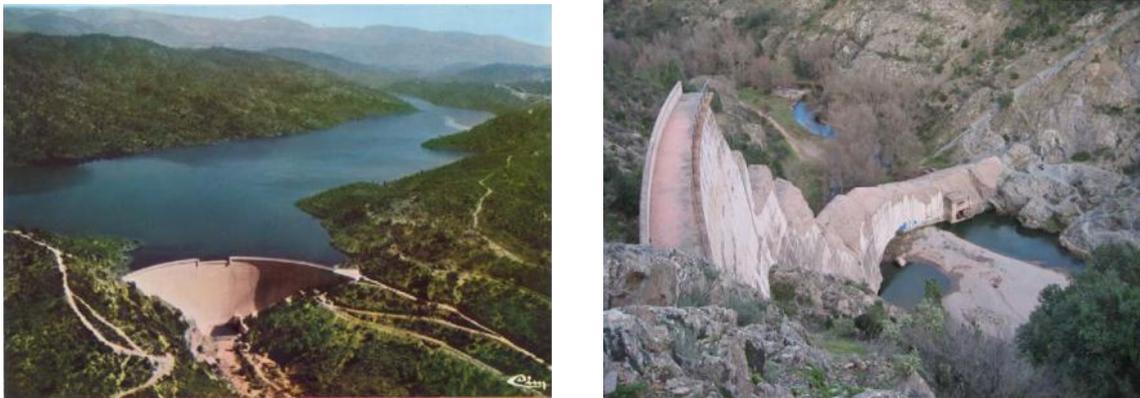


Figure 10. 1. Le barrage de Malpasset avant et après sa rupture



Figure 11. 1. La ville de Fréjus après la catastrophe

2.2.5. Shih-Kang

Le violent séisme Chi Chi, qui frappé le Taïwan le 21 septembre 1999 entraîna la rupture partielle du barrage mobile de Shih-Kang. La présence d'une faille active, sensiblement parallèle à la vallée et non détectée pendant les travaux, provoquera un rejet vertical de 3 à 4 m entre les pertuis vannés de la rive droite, mais sans lâchure catastrophique d'eau de la retenue. (Bouaicha A. 2013)



Figure 12. 1. Le barrage de Shih-Kang avant et après sa rupture

2.3. Le cas Algérien

En Algérie 2 ruptures de barrages sont répertoriées selon les recensements faits par la Commission International des Grands Barrages (CIGB). Il s'agit des deux accidents du barrage de l'Habra à Mascara ayant eu lieu durant la période coloniale en 1881 et en 1927.

Le barrage de l'Habra, sur l'oued Fergoug, est un ouvrage en maçonnerie, de hauteur 35 m au-dessus du terrain naturel. Achevé en 1871 et dimensionné pour une lame déversante de 1,60 m (500 m³/s). (Deroo L., Jimenez B. 2011)

Il subit successivement deux crues importantes : la première (1872, 700 m³/s) avec une lame de 2 m cause de « sérieux dégâts que l'on se contente de réparer », y compris une rupture partielle de l'évacuateur ; la seconde (1881, 850 m³/s) avec une lame de 2,25 m emporte la rive droite de l'ouvrage. 250 personnes furent noyées, ponts, et maisons emportés par les flots déchaînés. La reconstruction du barrage dura deux années, de 1883 à 1885, et coûta 1300000 fr. (Bouhali M. 2006)

Le barrage est reconstruit avec un profil type pratiquement identique. Il subit une crue en 1900 avec un niveau d'eau supérieur (par obstruction du déversoir), sans désordres. (Bouhali M. 2006)

Une nouvelle crue en 1927 cause une rupture complète du barrage. Cette rupture s'est également produite en crue, avec cette fois-ci réservoir initialement presque vide ; et une lame d'eau maximale de 3,85 m au-dessus du déversoir, niveau maximal jamais atteint au barrage. La brèche s'est amorcée au voisinage de l'évacuateur (rive gauche), dans les maçonneries, puis s'est propagée vers la rive droite.

Trois quarts d'heure après l'annonce de la rupture du barrage, les flots torrentiels déferlaient dans la ville de Perrégaux, emportant sur son passage le pont métallique du chemin de fer, les locomotives et les wagons. Les routes sont coupées, les vergers arrachés, les récoltes anéanties. Une cinquantaine de maisons n'ont pas résisté et se sont effondrées. Dans les rues, la hauteur des eaux boueuses atteint deux mètres. Grâce à l'appel téléphonique de l'ingénieur du barrage, mais aussi du fait que la catastrophe se soit déroulée de jour, il n'y eut pas de victime à Perrégaux. On dénombra cependant quelques noyés dans la plaine. (Deroo L., Jimenez B. 2011)



Figure 13. 1. Barrage de Fergoug, première rupture en 1881



Figure 14. 1. Barrage de Fergoug en 1907 après reconstruction

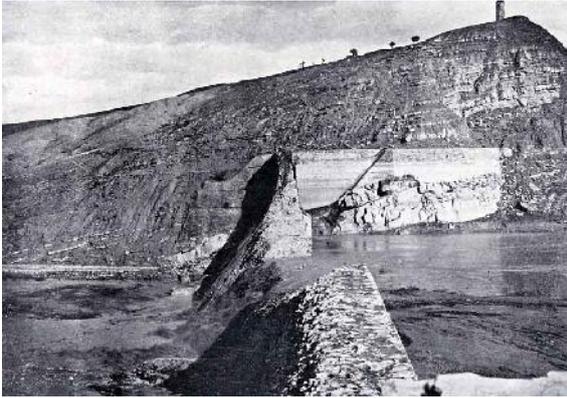


Figure 15.1. Le barrage de Fergoug après la catastrophe de 1927.

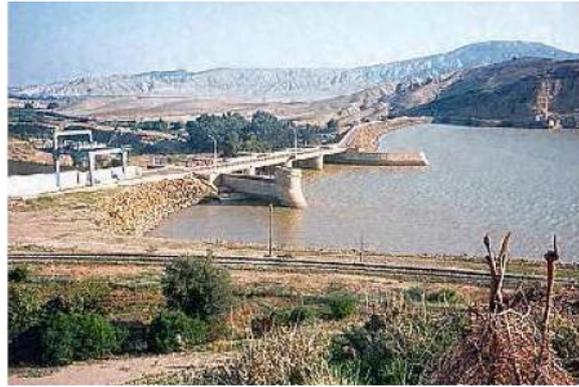


Figure 16. 1. Le barrage de Fergoug après reconstruction 1986.

Conclusion

Les barrages sont une infrastructure critique qui sert généralement dans le but principal de retenir l'eau. En outre, un barrage peut également être utilisé pour recueillir de l'eau, l'irrigation, le contrôle des inondations, et l'approvisionnement en énergie.

En contrepartie de ces multiples aspects positifs, les barrages constituent un potentiel de destruction énorme s'ils se rompent, on leur attribue plus de 8 000 pertes de vie depuis 1900, ainsi que des pertes économiques considérables et des destructions significatives.

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 persiste en effet un risque résiduel lié aux difficultés rencontrées quant à la caractérisation du milieu naturel. En effet, l'environnement accueillant l'ouvrage est parfois très variable ce qui le rend très difficile à caractériser, notamment en ce qui a trait à l'anticipation de son comportement à long terme.

Il est important par conséquent d'être prêt à réagir face aux conséquences de ces événements très rares. Un aspect particulier concerne les barrages qui ont à la fois une hauteur de plus de 20 m au-dessus du terrain naturel et une capacité de plus de 15 hm³, ces barrages doivent être dotés d'un plan particulier d'intervention (PPI). Ce plan prévoit les mesures qui

seront prises en cas de rupture réelle ou imminente du barrage pour protéger les personnes et les biens localisés en amont ou en aval du barrage ou atténuer les effets de ce sinistre. Le chapitre 7, explique cet objectif.