

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Ecole Nationale Polytechnique



Département d'hydraulique

*Mémoire de Fin d'Etudes
en Vue de l'Obtention du Diplôme d'Ingénieur d'Etat en
Hydraulique*

Intitulé

Fiabilité et Exploitation du Barrage de Béni-Amrane

Etudie par :

M^{lle} : N. TAOUCHE

Dirigé par :

M : Y. MOULOUDI

PROMOTION : 2006/2007

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

Ma très cher mère, pour ces sacrifices corps et âme pour m'offrir le repos et le bonheur. Pour son éducation qu'elle ma inculquée, pour son soutien moral et matériel dont j'ai bénéficié à chaque fois que j'en ai en besoin, pour l'amour, la patience et dévouement qu'elle ma insufflés, pour son énorme sacrifice, très chère mère je ne vous remercierai jamais assez pour vos actes.

Mes très chères sœurs Rachida, Nadia et Sabrina.

Mes très chers frères Mourad et Mouhamed et mon neveu Nazim pour leur humeur et sympathie.

Mon fiancé Boualem qui m'a énormément aidé pour l'élaboration de ce travail.

Toute ma famille et mes beaux parents.

Mes amies Samra, Assia et Soraya qui n'a malheureusement pas pu assister.

Sans oublier tous mes amis de la promotion de cinquième année 2006-2007.

Nassima

Remerciements

Tout d'abord je remercie le bon DIEU de m'avoir donnée le courage d'arriver à ce stade du savoir.

Je remercie de tout mon coeur ma mère qui ma soutenu et qui continuera à me soutenir dans tous les projets que j'entreprendrai.

Mes remerciements s'adressent aux membres du jury qui ont bien voulu juger ce travail.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude et ma reconnaissance à mon promoteur M : Y. Mouloudi, qui a dirigé ce travail, pour son soutien, sa patience, sa gentillesse tout le long de mon travail et à mon oncle M :T. Chikhim pour son aide précieux.

Je tiens à exprimer mes remerciements les plus sincères à mon fiancé Boualem pour ses efforts fournis afin de terminer ce travail.

J'exprime mes vifs remerciements à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à ma formation et à la réalisation de ce modeste travail.

Mes remerciements les plus sincères à tous les ingénieurs de l'Agence National des Barrages en particulier M : A. Guitarni et M : F. Yahiaoui pour leurs conseils, leurs critiques et leurs encouragements.

Enfin, tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin, que ce soit par leur amitié, leur conseils ou leurs soutien moral, trouveront dans ces quelque lignes l'expression de mes remerciements les plus vifs.

Résumé

ملخص:

تحقيق تغطية شاملة لمختلف احتياجات المياه يواجه عدة صعوبات تشغيلية ؛ خصوصا مع مشكلة توحد السدود و بالتالي نقص كمية المياه وهذا ما حدث في سد بني عمران, و هذا العمل المتواضع يعالج هذه المشكلة ويقدم الحل الأمثل بين مختلف الوسائل التقنية الموجودة. إن استعمال الروافع المنصهرة على مصب هذا السد يشكل حلا ملموسا ومثير, انه يجعل من الممكن تخزين كمية إضافية من المياه دون تغيير مستوى الحد الأعلى للمياه مع الإدارة الجيدة.

الكلمات المفتاحية: بني عمران, سد, الروافع المنصهرة, الطمي.

Résumé :

La satisfaction des besoins en eaux se heurte de plus en plus à des difficultés d'exploitation; en particulier au problème d'envasement donc perte de volume utile tel a été du barrage de Béni-Amrane.

Notre modeste travail traite ce type de phénomène au niveau de ce barrage et présente la solution optimale parmi les différents moyens techniques existant en préservant la sécurité à l'exploitation.

L'installation des hausses fusibles sur le déversoir de ce barrage constitue une solution appréciable et intéressante. Elle permet de stocker une quantité supplémentaire d'eau sans changement du niveau des plus hautes eaux avec une bonne gestion du transport solide et d'évacuation de crue.

Mots clés : envasement, barrage, Béni-Amrane, hausses fusibles.

Abstract:

The satisfaction of the requirements out of water encounters more and more operational difficulties; in particular with the problem of silting thus useful loss of volume such was dam of Beni-Amrane.

Our modest work treats this type of phenomenon with the level of this stopping and presents the optimal solution among the various technical means existing by preserving safety at the exploitation.

The installation of the fusible rises on the outfall of this stopping constitutes an appreciable and interesting solution. It makes it possible to store an additional quantity of water without change of the level of high waters with a good management of solid transport and of evacuation of rising.

Key words: Beni-Amrane, dams, fusegates, silting.

Table des matières

Introduction générale1

Chapitre I

Présentation du site

I- Introduction..... 3

II- Situation générale.....3

III- Principaux ouvrages de l'aménagement 5

IV- Données principales du système d'alimentation en eau

 Isser-Keddara-Boudouaou-Alger 5

V- Diagrammes des volumes et des superficies de la retenue de Béni-Amrane 16

VI- Débits d'apport à la retenue de Béni-Amrane..... 17

VII- Structure géologique du site du barrage 20

Chapitre II

Critères de conception

I- Introduction 21

II- Retenue de Béni-Amrane..... 21

III- Les ouvrages 22

VI- Conditions générales d'exploitation 23

V- Organes d'exploitation de la retenue de Béni-Amrane 27

Chapitre III

Envasement des barrages

I- Introduction 30

II- Problèmes posés par l'envasement 30

III- Processus de l'envasement des barrages 31

IV- Distribution des sédiments dans les retenues de barrages	34
V- Moyens de lutte contre l'envasement	35

Chapitre IV	Envasement du barrage de Béni-Amrane
--------------------	---

I- Introduction	61
II- Risque d'érosion	61
III- Situation de l'envasement	63
VI- Impact des sédiments sur les ouvrages	67
V- Dévasement de la retenue	69
VI- Surélévation du barrage	77
VII- Comparaison des solutions	81

Chapitre V	Etude des hausses fusibles
-------------------	-----------------------------------

I- Introduction	86
II- Etude générale	86
III- Les hausses fusibles du barrage de Béni-Amrane	103

Chapitre VI	Stabilité du barrage
--------------------	-----------------------------

I- Introduction	111
II- Calcul de la stabilité du barrage	111
III- Conditions de stabilité	113

Conclusion générale

Bibliographie.	123
Liste des tables et des figures.....	124

INTRODUCTION
GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Dans de nombreux pays du monde, le transport des sédiments dans le réseau hydrographique des bassins versants et leur dépôt dans les retenues pose aux exploitants des barrages des problèmes dont la résolution ne peut qu'être onéreuse. Non seulement la capacité utile est progressivement réduite au fur et à mesure que les sédiments se déposent dans la retenue mais encore l'enlèvement de la vase est une opération délicate et difficile, qui bien souvent exige que la retenue soit hors service, ce qui est pratiquement impossible dans les pays arides et semi-arides. Dans l'une et l'autre cas, il en résulte des dommages considérables à l'environnement et une mise en péril de l'économie du projet.

Si dans les retenues de taille et d'importances diverses algériens, ne recueille qu'environ 5% des eaux des précipitations atmosphériques, ces dernières sont d'autres part sous la menace d'une réduction de capacité par suite d'un apport important des sédiments solides, entraînant une diminution de la rentabilité des infrastructures hydrotechniques. L'impact économique de l'envasement des retenues des barrages est ainsi un problème crucial pour le développement d'un pays, et particulièrement pour celui de l'Algérie.

La tentation de rehausser le niveau du seuil permet de combler la perte de la capacité de stockage en engendrant une légère diminution de la sécurité de l'évacuation des crues par rapport au déversement libre. Cette rehausse modifie le niveau des plus hautes eaux et peut remettre en cause la stabilité du barrage. De plus, l'évolution des méthodes d'estimation des crues de projet conduit dans plusieurs cas à l'augmentation de celle-ci.

Devant cette problématique, l'équipement des déversoirs par des hausses effaçables lors des crues peut résoudre ces problèmes. Ces éléments permettent un gain de stockage et assurent le passage des crues. Comme un fusible, elles fonctionnent par tout ou rien et elles doivent être remplacées après qu'elles aient remplie leur rôle.

Le présent travail porte sur l'étude de la problématique de l'envasement au niveau de la retenue du barrage de Béni-Amrane pour satisfaire la demande en eau tout en veillant sur la sécurité et présenter la solution la plus adéquate répondant à la problématique.

Cette étude débute par un premier chapitre qui commence par la présentation du site et les données principales du système d'alimentation en eau Isser-Keddara-Boudouaou-Alger.

Le deuxième chapitre comporte des critères de conceptions du barrage et les conditions générales d'exploitation.

L'envasement des barrages, les problèmes posés par l'envasement, le processus de l'envasement des barrages, la distribution des sédiments dans les retenues de barrages, ainsi que des moyens de lutte contre l'envasement font l'objet du troisième chapitre

Le quatrième chapitre concerne plus particulièrement l'étude de l'envasement du Barrage de Béni-Amrane et donne la solution la plus adaptée pour résoudre ce problème.

Le cinquième chapitre s'intéresse à l'étude des hausses fusibles en générale, et les hausses fusibles installées au niveau de l'évacuateur de crue du barrage de Béni-Amrane.

Le sixième chapitre traite la stabilité du barrage après la surélévation du seuil libre de déversoir par les hausses fusibles.

Enfin, nous terminerons notre travail par une conclusion générale.

CHAPITRE I

REPRÉSENTATION DU SITE

Chapitre I

PRESENTATION DU SITE

I- Introduction

Le barrage de Béni-Amrane, situé sur l'Oued Isser dans la Wilaya de Boumerdes, a été mis en eau en février 1988. D'une importance stratégique, il est utilisé comme bassin « tampon » pour le transfert vers le barrage de Keddara, afin d'alimenter en eau potable le grand Alger ainsi que les villes situées entre Alger et Boumerdes.

II-Situation générale

Le barrage de Béni-Amrane fait partie du système Isser-Keddara-Boudouaou-Alger, dont la répartition théorique des apports régularisés est la suivante :

Oued Hamiz	31 hm ³ /an.
Oued Boudouaou	27 hm ³ /an.
Oued Isser	114 hm ³ /an.
Total	172 hm ³ /an

La Figure I-1 représente le plan d'implantation du barrage de Béni-Amrane et des autres principaux ouvrages de l'aménagement.

La gorge de Béni-Amrane se trouve à 1 Km environ à l'est du village du même nom, le site du barrage est placé sur un important méandre à l'extrémité aval de la gorge. En aval de la gorge, la vallée s'élargit et l'oued serpente à travers une large plaine aboutissant à la mer.

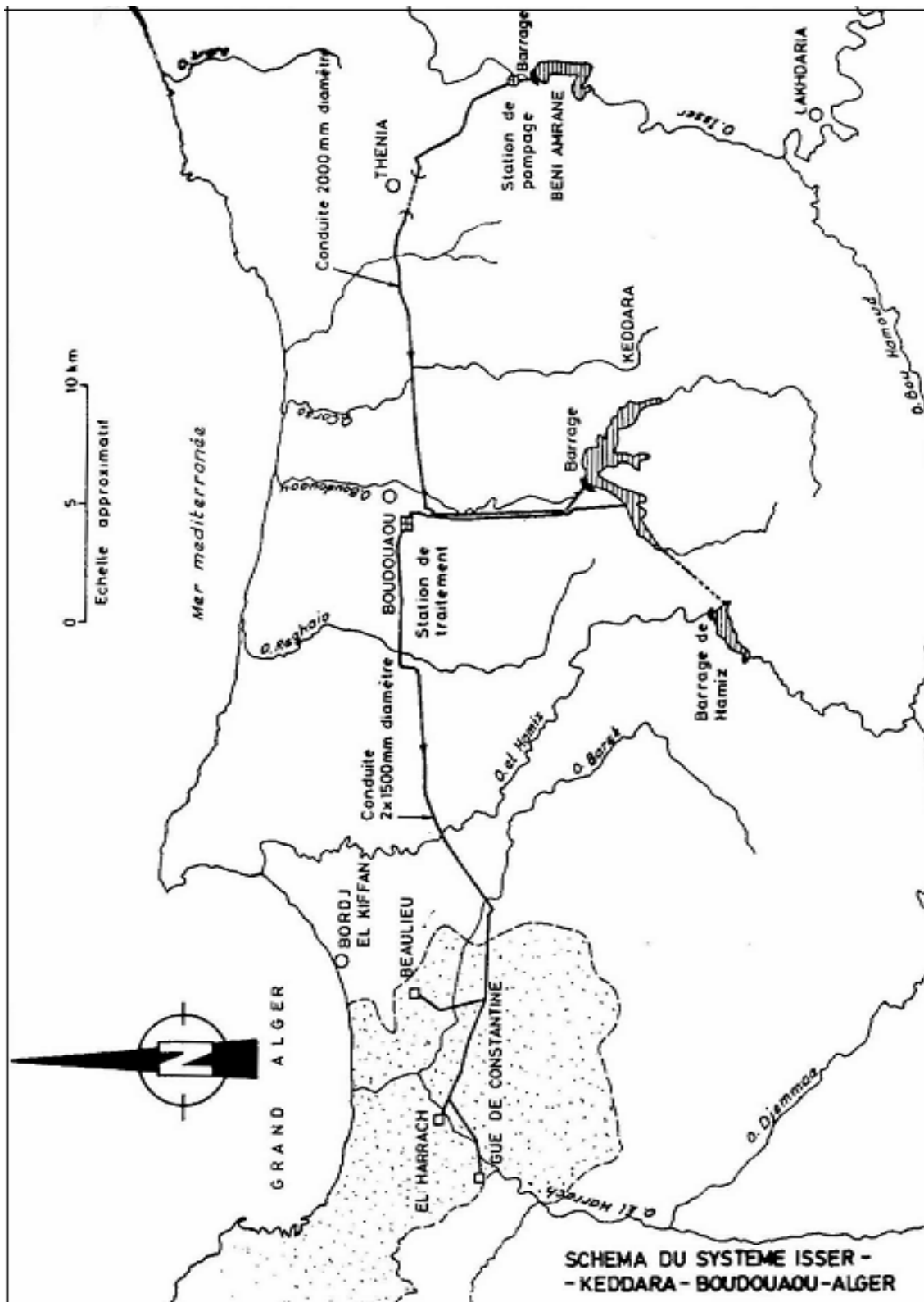


Figure I-1 : Système Isser-Keddara-Boudouaou-Alger.

III- Principaux ouvrages de l'aménagement

Les principaux ouvrages de l'aménagement sont :

- Un barrage, de 39,5 m de hauteur au-dessus du lit, qui donne origine à une retenue de 15,6 Mm³ de volume, un ouvrage de prise et une station de pompage, ayant une capacité de 7 m³/s, sur l'Oued Isser, près de Béni-Amrane ;
- Une conduite, de 2 m de diamètre et d'environ 31,3 km de longueur, reliant le barrage de Béni-Amrane à la retenue de Keddara ;
- Des conduites (5.65 km de diamètre, 2 m et 3.1 km avec deux tuyaux jumelés de diamètre 1.5 m) entre la retenue de Keddara et la station de traitement de Boudouaou ;
 - Une station de traitement, de 6.25 m³/s de capacité, à proximité de la ville de Boudouaou ;
 - Deux conduites, de 1.5 m de diamètre, allant de Boudouaou à Alger avec des branchements vers les réservoirs d'arrivée à Gué de Constantine, El Harrach et Beaulieu ;
 - Des réservoirs d'arrivée et stations de pompage à Gué de Constantine et Beaulieu, ainsi qu'un réservoir et une station de pompage de distribution à Sidi Garidi ;
 - Des conduites autour et à l'intérieur d'Alger, avec des diamètres de 0,5 m à 1,2 m et dont la longueur est d'environ 104 km.

IV- Données principales du système d'alimentation en eau Isser-Keddara-Boudouaou-Alger

1- Description du bassin versant de l'Oued Isser

L'Oued Isser et ses affluents ont un bassin versant d'une superficie de 4145 km² au total.

A l'emplacement du barrage de Béni-Amrane, le bassin versant à l'exutoire présente une superficie de 3710 km². Les sols sous-jacents sont essentiellement des schistes et des calcaires, avec un peu de grès et de conglomérats. La Figure I-2 présente la situation générale du bassin.



Figure I-2 : Carte de situation générale du bassin.

A proximité de Béni-Amrane, le bassin versant comporte une végétation raisonnable essentiellement constituée de broussailles épaisses protégeant une terre végétale légèrement silteuse. Toutefois, plus en amont, la végétation se raréfie et, par endroits, le ravinement est prononcé comme, par exemple, près de Tablat, sur le cours supérieur de l’oued Isser.

Une carte d’occupation du sol du bassin versant a été produite d’après l’interprétation d’une image satellitale (Figure I-3). Les postes suivants sont distingués :

- Végétation arbustive dense
- Végétation arbustive claire
- Prairie
- Culture
- Végétation clairsemée

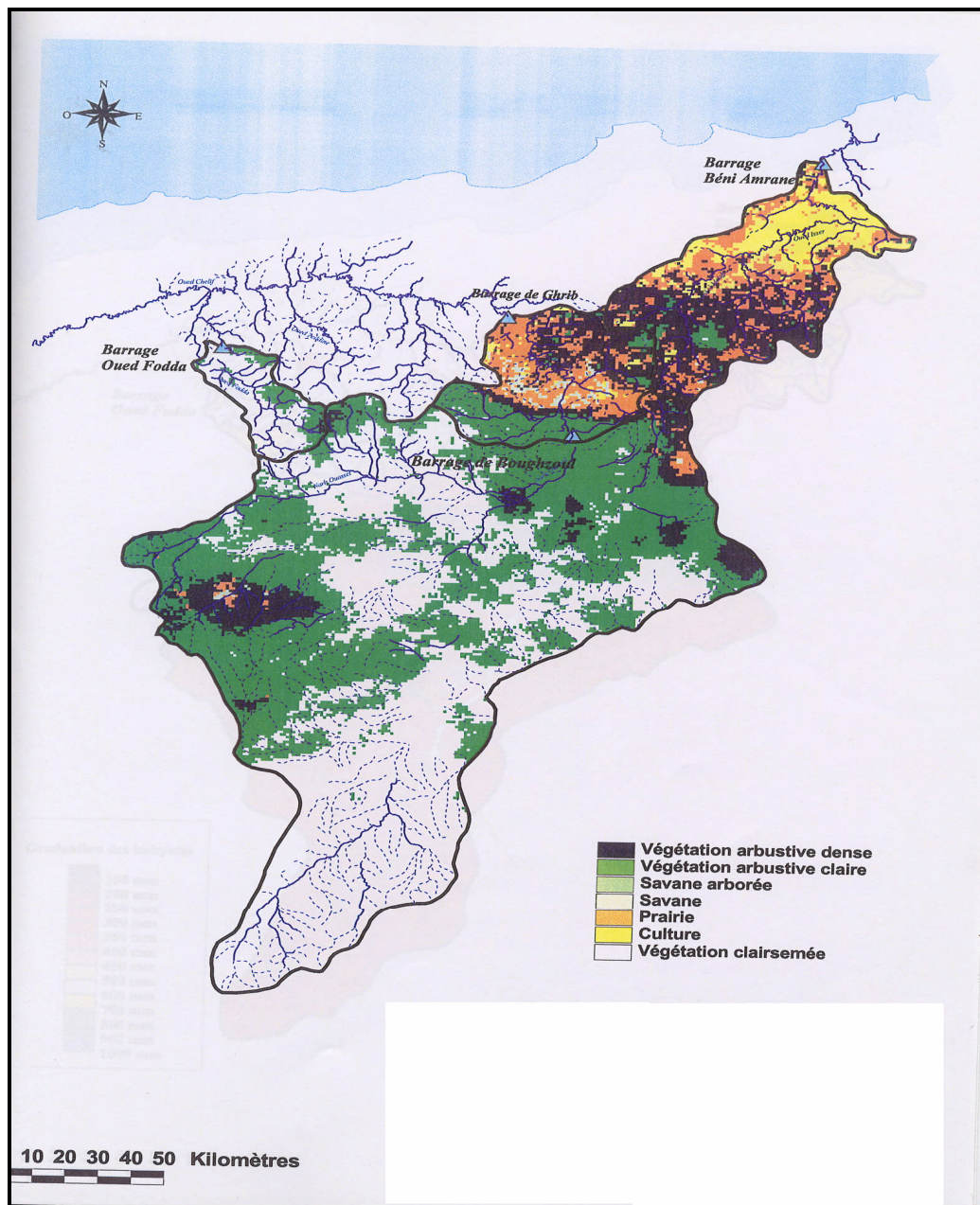


Figure I-3 : Carte d'occupation du sol.

La pente de l'oued est relativement forte. Le lit de l'oued vers l'amont du barrage présente une pente d'environ 2,5 m/km passant à 5 m/km dans la gorge profondément incisée qui se trouve à 8 km vers l'amont. En aval du site du barrage, la pente moyenne est d'à peu près 1 m/km.

Un modèle numérique de terrain a enfin été produit à partir de données obtenues sur Internet. Sa dérivation permet d'obtenir la carte 4 des pentes.

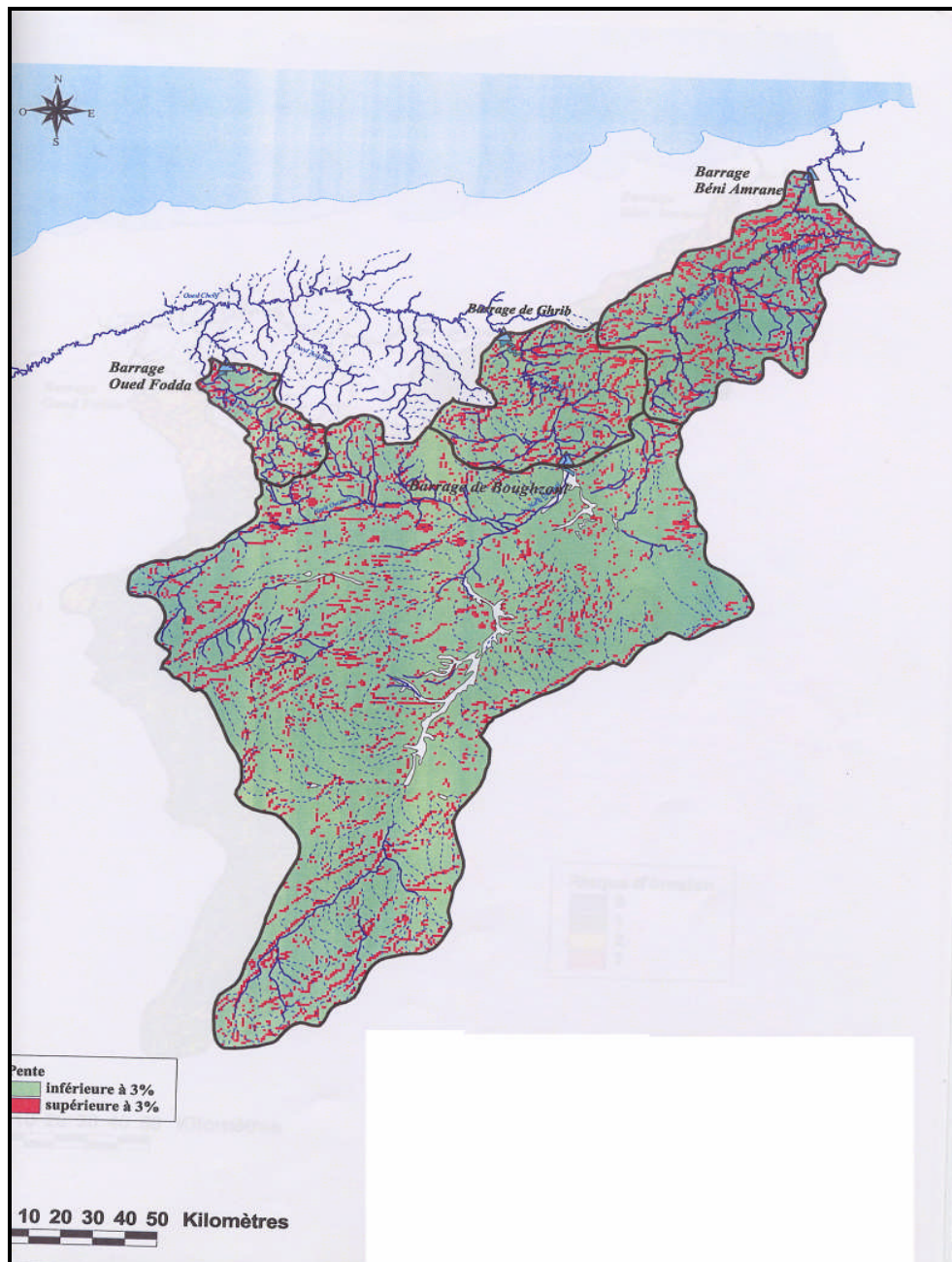


Figure I-4 : Carte des Pentes.

Le bassin versant est particulièrement arrosé, la pluviométrie interannuelle s'établissant autour de 900 mm. Une carte (Figure I-5) de la pluviométrie a été produite à partir des données issues de la Carte pluviométrique de l'Algérie du nord réalisé par l'ANRH.

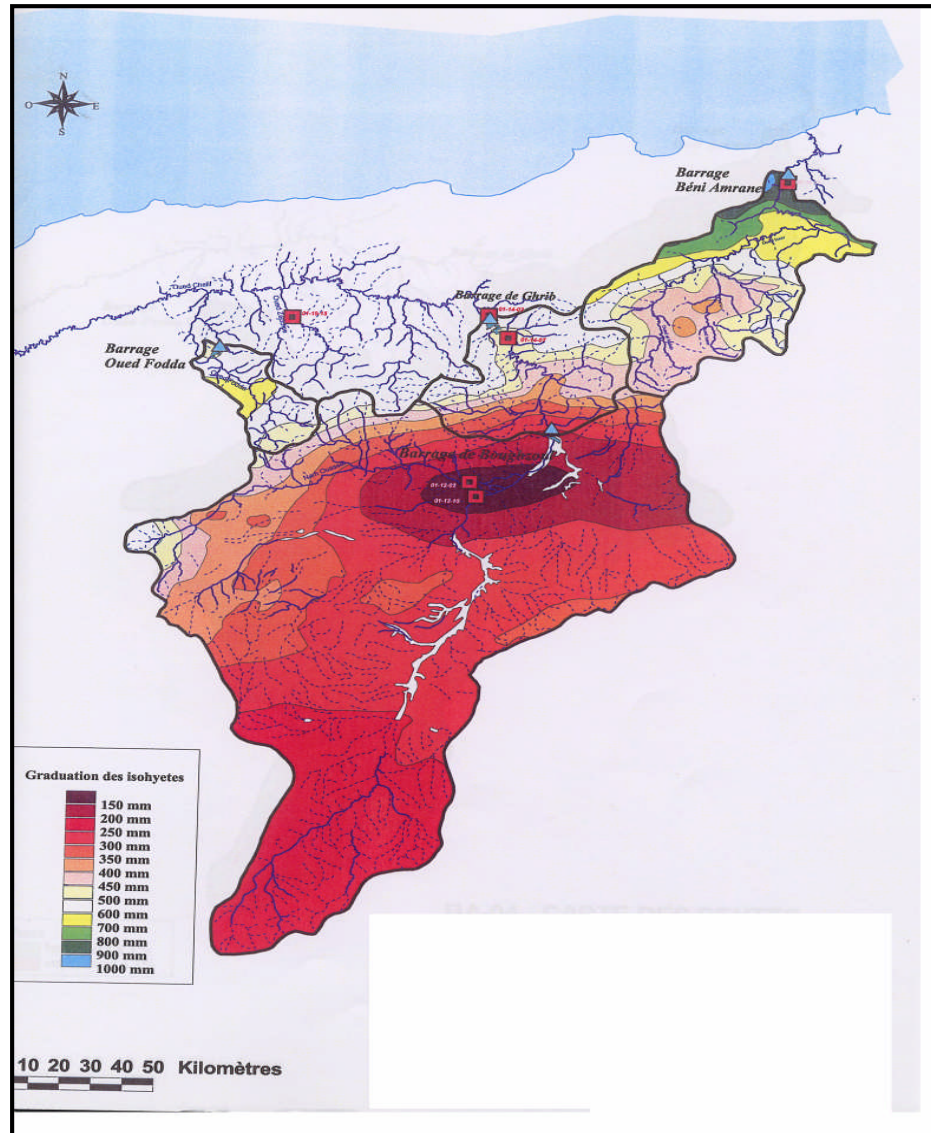


Figure I-5 : Carte de la pluviométrie

Le lit du cours d'eau contient des dépôts récents de sables et de graviers ; il est protégé de manière générale par des galets grossiers dont le diamètre atteint 150 mm. Les dépôts les plus étendus se trouvaient dans la section centrale de la retenue, à l'endroit où la vallée s'élargit ; ils ont été utilisés comme matériaux de construction.

2- Données hydrologiques du bassin d'Isser au site de Béni-Amrane

Superficie du bassin versant	3710 km ²
Ecoulement annuel moyen	414 Mm ³
Ecoulement annuel minimum enregistré	132 Mm ³
Ecoulement annuel maximum enregistré	957 Mm ³
Charge de sédiments annuelle moyenne (16,2 g/l)	6,7 M t ou 4,1 Mm ³
Crues	
Crue maximum probable	20 000 m ³ /s
Crue de pointe annuelle moyenne (une fois tous les 2 ans)	860 m ³ /s
Crue centennale	4 000 m ³ /s

Tableau I-1 : Données hydrologiques du bassin d'Isser.

3- Données de stockage à Béni-Amrane

Cote du lit de l'Oued au pied du barrage	38,0 m
Cote de la crête de l'évacuateur	63,5 m
Cote de la crête du barrage	77,5 m
Volume de stockage de la retenue	15,6 Mm ³
Volume disponible pour le refoulement de l'eau (entre les cotes 63,5 m et 54 m)	11,6 Mm ³

Tableau I-2 : Données de stockage du barrage de Béni-Amrane.

4- Evacuateur de Béni-Amrane

Longueur de la crête du déversoir	102,5 m
Cote du radier des pertuis de chasse	40,0 m
Nombre des pertuis de chasse	6
Dimensions des pertuis de chasse : - largeur	6,5 m
- hauteur	4,5 m
Capacité de l'évacuateur	10 000 m ³ /s
Débit des pertuis (écoulement de la crue annuelle moyenne sans obstruction des débits de crue)	860 m ³ /s
Débit des pertuis (avec les vannes complètement ouvertes, la retenue étant pleine jusqu'au niveau de la crête de l'évacuateur)	3 100 m ³ /s
Débit de calcul du bassin de dissipation	4 000 m ³ /s

Tableau I-3 : Caractéristiques de l'évacuateur.

5- Barrage de Béni-Amrane

Cote de la crête	77,5 m
Longueur en crête	156 m
Largeur en crête	10 m
Cote de la fondation	38 m
Hauteur au-dessus du lit de l'oued (hauteur hors sol)	39,5 m
Les profondeurs maximale, moyenne et minimale des alluvions dans le lit de l'oued au profil de l'axe de la digue, respectivement (obtenues à partir de la coupe en long du tracé du diaphragme)	26,1 m, 12,5 m 4,5 m

Tableau I-4 : Caractéristiques du barrage.

6- Prise d'eau

Nombre de prises	1
Cote du radier	50,0 m
Niveau minimum d'exploitation du réservoir	54,0 m

Tableau I-5 : Caractéristiques de la prise d'eau.**7- Station de pompage de Béni-Amrane**

Débit	7 m ³ /s
Transfert annuel moyen	114 Mm ³ /an
Longueur de conduite (dont une longueur d'environ 117 m est incorporée dans le mur gauche de l'ouvrage en béton)	1,36 km
Diamètre de la conduite	2 m
Nombre total de pompes (6 de service, 2 de secours)	8
Hauteur pratique de refoulement (variable selon les débits)	147 m

Tableau I-6 : Caractéristiques de la station de pompage.**8- Conduite de la station de traitement à la retenue de Keddara**

Débit	7 m ³ /s
Transfert annuel moyen	114 M m ³ /an
Conduite : longueur	29,48 km
diamètre	2 m
Longueur des galeries : - tronçon de Thénia	1,54 km
- tronçon de Keddara	0,28 km
Niveau à Béni-Amrane, à la cote	50,0 m
Niveau à Keddara, à la cote	145,0 m

Tableau I-7 : Caractéristiques de la conduite reliant la station de traitement à la retenue de Keddara.

9- Retenue de Keddara

Cote du seuil de la vidange de fond	71,16 m
Cote de déversement du pertuis de prise inférieur	88,08 m
Cote de la crête de l'évacuateur (niveau maximum d'exploitation)	145 m
Niveau maximum (niveau des plus hautes eaux)	147 m
Stockage au-dessus du niveau le plus bas de prise (88,08 m)	140,5 Mm ³

Tableau I-8 : Caractéristiques de la retenue de Keddara.

10- Conduites de Keddara à la station de traitement de Boudouaou

Débit maximum	6,25 m ³ /s – 197 Mm ³ /an
Débit moyen	5,21 m ³ /s – 164 Mm ³ /an
Longueur des conduites :	
Diamètre de 2 m (1,35 km + 4,3 km)	5,65 km
Diamètre 1,5 m (deux tuyaux jumelés)	2,1 km
Niveau à la retenue de Keddara entre les cotes	145 m et 88 m
Niveau d'arrivée à Boudouaou à la cote	88 m

Tableau I-9 : Caractéristiques des conduites de Keddara à la station de traitement de Boudouaou.

11- Station de traitement à Boudouaou

Débit maximum	6,25 m ³ /s – 197 Mm ³ /an
Débit moyen	5,21 m ³ /s – 164 Mm ³ /an
Débits de sortie du système (= 95% du débit d'entrée) :	
Maximum	5,94 m ³ /s
Moyen	4,95 m ³ /s
Perte d'eau à l'élimination des boues (= 5%) :	
Maximum	0,31 m ³ /s
Moyen	0,25 m ³ /s
Etapes du procédé de traitement	Clarification Filtration Désinfection

Tableau I-10 : Caractéristiques de la station de traitement à Boudouaou.

12- Conduite de Boudouaou à Alger

Débit maximum	5,94 m ³ /s – 181 Mm ³ /an
Débit moyen	4,95 m ³ /s – 156 Mm ³ /an
Nombre, diamètre et longueur des conduites :	
Boudouaou à Jonction A	2 x 1,5 m – 22,24 km
Jonction A à Jonction B	2 x 1,5 m – 4,5 km
Jonction A à Beaulieu	1 x 1,2 m – 4,4 km
Jonction B à El Harrach	1 x 1,3 m – 1,41 km
Jonction B à Gué de Constantine	2 x 1,0 m – 4,46 km
Niveau à Boudouaou à la cote	75 m
Niveau à Alger (Gué de Constantine) à la cote	26 m

Tableau I-11 : Caractéristiques de la conduite de Boudouaou à Alger.

13- Réservoirs urbains

Réservoir	Stockage (10 ³ m ³)	Niveau (m)	
		Plein	Vide
Gué de Constantine	20	25,8	21,3
Sidi Garidi	25	138,8	134,3
Beaulieu	40	37,8	33,3

Tableau I-12 : Caractéristiques du Réservoirs urbains.

14- Stations de pompages urbains

Stations	Débit (m ³ /s)	Hauteur de refoulement (m)	Numéro de pompes	
			Service	Réserve
Gué de Constantine				
à Sidi Garidi	2,81	137	4	1
à Aïn Nadja	0,54	77	2	1
Sidi Garidi				
à Stand	1,31	195	4	1
à Birkhadem	0,72	45	2	1
Beaulieu				
à Télémy	1,59	86	4	1

Tableau I-13 : Caractéristiques de la station de pompage urbaine.

V- Diagrammes des volumes et des superficies de la retenue de Béni-Amrane

La retenue s'étend sur un tronçon de la vallée d'une longueur d'environ 9 km. Les diagrammes des volumes et des superficies de la retenue sont représentés dans la Figure I-6.

- Le lit de l'Oued à l'endroit du barrage se trouve à la cote de 40 m.
- Le niveau de la retenue est à la cote 63,5 m. A cette cote, la superficie de la retenue est de 1,63 km² et le volume de la retenue totalise 15,6 Mm³.
- Les niveaux d'eau correspondant à des crues de 2000 m³/s et de 4000 m³/s sont respectivement 67,8 m et 70,6 m.

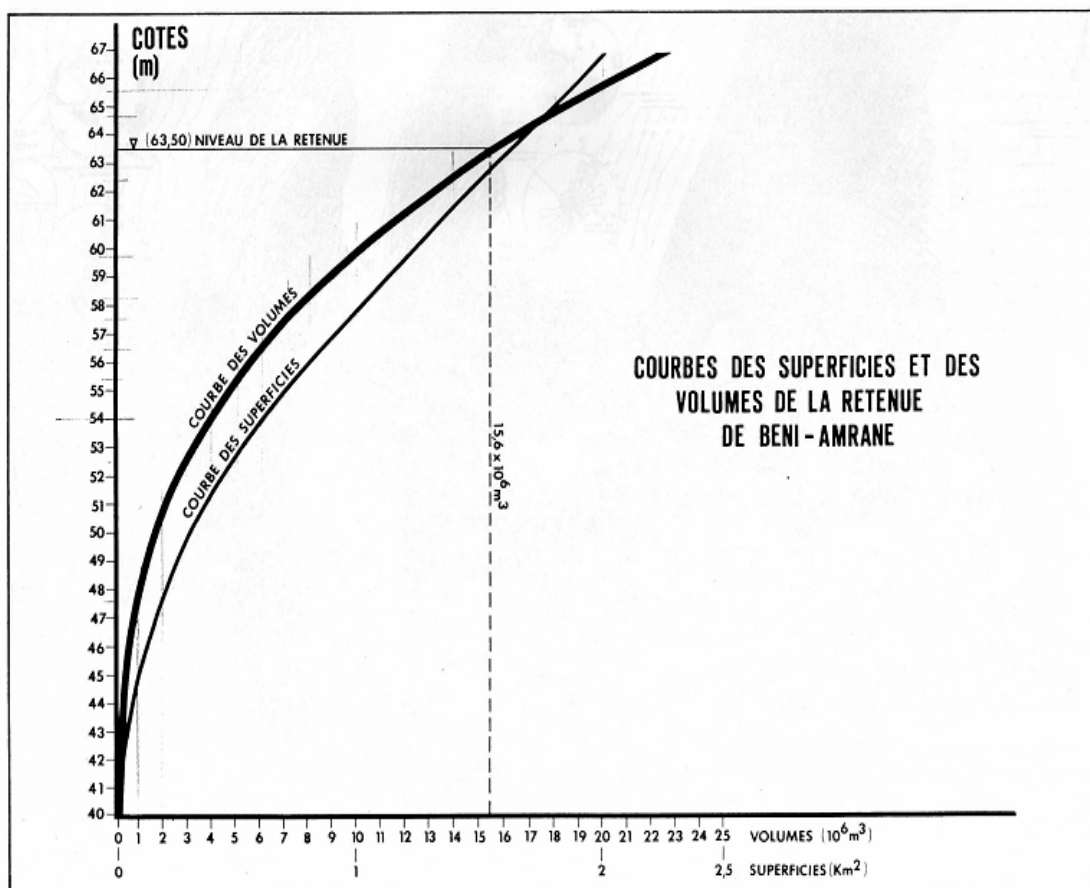


Figure I-6 : Courbe des superficies et des volumes de la retenue en fonction des cotes de Béni-Amrane

VI- Débits d'apport à la retenue de Béni-Amrane

1- Ecoulements annuels et mensuels

Les débits moyens de l'Isser à Lakhdaria sont indiqués dans le tableau suivant :

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
Débits moyens à Lakhdaria (Mm ³)	8	21	30	57	66	65	69	43	25	7	3	2	396

Tableau I-14 : Débits moyens de l'oued Isser à Lakhdaria.

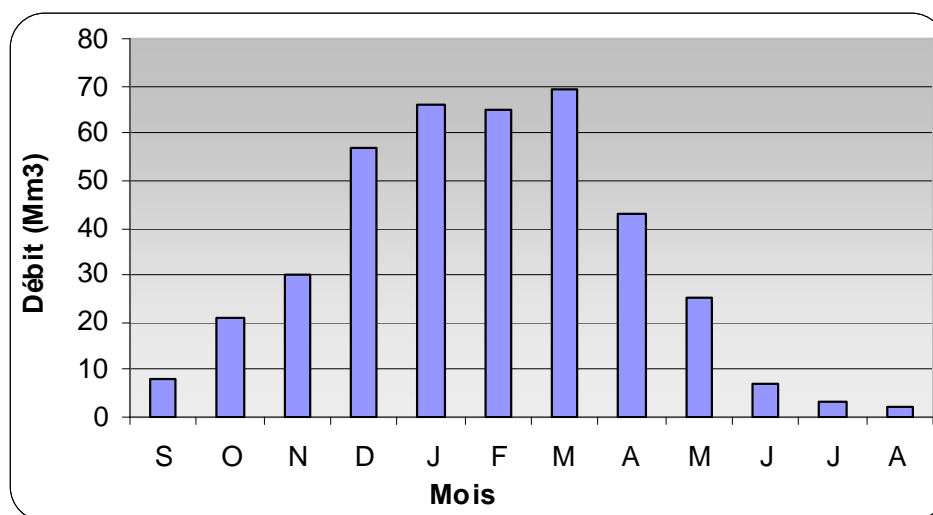


Figure I-7: Variations mensuelles moyennes du débit liquide dans l'Oued Isser (Station de Lakhdaria).

En résultat de l'accroissement de la superficie du bassin versant, entre Lakhdaria et le site du barrage, les débits augmentent d'environ 5% et ainsi le débit annuel moyen à Béni-Amrane est de $396 \text{ Mm}^3 \times 1,05 = 414 \text{ Mm}^3$.

Pour les débits annuels à Béni-Amrane des valeurs entre le minimum de 132 M m^3 et 957 M m^3 sont enregistrées.

Ces éléments montrent que l'irrégularité des débits de l'oued est assez considérable, soit dans la suite de l'année soit d'une année à l'autre. On vérifie encore qu'on a souvent une série d'années humides puis une série d'années sèches.

Dans la suite de l'année hydrologique (septembre – août), les apports à la retenue sont reçus notamment dans le semestre de novembre à avril (en moyenne 83% de l'écoulement annuel) tandis que dans les autres mois ils sont nettement plus petits (12% et 5% respectivement dans les deux mois contigus au semestre novembre – avril et dans les autres quatre mois).

2- Apport de pointe

Les crues de l'oued Isser sont fortes et ne durent pas longtemps. La crue maximum enregistrée à Lakhdaria, à 26 km en amont de Béni-Amrane, au cours de la période des relevés hydrologiques, est de 2 520 m³/s.

L'analyse des relevés hydrologiques pour Lakhdaria a permis, en ajoutant la contribution du bassin hydrographique entre ce point et Béni-Amrane, d'évaluer que le débit de pointe de la crue annuelle moyenne est de 860 m³/s.

La fréquence des crues pour des périodes de récurrence jusqu'à 100 ans a été analysée à l'aide des mêmes données. Il a été convenu d'adopter, pour les débits de pointe de crue, les valeurs suivantes :

10 années.....1 700 m³/s.

20 années.....2 300 m³/s.

100 années.....4 000 m³/s.

La crue maximum probable (CMP) s'élève à 20 000 m³/s.

En envisageant les conséquences des crues en aval du barrage (où la vallée de Isser s'élargit et forme une plaine d'inondation, avec la largeur moyenne d'environ 1 km, dans laquelle l'oued sort de son lit lorsque le débit est supérieur à 1 000 m³/s.), la capacité de l'évacuateur de surface a été limitée à 10 000 m³/s, soit la moitié de la CMP.

Pour un tel débit, de fréquence prévue d'une fois en 10 000 ans, la vallée de l'Isser sera déjà largement inondée et les habitants de la plaine auront besoin de se déplacer pour des terrains plus élevés.

3- Apport solides

La concentration moyenne des sédiments transportés par les eaux de l'oued Isser est très élevée, de 16,2 g/l, atteignant 265 g/l, la concentration maximum enregistrée.

Au cours des 7 ans pendant lesquels des relevés de la concentration en sédiments ont été réalisés, la charge annuelle moyenne en sédiments a été de 6,7 Mt ou 4,1 M m³.

Ces chiffres démontrent que, si la retenue de Béni-Amrane n'était pas équipée d'un dispositif efficace de chasse, elle se comblerait très rapidement et que, outre cela, la forte concentration de sédiments en suspension dans l'eau prélevée réduirait la durée de vie utile de la retenue de Keddara ainsi que celle des pompes et de la conduite.

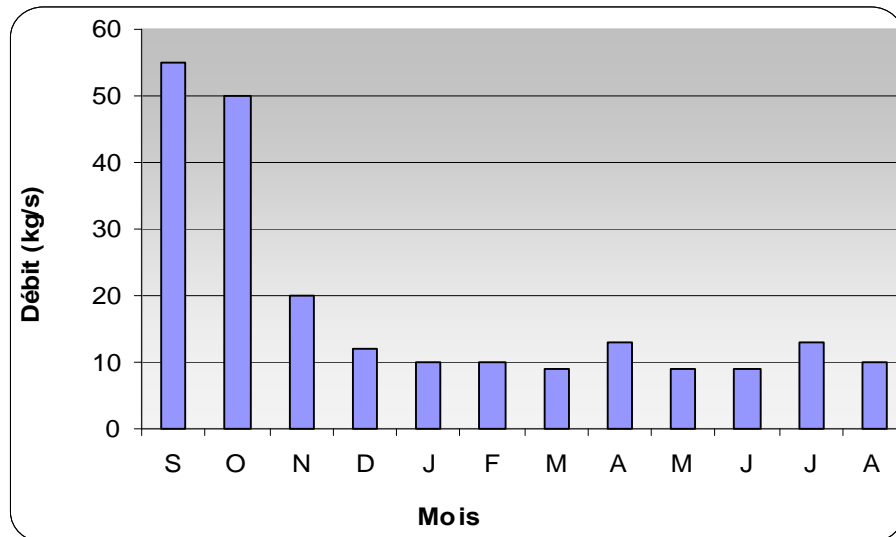


Figure I-8 : Variations mensuelles moyennes du débit solide dans l'Oued Isser (période de 20 ans).

VII- Structure géologique du site du barrage

Les caractéristiques principales de la géologie du site du barrage sont les suivantes :

- Le lit de l'oued est constitué d'alluvions, dont l'épaisseur maximum atteignait 31 m environ sur le site du barrage;
- D'une rive à l'autre, la nature des roches est variable. De manière générale, la rive gauche est composée de schistes contenant des couches de calcaires cristallins et de calcaires sableux altérés. Les pentes inférieures contiennent des épaisseurs importantes de colluvions ;
- L'éperon rocheux de la rive droite est formé de gneiss granitique et de schistes micacés feuilletés ; une faille suit la direction de l'axe de l'éperon, avec pendage vers l'aval ; cette faille n'est pas active mais elle forme une brusque démarcation entre le gneiss en amont et le schiste en aval ;
- En profondeur, la roche est raisonnablement imperméable.

CHAPITRE II

CRITERES DE CONCEPTION

Chapitre II

CRITERES DE CONCEPTION

I- Introduction

Les principaux éléments du système d'approvisionnement en eau de Béni-Amrane/Keddara/Boudouaou/Alger qui se situent à Béni-Amrane sont :

- Le barrage en remblai, fondé sur les dépôts alluviaux dans le lit du cours d'eau ; une paroi moulée a été construite sous le noyau du barrage, ancrée vers le bas dans l'assise rocheuse ; au moyen d'injection, un rideau d'étanchéité, servant de parafouille, a été formé sous la paroi moulée ;
- La structure en béton, dans l'éperon rocheux, comportant l'évacuateur de crues et les ouvrages de chasse et de dérivation, ainsi que le dissipateur d'énergie ;
- L'ouvrage de prise ;
- La conduite menant à la station de pompage ;
- La station de pompage.

Plusieurs ouvrages auxiliaires ont été nécessaires, notamment :

- Des travaux d'amélioration de retenue du cours d'eau ;
- Une route d'accès.

II- Retenue de Béni-Amrane

1- Fonctions principales de la retenue

La conception de la retenue de Béni-Amrane a été faite de façon à remplir les fonctions principales suivantes :

- Contrôler le débit de l'oued Isser de manière à ce que le système de pompage entre Béni-Amrane et Keddara puisse fonctionner avec une utilisation suffisante pour permettre de satisfaire les besoins en eau potable, actuels et prochains, non seulement du Grand Alger mais aussi des villes situées dans la zone est de la Mitidja, entre Alger et l'oued Boudouaou ;

- Contrôler le rôle de la retenue de sédimentation en assurant une évacuation efficace des sédiments de la retenue, permettent ainsi de maintenir un volume de stockage suffisant pour la régularisation adéquate du débit et l'amélioration de la qualité de l'eau ;
- Assurer que les lâchers contrôlés ne causent pas de dégâts et de nuisances évitables aux habitants et propriétés de la vallée aval.

2- Capacité de stockage de la retenue

Attendu que la concentration moyenne des sédiments transportés par les eaux de l'oued Isser est élevée, la retenue, pour jouer sur une période raisonnablement longue le rôle de retenue de sédimentation, devrait avoir une capacité de stockage assez importante ou bien, dans le cas d'une retenue de petite capacité, elle devrait assurer la chasse des sédiments d'une façon efficace.

Après la comparaison avec d'autres solutions en divers endroits de l'oued Isser, Béni-Amrane a été choisi, pour une retenue de capacité de stockage assez limitée, en raison de la nécessité de ne pas inonder la RN 5 et la voie de chemin de fer de Constantine qui passent à proximité de la retenue aux abords de Lakhdaria.

III- Les ouvrages

1- L'évacuation des sédiments

Selon la conception des ouvrages, l'évacuateur de crues et les vannes de pertuis de chasse, pour l'évacuation efficace des sédiments de la retenue, sont aménagés en seul ouvrage de régularisation.

L'évacuateur, avec un déversoir libre en doucine, permet le déversement des eaux de crue entre les piles - guideaux qui abritent les vannes et les sorties de chasse. Par un pertuis d'une série de 6 vannes à segments, situées à l'extrémité aval de l'ouvrage au niveau du lit de l'oued, il est possible d'évacuer les eaux correspondant à tous les débits jusqu'à 3 100 m³/s, les vannes étant complètement ouvertes et la retenue étant pleine jusqu'au niveau de la crête de l'évacuateur. La largeur totale des vannes (39 m) est d'environ la moitié de la largeur de l'oued (80 m) sur le site du barrage.

Sauf lorsque les vannes à segments s'ouvrent, l'oued s'écoule à travers la retenue comme si le barrage n'existait pas.

2- Bassin d'amortissement

Situé en aval de l'évacuateur, le bassin d'amortissement a été prévu pour des débits allant jusqu'à 4 000 m³/s, soit pour la pointe de crue centennale.

En effet, on a estimé qu'un bassin d'amortissement à ressaut hydraulique serait la solution la plus appropriée pour faire face aux déversements de l'évacuateur et des pertuis de chasse.

Après essai de l'évacuateur sur modèle réduit, la conception du bassin d'amortissement a été modifiée afin de permettre des déversements de l'évacuateur et des pertuis de chasse non seulement séparément mais encore simultanément.

3- Niveau de la crête du barrage

La hauteur du barrage a été fixée en fonction du surremplissage de crue et de la valeur adoptée pour la revanche par rapport au niveau de crue.

Dans les essais sur modèle réduit hydraulique de l'évacuateur, le débit de la crue de projet, de 10 000 m³/s, a été atteint pour un surremplissage de 12,6 m, c'est-à-dire pour le plan d'eau à la cote 76,1 m.

La revanche de 1,4 m par rapport à ce niveau de crue a été adoptée, sans tenir compte de l'effet des vagues, une fois que la longueur de la surface de la retenue faisant face au barrage n'est pas assez importante. Donc, la crête du barrage est à la cote 77,5 m, ainsi, la revanche totale, par rapport au niveau de la crête de l'évacuateur, est de 14 m.

VI- Conditions générales d'exploitation

1- Répartition de l'approvisionnement en eau entre les différentes sources

Le système Isser-Keddara-Boudouaou-Alger est l'une des sources de l'approvisionnement en eau du Grand Alger.

La répartition de l'approvisionnement en eau entre les différentes sources disponibles est gérée à partir d'un centre de commande situé à Alger.

Ce centre doit veiller à ce que la quantité d'eau transférée de Béni-Amrane à Keddara soit suffisante pour faire face aux besoins en eau, en évitant cependant des transferts inutiles, qui sont à l'origine d'un gaspillage d'énergie dans la station de pompage et peuvent faire perdre des opportunités de procéder au dévasement de la retenue de Béni-Amrane.

2- Objectifs des opérations effectuées à Béni-Amrane

Les opérations effectuées à Béni-Amrane ont pour objectifs de :

- Transférer des quantités suffisantes d'eau dans la retenue de Keddara ;
- Evacuer les sédiments de la retenue de Béni-Amrane et, donc, maintenir une capacité de stockage suffisante pour une adéquate régularisation du débit tout en améliorant la qualité de l'eau transférable ;
- Garantir que, par des déchargements contrôlables de l'eau de la retenue, ne soient portés, aux habitants et aux propriétés de la vallée en aval du barrage, des préjudices évitables.

3- Conditions pour entreprendre l'évacuation des sédiments de la retenue de Béni-Amrane

Pour entreprendre les chasses des sédiments, le débit entrant dans la retenue devra être égal ou supérieur à 100 m³/s et, outre cela, sa durée devra être suffisante pour occasionner une montée du plan d'eau de la retenue conduisant au remplissage et le franchissement de l'évacuateur si entre temps on n'a pas effectué l'ouverture des vannes à segment.

Tenant compte des conditions pour entreprendre les chasses qui concernent le débit entrant et le plan d'eau de la retenue, il est de nécessaire de prévoir que le volume de sédiments dans la retenue dépasse normalement 1 Mm³ lorsque les chasses seront entreprises avec l'avantage d'éviter que les sédiments restent accumulés de longs mois sous l'eau.

Pour occasionner le moins de pertes d'eau à partir de la retenue de Keddara, les valeurs qu'on prévoit d'y stocker, sans modification du volume moyen fourni à la station de traitement de Boudouaou, de 164 Mm³/an sont les suivantes :

Mois	Septembre	Octobre et Novembre	Décembre à Avril	Mai et Juin	Juillet et Août
Volume Mm ³	125	130	135	140	135

Tableau II-1 : Volume moyen fourni à la station de traitement de Boudouaou.

Les valeurs indicatives utilisées en pratique pourront être modifiées, si nécessaire pour améliorer le rendement ou réduire les gaspillages.

4- Conditions pour effectuer des transferts d'eau vers Keddara

En cas où le volume d'eau emmagasiné dans la retenue de Keddara dépasse le volume mensuel y occasionnant le moins de pertes par débordement, aucun transfert ne devra être effectué.

En cas où le volume d'eau emmagasiné dans la retenue de Keddara est inférieur à 75 Mm³, le transfert est essentiel et devra être effectué si dans la retenue de Béni-Amrane il y a de l'eau disponible et la qualité de l'eau est adéquate (dans l'eau de transfert, la charge moyenne de solides en suspension devra, autant que possible, être inférieure à 100 mg/l).

Pour des volume emmagasinés dans la retenue de Keddara compris entre 75 Mm³ et le volume minimum mensuel prévu, le transfert sera effectué au cas où qualité de l'eau est adéquate, sauf si le débit de l'oued exige l'évacuation des sédiments.

Aucun transfert ne devra être effectué lorsque les vannes de chasses seront ouvertes pour faire l'évacuation des sédiments déposés dans la retenue, cela parce que la qualité de l'eau se détériore à mesure de l'augmentation du débit évacué et le plan d'eau de la retenue descendrait rapidement en dessous du niveau d'exploitation le plus bas (54 m).

5- Contrôle des déchargements de l'eau de la retenue de Béni-Amrane

Vue que la capacité du cours d'eau vers l'aval du barrage de Béni-Amrane est seulement de l'ordre de 1 000 m³/s, pour éviter de porter préjudice aux habitants et aux propriétés de la vallée, les déchargements contrôlables de l'eau de la retenue devront être effectués en adoptant, pour le fonctionnement des vannes à segment, des critères mis au point à la suite des essais sur modèle réduit et dûment adaptés aux conditions de commande des vannes.

Ainsi, l'ouverture des vannes à segment devra être commencée lorsque seront vérifiées les conditions ci-dessous.

Les deux vannes centrales seront ouvertes tout d'abord à 25% puis à 50%, de telle façon que l'augmentation du débit des lâches soit, autant que possible, limitée à 250 m³/s par heure, au maximum.

L'ouverture des vannes centrales, ainsi que l'ouverture des autres 4 vannes (les intermédiaires et après les extérieures) devra être effectuée dans les mêmes conditions, par degrés de 25%.

Les déchargements contrôlables de l'eau de la retenue devront être effectués de façon à limiter le débit sortant de la retenue à celui de la crue annuelle moyenne (860 m³/s).

Les mêmes règles de fonctionnement des vannes à segment doivent être appliquées aussi dans le cas où sont prévues des crues de débit entrant compris entre 860 m³/s et 3 100 m³/s.

En cas de crues d'un débit supérieur à 3 100 m³/s, la capacité de déchargement des vannes sera dépassée lorsque la retenue deviendra pleine et l'eau commencera à franchir l'évacuateur.

6- Conditions de pompage

Au droit de la retenue de Béni-Amrane, pour le fonctionnement de la station de pompage, le niveau de prise le plus bas est de 54 m et le niveau de prise le plus élevé,

avant l'arrêt des pompes et l'ouverture des vannes de chasses des sédiments, est normalement de 63,5 m, c'est-à-dire à la cote de la crête de l'évacuateur.

Dans le cas d'un débit de 7 m³/s, la perte de charge dans la conduite peut se situer entre 60 m, lorsque la conduite est recouverte d'une pellicule biologique épaisse, et 45 m lorsque la conduite a été nettoyée.

Le niveau normal d'arrivée de l'eau à la retenue de Keddara est d'environ 146 m.

V- Organes d'exploitation de la retenue de Béni-Amrane

1- Description d'ensemble

L'exploitation de la retenue de Béni-Amrane comporte les organes suivants :

- L'ouvrage d'évacuation de chasse ;
- La prise d'eau et les installations pour la chloration de l'eau au droit de prise ;
- La station de pompage de Béni-Amrane et les conduites d'aspiration et de refoulement.

L'ouvrage d'évacuation et de chasse comprend les éléments suivants :

- Un évacuateur de surface avec une longueur en crête de 102,5 m ;
- 6 galeries de chasse, de 6,5 m de largeur et de 4,5 m de hauteur, équipées chacune d'une vanne à segment à l'extrémité aval de l'ouvrage ; le seuil des vannes se trouve sur la cote 40 m ;
- Un bassin d'amortissement qui reçoit l'eau de l'évacuateur et des galeries de chasse.

La prise d'eau est unique et se trouve dans le mur en béton de masse qui sépare la digue de l'ouvrage d'évacuation.

Depuis la prise, l'eau est acheminée jusqu'à la station de pompage de Béni-Amrane par une conduite de 2 m de diamètre et d'une longueur d'environ 1,36 km. La cote de la génératrice inférieure de la conduite de prise est de 50 m.

L'opération de chloration de l'eau est réalisée en pompant de l'eau chlorée dans l'ouvrage de prise pendant le fonctionnement des pompes de transfert.

La station de pompage, avec une capacité de 7 m³/s, prélève de l'eau de la retenue de Béni-Amrane et la refoule vers la retenue de Keddara à l'aide d'une conduite de refoulement de 2 m de diamètre et d'une longueur d'environ 31,3 km. La hauteur pratique de refoulement des pompes est normalement de l'ordre de 142 m.

2- Utilisations

2-1/ Ouvrage d'évacuation

La retenue de Béni-Amrane et les ouvrages d'évacuation n'ont que peu d'influence sur l'amortissement des pointes de crue, car la capacité de stockage de la retenue est assez petite par rapport au volume des grandes crues typiques de l'oued Isser.

L'évacuateur de crues assure une protection naturelle contre les crues, en déversant tout seul 10 000 m³/s, pour un surremplissage de 12,6 m, en cas que, en raison d'une panne, il ne soit pas possible d'ouvrir les vannes de chasse.

Ces 6 vannes, lorsque complètement ouvertes, étant la retenue au niveau de la crête de l'évacuateur, ont une capacité de déchargement, par le fond de la retenue, de 3 100 m³/s.

Dès lors que les crues dépassent 3 100 m³/s, l'évacuateur de surface commence à fonctionner mais il est recommandé de maintenir les vannes ouvertes afin que la plus grande partie de la charge de sédiments des eaux de crues puisse passer dans la retenue sans se déposer.

Les débits déversés lorsque l'évacuateur et les vannes fonctionnent simultanément sont présentés dans le graphe suivant :(Figure II-1)

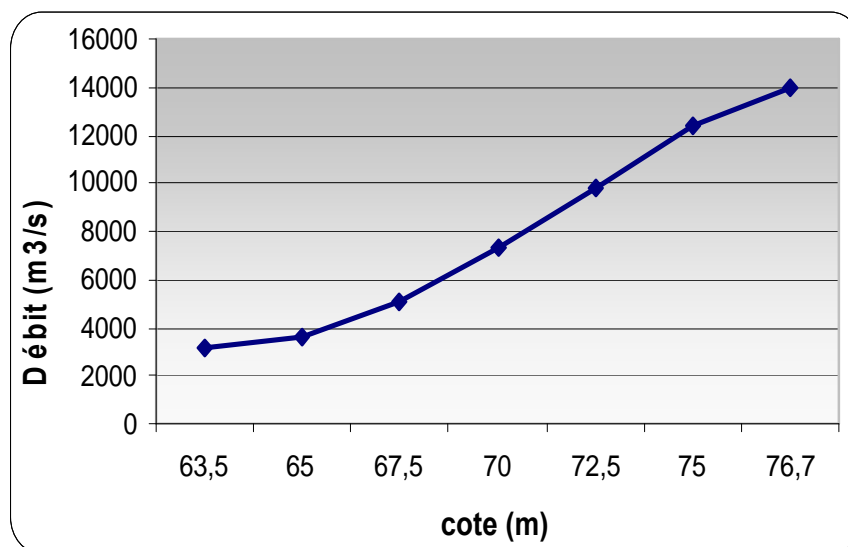


Figure II-1: Débit déversés lorsque l'évacuateur et les vannes fonctionnent simultanément.

2-2/ L'ouvrage de prise d'eau

L'utilisation de la seule prise d'eau, dont le niveau de la génératrice inférieure est de 50 m (10 m au-dessus de seuil des vannes à segment) est faite entre :

- Le niveau inférieur d'exploitation, de 54 m, afin d'éviter la pénétration d'air dans le tuyau de prise ;
- Et le niveau de prise le plus élevé, avant l'arrêt des pompes et de l'ouverture des vannes de chasse des sédiments, qui est normalement 63,5 m.

En absence de conditions qui assurent la possibilité d'effectuer le transfert de l'eau avec une adéquate charge de sédiments si les vannes de chasse sont ouvertes, la prise d'eau ne doit pas fonctionner et aucun transfert ne doit alors être effectué pour éviter la détérioration de la qualité de l'eau.

La prise, d'un diamètre de 2 m, est protégée par une grille grossière qui empêche la pénétration de débris.

Une vanne permet de fermer la prise en vue de la réalisation de travaux en aval.

Du côté aval du barrage, la conduite de prise aboutit dans une chambre qui contient un jeu de vannes papillon, de protection contre la surverse, à fermeture automatique. Ces vannes sont réglées pour se fermer si la vitesse de l'eau dépasse 5 m/s.

CHAPITRE III

ENVASEMENT DES BARRAGES

Chapitre III

ENVASEMENT DES BARRAGES

I- Introduction

Le phénomène de l'envasement des barrages est l'une des conséquences de l'érosion des bassins versants. Une quantité considérable des sédiments est piégée chaque année dans les réservoirs réduisant ainsi leurs durées de vie.

II- Problèmes posés par l'envasement

Parmi les problèmes que pose l'envasement des retenues de barrages, on peut retenir quatre inconvénients majeurs qui sont :

1. La réduction de la capacité ;
2. L'obturation des organes de vidange ;
3. La remise en cause de la sécurité de l'ouvrage ;
4. L'envasement des canaux d'irrigation ;
5. La dégradation de la qualité de l'eau.

1. Réduction de la capacité

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

2. Obturation des organes de vidange

Un autre danger présenté par l'envasement est celui du non fonctionnement des organes de vidange de fond, et de ce fait toute opération de vidange de la retenue est impossible.

3. Sécurité de l'ouvrage

Indépendamment du problème de la diminution de la capacité du réservoir, l'envasement pose celui de la stabilité de l'ouvrage : on sait que pour une variation linéaire de la hauteur de la vase, la poussée progresse au carré de la hauteur.

4. Envasement des canaux d'irrigation

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

5. Dégradation de la qualité de l'eau

Les sédiments véhiculent des produits chimiques (nitrates, sulfates...) provenant en particulier des apports en éléments fertilisants pour les cultures, et se déposant dans les réservoirs, entraînant ainsi une dégradation de la qualité de l'eau et favorisant l'eutrophisation de ces réservoirs.

III- Processus de l'envasement des barrages

1- Erosion des bassins versants

L'érosion est un phénomène très répandu en zone Méditerranéenne, dont il menace gravement les potentialités en eau et en sol. L'intensité du phénomène se manifeste essentiellement en période des crues.

2- Les rapports solides dans la retenue

Les eaux des cours d'eaux transportent les sédiments sous deux formes:

- a. par charriage,
- b. en suspension.

a. Les apports solides par charriage

Ils concernent les matières minérales en phase solide, plus particulièrement les plus gros éléments qui contribuent à la formation et à l'équilibre du lit, principalement la pente. Ces éléments sont transportés sur le fond par roulement, glissement, saltation et aussi par suspension lorsque le débit liquide est très important.

Le débit charrié dans les retenues Algériennes est estimé entre 10 à 15% du débit en suspension.

b. Les apports solides en suspension

Ils concernent les éléments fins du transport solide qui sont maintenus en suspension, par la turbulence de l'eau, créée par les matériaux du lit. La quantité de matériaux en suspension dépend uniquement des quantités d'éléments très fins, qui proviennent de l'érosion des bassins versants, due au ruissellement des eaux de pluie.

Les concentrations d'éléments en suspension des oueds Algériens dépassent souvent les 100 g/l surtout pendant les premières pluies d'automne.

3- Résultante : piégeage des sédiments dans la retenue

Arrivées dans les retenues, les particules solides seront piégées dans les eaux calmes de ces dernières, se tassant et se consolidant, diminuant ainsi progressivement leur capacité de stockage en eau.

L'envasement est défini comme étant l'accumulation successive des sédiments transportés par les cours d'eaux dans la retenue. L'organigramme suivant donne les étapes du processus de l'envasement des retenues.

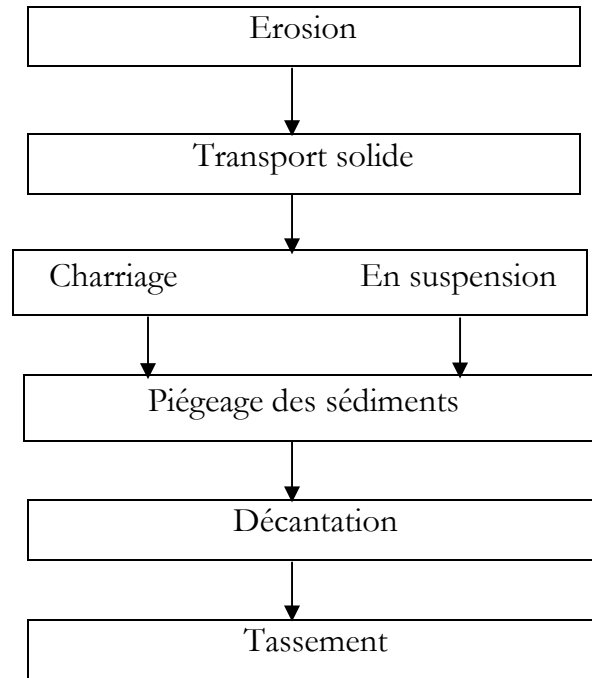


Figure III-1: Organigramme du processus d'envasement d'une retenue.

4- Dépôt et tassement des sédiments

Les sédiments apportés en suspension par les cours d'eau sont susceptibles de se déposer plus ou moins dans les eaux de la retenue. Ils peuvent, soit décanter et y être piégés, soit simplement y transiter en suspension avant être évacués selon les conditions d'écoulement de la retenue.

5- Tassement et consolidation des vases

Décantés par gravité sur les fonds, les sédiments formeront des dépôts qui pourront subir des tassements et des consolidations au cours du temps

Le tassement des vases complètement saturées peut être subdivisé en deux processus :

- ✓ **Sédimentation**, lorsque les particules élémentaires de la vase ne forment un réseau continu tridimensionnel qu'à l'échelle de la dimension des flocons. Dans ce cas, la vase est en état de suspension.
- ✓ **Consolidation**, lorsque les particules élémentaires de la vase forment un réseau continu tridimensionnel. Dans ce cas, la vase est caractérisée par la présence des contraintes effectives, une partie des contraintes est transmise grain à grain et donc, la vase est en état de dépôt.

6- Tassement des sédiments grossiers

Les sédiments non cohésifs une fois déposés sur les fonds ne se tassent pratiquement pas sous leur propre poids mais peuvent subir une « mise en place » avec une imbrication entre eux, leur permettant d'avoir une portance et de mieux résister aux actions hydrodynamiques. Des sols constitués par de tels matériaux grossiers (galets, graviers et sables) sont pratiquement stables dans le temps. Leur indice des vides et leur masse spécifique dépendent du type de sable.

IV- Distribution des sédiments dans les retenues de barrages

La capacité utile d'un réservoir diminue au cours du temps suite aux dépôts successifs des sédiments sur le fond de la retenue, mais la question qui se pose, c'est de quelle manière ces particules solides se sont réparties et distribuées dans l'ensemble de la retenue, surtout lorsqu'on sait que ce phénomène complexe dépend de certains paramètres tels que :

- La forme géométrique de la retenue : petite, grande...
- La pente du fond de la retenue,
- La profondeur de la retenue,
- L'apport solide de la retenue.

Généralement la quantité des sédiments en suspension est égal 5 à 10 fois le volume de celui en dépôt. Les dépôts des sédiments dans un réservoir sont ainsi composés: la quantité volumineuse, qui est portée près du lit, se dépose à l'entrée du réservoir ; la matière en suspension est transportée plus loin et se dépose d'une manière plus ou moins uniforme sur tout le réservoir.

On distingue deux types de distribution des sédiments :

1. Distribution des sédiments par courants de densité.
2. Distribution des sédiments par envasement des sédiments grossiers et décantation des particules fines.

1. Distribution des sédiments par courants de densité

La formulation des courants de densité dans une retenue est conditionnée par deux paramètres :

- Apport solide important (concentration élevée) dans la retenue.
- Ecoulement torrentiel à l'entrée de la retenue, c'est-à-dire que le courant principal présente une forte pente.

Les courants de densité appelés parfois courants de gravité, sont des phénomènes qui se créent naturellement ou artificiellement. Les courants de densité se propagent au fond des retenues et peuvent parcourir plusieurs kilomètres.

2. Distribution des sédiments par l'envasement des sédiments grossiers et décantation des particules fines

Si le cours d'eau est de faible pente, il draine un apport solide de faible concentration et débouche dans une retenue de type «Lac» (cet élargissement brusque des vallées représente une zone de dépôt et de disparition des courants de densité). Dans ce cas la distribution des sédiments se fait par décantation des particules fines dans tous les endroits de la retenue et par charriage des particules grossières dans la partie amont du réservoir.

V- Moyens de lutte contre l'envasement

Pour prolonger la durée de vie des grands barrages, l'entretien de ces ouvrages est devenu aujourd'hui une nécessité pour les services d'hydraulique.

En plus de la diminution du volume utile des barrages, la stabilité de certains ouvrages est menacée par la forte poussée des vases. La rareté des sites favorables à la réalisation de nouveaux barrages a poussé les services d'hydraulique à entretenir les barrages en exploitation. Plusieurs méthodes (curatives et préventives) de lutte contre l'envasement ont été appliquées.

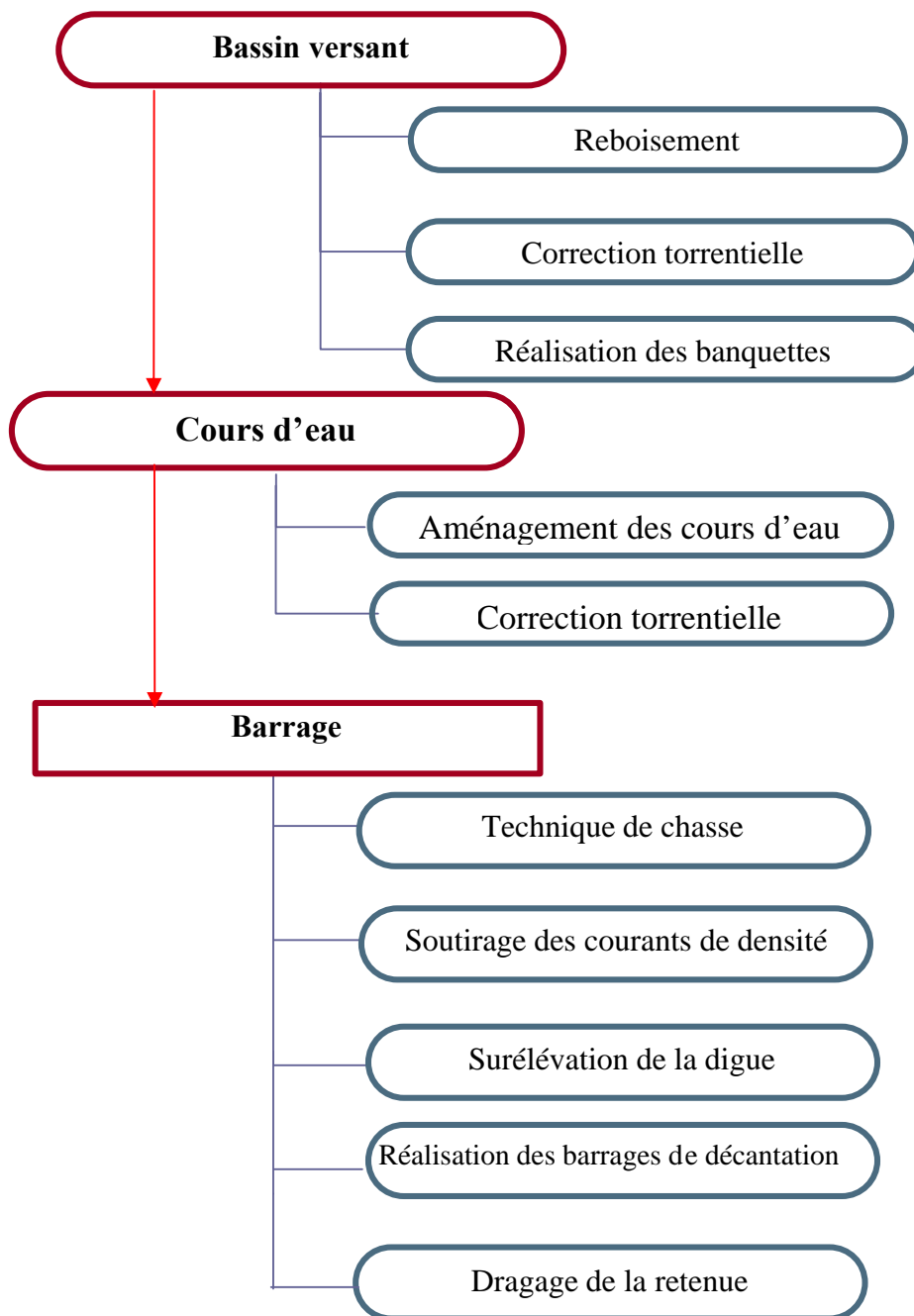


Figure III-2 : Moyens de lutte technique contre l'envasement des barrages.

1- Aménagement des bassins versants

Dans l'ensemble des bassins versants, des techniques de lutte contre l'érosion ont été pratiquées, nous citons quelques unes : le reboisement, la restauration des sols, la formation des banquettes, et la plantation de végétation à longue tiges dans les oueds.

Dans le cadre de la protection il est à noter que ces techniques constituent de véritables pièges à sédiments.

2- Installation des obstacles émergés dans les cours d'eau

L'année hydrographique en Algérie peut être répartie en deux saisons : sèche et humide. La période sèche s'étend du mois de Mai au mois d'Octobre, elle est caractérisée par de faibles précipitations et les oueds sont à sec. Quant à la saison humide qui s'étale du mois de Novembre au mois d'Avril, il y a généralement un écoulement dans les rivières, et on assiste des fois à de fortes crues.

Cette année hydrologique peut être favorable pour mettre au point une technique pratique et simple au niveau du cours d'eau principal (débouchant dans la retenue) qui consiste à réaliser un système d'obstacles émergés (en gabions) pour piéger des sédiments fins en amont de la retenue dans le cours d'eau principal).

Durant la saison humide, l'apport solide dans les oueds est considérable, la concentration en particules dépasse souvent la valeur de 100 g/l, ce qui peut favoriser les dépôts des sédiments dans l'oued causés par l'emplacement de ces obstacles, et qui peuvent être déblayés lors de la saison sèche à l'aide de simples moyens mécaniques. Ensuite ces vases peuvent être récupérées pour d'éventuelles utilisations industrielles (briques, tuiles et poterie...) et comme amendement pour les sols pauvres en matières organiques.

Cette méthode consiste à minimiser l'arrivée des sédiments fins dans la retenue, tout en favorisant leur dépôt dans le cours d'eau principal. Cette technique peut être réalisée par les blocs existants déjà dans l'oued lui-même et peut être même utilisée pour la réalimentation des nappes.

3- Réalisation de barrage de décantation

La meilleure façon d'éviter l'envasement, c'est d'empêcher la vase d'arriver jusqu'au barrage. Cela peut se faire par la création de retenues pour la décantation des apports solides, ce qui revient à construire un autre barrage en amont du barrage principal.

L'exemple du barrage de Boughezoul (situé à l'amont du Ghrib) qui est exploité partiellement comme réservoir de décantation au barrage de Ghrib, a permis de retenir depuis sa création 35 millions de m³ de vase. Il a réduit ainsi l'envasement de Ghrib de près de 24%.

4- Soutirage des courants de densité

La pratique des soutirages, particulièrement lorsque la configuration de la retenue du barrage est favorable à l'apparition des courants de densité, conduit à l'évacuation d'un volume de vase avec évidemment une perte d'eau.

La forte concentration en sédiments dans les cours d'eau surtout en période de crues et la forme géométrique de la cuvette (de type canal) donnent naissance aux courants de densité à l'entrée d'une retenue et peuvent se propager jusqu'au pied du barrage. L'ouverture des vannes de fond au moment opportun peut évacuer une forte quantité en sédiment.

Si une opération de soutirage n'est pas effectuée au bon moment pour une raison quelconque, on perd alors tout simplement une capacité de retenue égale au volume qu'on aurait dû évacuer, avec par ailleurs des répercussions ultérieures (la vase, en se déposant près de l'ouvrage, évolue dans le temps et les vannes finiront par se bloquer). Il importe donc de ne négliger aucune occasion de soutirer la vase chaque fois que cela est possible.

Comme fut le cas de la vanne de fond du barrage de Oued El Fodda, obturée en 1948 et celui de la vanne de fond du barrage des Zardezas, bloquée durant les années quatre vingt, ou celui de vanne de fond du barrage de Foum El Gherza, obturée en 1982.

5- La technique du barrage de chasse

La technique de chasse consiste à évacuer une quantité des sédiments par les pertuis de vidange à l'arrivée des crues. Elle est appliquée souvent au barrage de Béni-Amrane.

Le rendement des opérations de soutirage peut être augmenté par la création d'ondes de crues artificielles provenant d'un barrage de chasse réalisé à l'amont du barrage protégé. Cependant, la maîtrise de cette technique peut être néfaste et conduit forcément à un comblement rapide du barrage principal. Cette technique est envisagée surtout pour les réservoirs qui ont atteint un degré avancé d'envasement. Son inconvénient réside dans le choix du site de l'emplacement du barrage de chasse.

La construction du barrage de chasse de Bouhanifia en amont de celui de Fergoug avait pour but de minimiser la sédimentation dans ce dernier, mais finalement l'envasement a été extrêmement rapide.

6- La technique de dragage des barrages

L'évacuation des dépôts sédimentaires des réservoirs peut s'effectuer sans recours à une source d'énergie, c'est-à-dire en tirant avantage du potentiel représenté par l'eau arrêtée (évacuation par les vannes de fond), ou bien à l'aide de l'énergie extérieure (dragage).

La technique du dragage a été utilisée en Algérie depuis les années cinquante. L'opération de dragage est soumise à des conditions générales et particulières :

➤ **Conditions générales** : ces conditions sont liées à la forme de la retenue et aux caractéristiques de la vase.

a. Forme de la retenue

Il existe deux types de retenues : moyenne et grande

Types de retenues		
	Moyenne	Grande
Profondeur maximum	15 à 20 m	40 m
Distance de transport	2000 à 3000 m	1 5000 m

Tableau III-1 : Conditions liées à la forme de la retenue et aux caractéristiques de la vase.

b. Caractéristiques de la vase à draguer

* Granulométrie : la vase à draguer est constituée en général des silts et argiles, composés d'éléments de diamètre inférieur à 0,1 mm, avec quelques passages de sables fins de 0,5 mm de diamètre.

** Teneur en eau : elle est toujours supérieure à la limite de plasticité et même à la limite de liquidité dans les couches superficielles (densité moyenne 1,6).

➤ **Conditions particulières** : économie de l'eau, propriété aux irrigations (dragage discontinu), ne pas obstruer l'oued par le rejet des vases.

Malgré le coût onéreux de l'opération de dragage qui revient environ à celui de la réalisation d'un nouveau barrage, la technique de dragage devient indispensable pour les barrages dont la stabilité est en danger ou bien dans le cas où les sites pour la réalisation de nouveaux ouvrages deviennent rares.

La première drague utilisée en Algérie en 1957 est la drague refouleuse « Lucien DUMAY ». Suite à l'accélération de l'envasement du barrage de Fergoug III, l'Algérie a acquis en 1989 une nouvelle drague suceuse refouleuse baptisée « REZOUG Youcef ».

Du fait de l'apport solide important, la retenue du barrage des Zardézazas (Skikda) d'une capacité initiale de 31 Mm³ s'est réduite à une capacité d'environ 13 Mm³ en 1993 ; soit un volume de vase d'environ 18 Mm³. en effet, pour des raisons de sécurité de l'ouvrage il a fallu baisser le niveau de la retenue normale de 2 m en 1976

et en 1990 ; le volume régularisé qui était de 20 Mm³ s'est trouvé réduit à environ 10 Mm³ et cela s'est fait au détriment de l'approvisionnement de la population de Skikda et du périmètre du Saf-Saf.

Le dragage de la retenue est devenu une nécessité. C'est durant l'été de 1993 que les opérations de dragage ont commencé par le dévasement de la partie qui se trouve près de l'ouvrage pour minimiser la poussée des sédiments, ensuite l'opération de dragage se poursuit dans l'ensemble de la retenue.

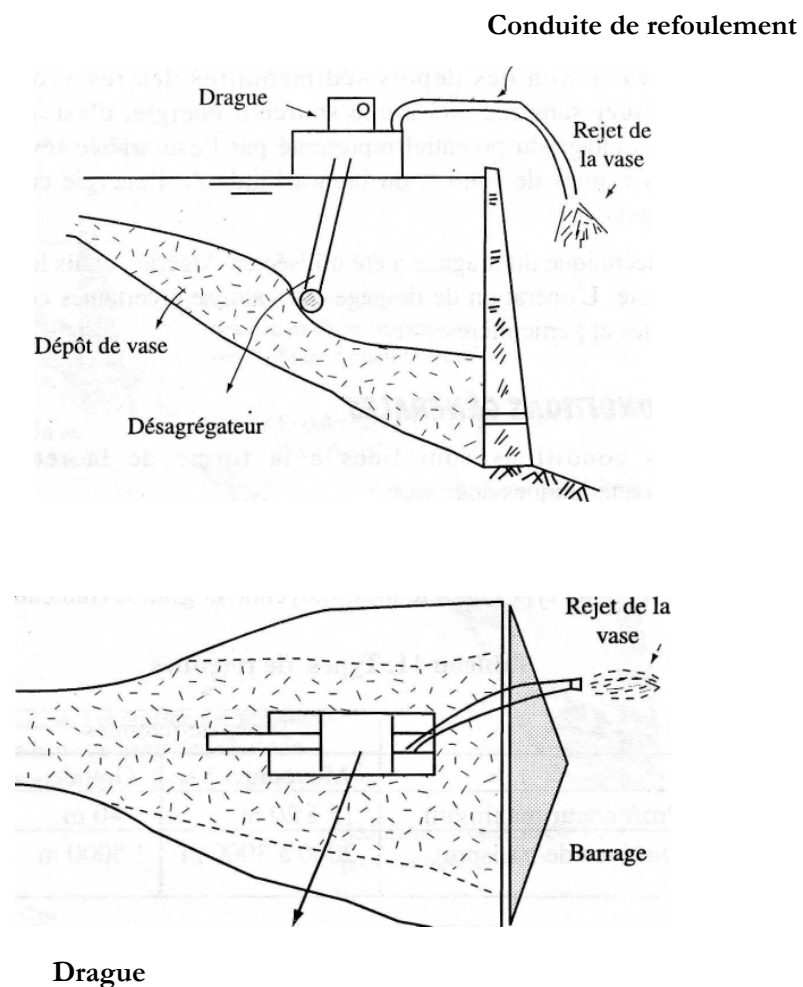


Figure III-3: Dévasement d'une retenue de barrage à l'aide d'une drague suceuse – refouleuse.

7- Surélévation des barrages

La surélévation d'un barrage permet d'augmenter la capacité de la retenue et donc de compenser la valeur envasée. Dans ce contexte, la surélévation des barrages existants est une solution intéressante, lorsqu'elle est techniquement réalisable c'est-à-dire lorsque la stabilité du barrage n'est pas mise en jeu. Spécialement, si elle n'entraîne pas de contestations sociales.

L'évacuateur de crues doit faire passer la crue de projet sans mettre en danger le barrage et sans provoquer des conditions à l'aval qui serait plus dangereuses que celles existant avant la construction du barrage.

Il existe deux méthodes pour surélever un barrage soit : en surélevant le corps du barrage ainsi que tous les ouvrages annexes, ou bien par des brochures mobiles.

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

➤ *Barrage du Hamiz* : l'envasement accéléré de la retenue a permis à l'administration en 1883 de surélever la digue du barrage de 7 m pour porter sa capacité à 23 millions de m³.

➤ *Barrage de K'sob* : du fait de la progression de l'envasement du barrage, la capacité a été réduite à moins de 4 millions de m³. En 1975, la hauteur du barrage a été portée à 43 m (15 m de plus) pour porter sa capacité à 31 millions de m³.

➤ *Barrage de Zardezas* : du fait de l'envasement accéléré, la capacité du barrage est passée à 7,5 millions de m³ en 1974. En 1977, la hauteur du barrage a été portée à 45 m (12,5 m de plus). Le volume ainsi obtenu est de 31 millions de m³.

L'équipement du seuil libre permet de valoriser la tranche du plan d'eau comprise entre le niveau normal de retenue et le niveau des plus hautes eaux :

- Soit pour accroître la ressource en eau, sans diminuer la sécurité vis-à-vis des crues,
- Soit pour accroître la sécurité vis-à-vis des crues à niveau de retenue identique.

Trois dispositifs sont envisageables :

- L'installation d'organes mobiles.
- La mise en place de boudins gonflables.
- La pose de hausses fusibles.

7-1/ Les vannes

a- Les différents types de vannes

▪ Vannes levantes verticales

Il s'agit généralement de vannes wagon (sauf pour les petits barrages, parfois équipés de vannes à glissières).

Pour les évacuateurs de surface des grands barrages, ces vannes nécessitent une superstructure assez importante, et généralement un portique de manoeuvre et de manutention pour l'entretien.

Ces vannes sont capables de couper le plein débit. Elles sont équipées d'une barre d'étanchéité sur le bord inférieur et d'étanchéités en "note de musique" sur les bords latéraux.

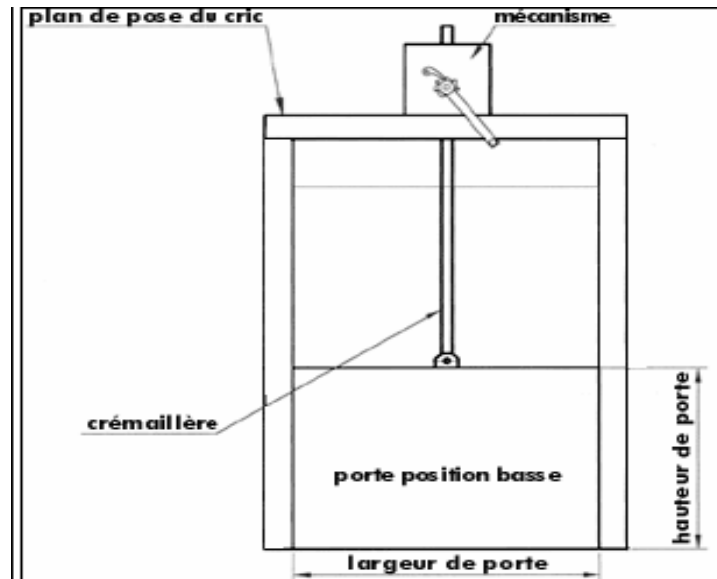


Figure III-4: Schéma d'une vanne levante verticale.

▪ Vannes segment et secteur

La vanne segment et secteur est le type le plus répandu. En effet, son coût de fabrication est moindre.

Elle est caractérisée par la forme de sa tôle bordée en secteur de cylindre. Cette particularité a pour conséquence de transmettre tous les efforts de poussée hydraulique radialement et donc de faire passer les résultantes de forces par l'axe de rotation de l'ensemble.

En clair, l'effort de manoeuvre de cette vanne ne dépend que très peu de la pression hydraulique que l'on applique à sa surface.

De plus, les conditions d'écoulement sont améliorées par rapport à la vanne wagon, compte tenu de l'absence de rainures. Elle est équipée d'une barre d'étanchéité rigide sur le bord inférieur et d'étanchéités glissantes en "note de musique" sur les bords verticaux.

Il est généralement déconseillé de laisser déverser par-dessus une grande vanne segment. En effet, pour un débit important, on risque de voir apparaître de fortes vibrations, mettant en danger la tenue mécanique de la vanne. S'il y a un risque d'accumulation de corps solides à l'amont de la vanne, on peut prévoir un volet mobile au sommet de la vanne segment pour évacuer ces matériaux.

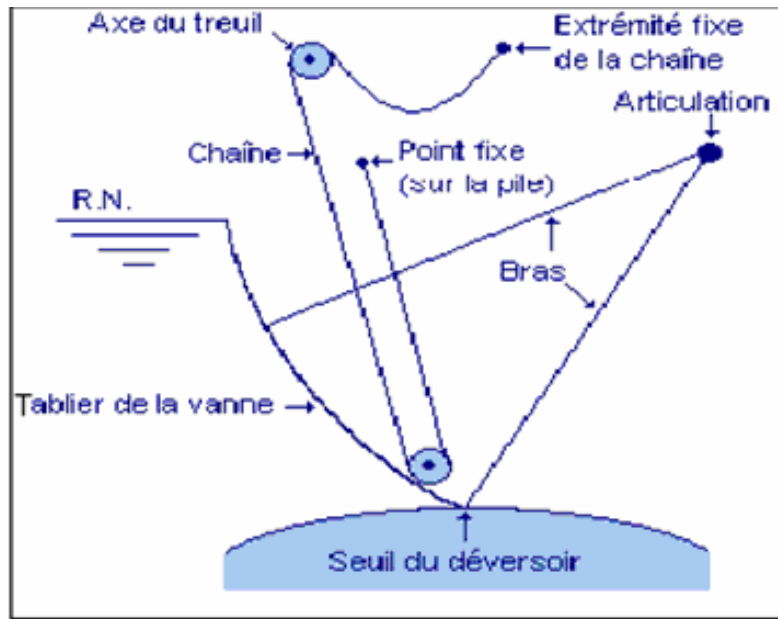


Figure III-5 : Schéma d'une vanne segment.

▪ Vannes clapet

Les vannes clapet équipant les évacuateurs de surface assurent le réglage fin du niveau de la retenue lorsque la hauteur de la nappe déversante est relativement faible.

La vanne clapet est excellente lorsqu'il y a risque d'accumulation d'une grande quantité de corps solides coté amont, car ces matériaux passent facilement par dessus la vanne.

L'organe de manoeuvre peut être du type cric, treuil ou vérin hydraulique....

Celui-ci est manuel ou motorisé, à commande manuelle, semi-automatique ou automatique.

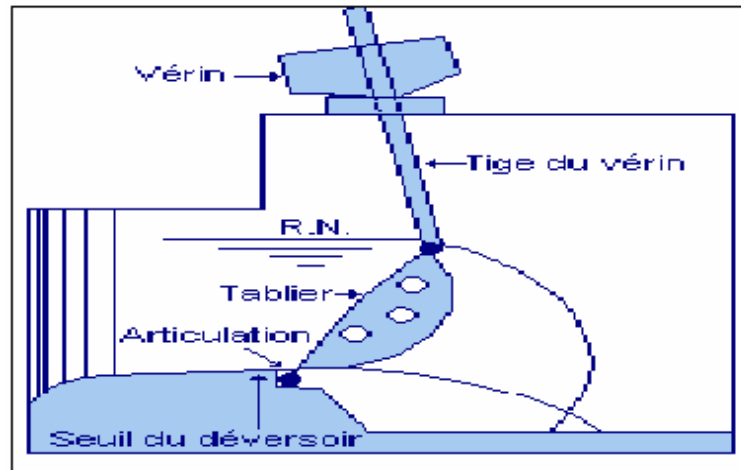


Figure III-6 : Schéma d'une vanne clapet.

b- Avantages et inconvénients

L'évacuateur vanne donne plus de souplesse d'exploitation qu'un seuil libre. De plus, le coût total est plus faible que pour un déversoir à seuil libre pour un débit équivalent. Cette souplesse d'exploitation se traduit par la possibilité d'intégrer une stratégie de passage des crues exceptionnelles en limitant les lâchées pour ne pas dépasser le débit au-delà duquel il y aurait des inondations à l'aval.

La fiabilité du fonctionnement des vannes est impérative pour assurer la sécurité du barrage lors du passage des crues exceptionnelles. En général, il y a deux causes principales de défaillance de fonctionnement :

- Soit l'exploitant tarde à ouvrir les vannes ou omet de les ouvrir, alors même que ces vannes sont en bon état de fonctionnement.
- Soit la manoeuvre est impossible par suite de désordres affectant la vanne elle-même (vices de conception, désordres dus au vieillissement), ou de panne d'un ou de plusieurs éléments de l'équipement de commande.

Afin d'assurer la fiabilité de fonctionnement des évacuateurs de crue vannes, un programme régulier d'inspection et d'entretien des évacuateurs et des vannes est d'une nécessité absolue, donnant naissance à des frais de maintenance qui progressent dans le temps.

Cette technique a été réalisée sur plusieurs barrages en Algérie tels que : le barrage de Zardezas à Skikda.



Figure III-7 : Photo du barrage de Zardezas



Figure III-8 : Photo du barrage de K'sob.



Figure III-9 : Photo du barrage de Bouhanifia.

7-2/ Les seuils gonflables

Inventé et breveté en 1947 par le professeur français MESNAGER, ce procédé permettrait de gagner en hauteur sans nuire à la sécurité du barrage.

a- Principe de fonctionnement

Le principe de base consiste à s'opposer à la poussée de l'eau par une membrane fixée sur le seuil et gonflée à l'air ou à l'eau. Cette membrane résiste à la poussée de l'eau, sans fléchir grâce à la contre pression maintenue à l'intérieur. Mais lorsque le niveau du plan d'eau tend à s'élever, l'accroissement de la poussée de l'eau dégonfle partiellement ou totalement la membrane pour permettre le passage de grands débits.

Donc l'abaissement du seuil lors des crues se fait automatiquement; par contre la remise à niveau du seuil nécessite une source d'énergie électrique ou mécanique.

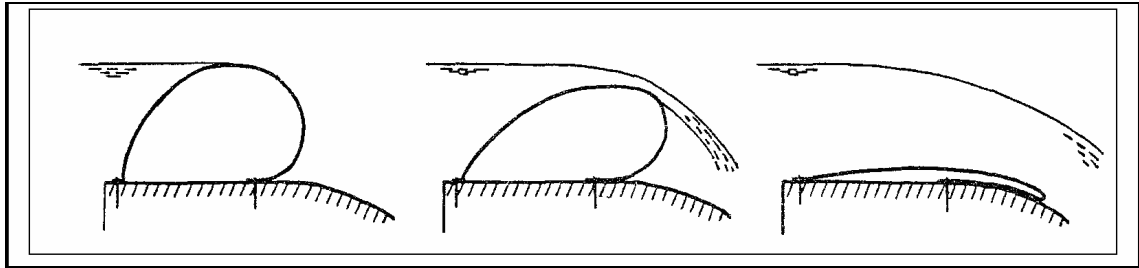


Figure III-10: Fonctionnement d'un seuil gonflable.

b- Description d'un seuil gonflé à l'eau

La membrane est constituée d'un matériau élastomère renforcé par une armature à la fois souple et résistante. Elle est repliée en forme de boudin et fixée à un radier horizontal en béton et aux deux bajoyers. L'enveloppe ainsi formée est reliée à un puits placé sur l'une des rives. Le puits est alimenté en eau de manière à créer une charge Q à l'intérieur de la membrane supérieure de 30% à 50% à la charge P correspondant au plan d'eau normal rehaussé.

Lorsque le niveau de l'eau tend à augmenter à l'amont à cause de l'accroissement de la poussée P :

- pour des charges $P < Q$: on a un déversement sur le seuil sans que celui-ci se dégonfle.

- pour des charges $P > Q$: le seuil se dégonfle progressivement sous l'effet de la poussée P en expulsant l'eau du puit par surverse.

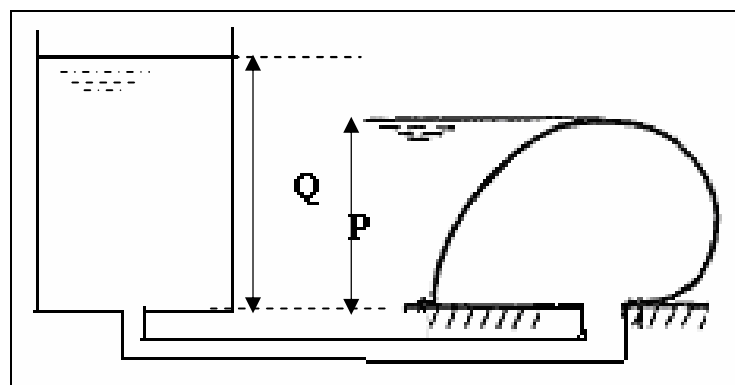


Figure III-11 : Principe d'un seuil gonflé à l'eau.

c- Avantages et inconvénients

Ce système résiste bien aux corps flottants. En effet, à leur arrivée sur la crête, ils provoquent une pression localisée qui dégonfle légèrement la membrane : une encoche en **V** se forme, la vitesse augmente, ce qui expulse le corps flottant vers l'aval.

Mais malgré plusieurs décennies d'expérimentation, ce système n'a pas apporté de solution totalement satisfaisante du fait que la membrane se dégrade très rapidement en perdant ses propriétés élastiques, nécessitant ainsi un remplacement fréquent. Cette membrane est sujette à de fréquentes alternances d'immersion et d'exposition aux ultraviolets en fonction des fluctuations du niveau d'eau dans le réservoir. Et aussi elle peut être endommagée par vandalisme.

De plus de tels seuils ont une hauteur généralement de 1,5 m à 3 m ce qui rend le système peu économique.

7-3/ Les hausses fusibles

Ce système a été inventé en 1989 par LEMPERIERE afin d'augmenter le volume utile de la retenue, la capacité de l'évacuateur ou les deux en même temps.

Le principe des hausses fusibles est d'allier les avantages d'un seuil vanne à ceux d'un seuil libre. Ce système est constitué d'éléments jointifs et indépendants disposés sur le seuil libre du déversoir de manière à former un écran étanche, augmentant ainsi la capacité du barrage.

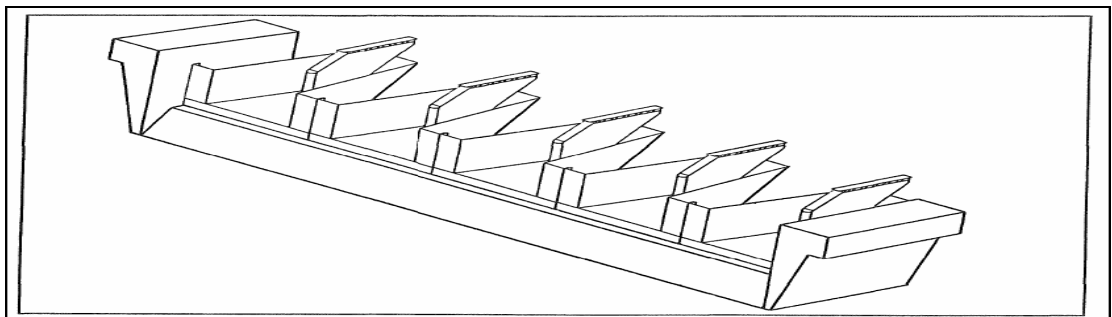


Figure III-12 : Seuil rehaussé par des hausses fusibles.

a- Présentation des hausses fusibles

Chaque hausse est constituée de trois parties : La partie hausse, la chambre de mise en pression au contact du seuil, l'entonnoir ou puits d'alimentation et le lest.

Chacune de ces parties peut avoir une configuration différente en fonction de sa destination.

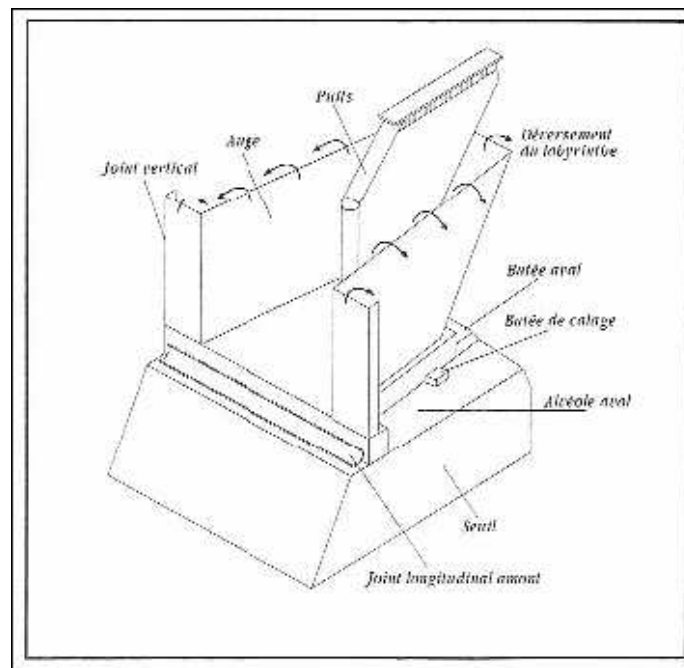


Figure III-13 : Vue depuis l'amont d'une hausse.

▪ Le puits

Le puits d'alimentation est généralement solidaire de la hausse et construit en acier mais dans le cas de fortes crues, son fut est alors construit en béton afin d'éviter les vibrations. Sa partie supérieure est évasée, l'embouchure est protégée par des barreaux et surmontée d'un chapeau. Et sa partie inférieure est en communication avec la chambre de mise en pression. La position du puits par rapport à la hausse et le profil de son embouchure sont adaptés à la forme de la ligne d'eau.

▪ La chambre de mise en pression

La chambre de mise en pression est solidaire à la hausse. Sa base est construite en béton ou en acier. Elle est en contact en aval avec deux butées en béton ancrées dans le seuil et un dispositif d'étanchéité l'isole du réservoir amont.

Exceptionnellement, la forme de la chambre peut être adaptée à la forme du seuil Greager afin d'éviter les problèmes de dérasement.

Elle comporte des purges afin d'éviter la mise en pression accidentelle de la chambre due aux eaux de fuites à partir du réservoir. La section des purges est nettement inférieure à celle du puits d'alimentation de façon à provoquer à coup sûr la sous pression en cas de déversement dans le puits.

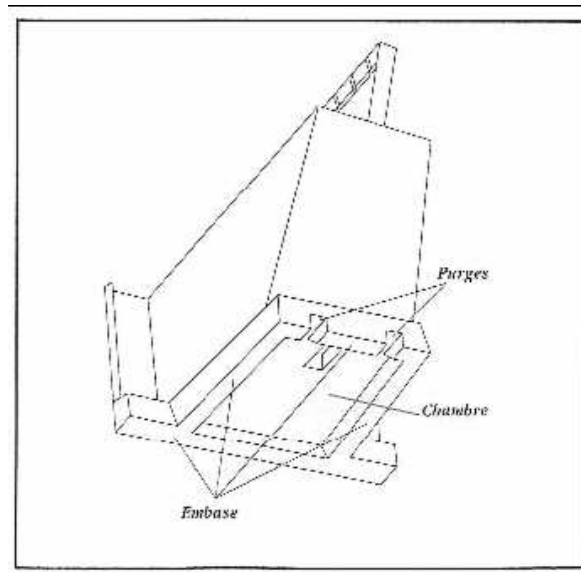


Figure III-14: Vue de dessous d'une hausse.

▪ Le lest

Par conception, l'équilibre général des hausses est assuré d'une part, par la forme de celle-ci et d'autre part, par la nature des matériaux qui la constituent.

Donc, le lest sert à compléter cet équilibrage et à ajuster la pression régnant dans la chambre au moment du basculement de chaque hausse. Il permet en particulier de différencier le comportement de chaque hausse. Il est constitué suivant les cas, de blocs de béton, d'acier, ou de fonte.

b- Principe de fonctionnement

Selon le niveau d'eau dans le réservoir, les éléments de rehausse fonctionnent comme un barrage, un déversoir ou un fusible. Ce système fonctionne uniquement sous l'action de l'eau, n'utilisant ni énergie ni dispositif mécanique.

Lorsque le niveau d'eau est inférieur ou égal au niveau d'arase des hausses, celles-ci fonctionnent comme un barrage et chaque élément est autostable.

Pour les crues modérées, le niveau d'eau s'élève au-dessus de la cote d'arase des hausses, celles-ci fonctionnant comme un déversoir à seuil libre.

Par contre, lors des crues exceptionnelles, l'augmentation du niveau d'eau dans la retenue atteint un niveau à partir duquel l'eau pénètre dans le puits pour s'accumuler dans la chambre, créant ainsi une forte pression qui déstabilise la hausse et la fait basculer. Le terme « fusible » ne doit pas induire en erreur : les hausses commencent à basculer seulement dans le cas de crues à très faible probabilité d'occurrence.

Les hausses fusibles sont des éléments indépendants entre eux, le basculement d'une hausse n'induit pas forcément le basculement d'une autre hausse. Les niveaux de basculement des hausses sont réglés à différentes hauteurs, de manière à ce que l'effacement des hausses soit progressif ; à mesure que les hausses basculent, la brèche par laquelle l'eau peut s'échapper s'accroît, soulageant le barrage d'un déversement excessif qui pourrait l'endommager. De plus, le basculement progressif permet d'atténuer l'effet des crues très exceptionnelles.

La fréquence de basculement peut être ajustée en fonction d'un optimum économique reliant les gains de stockage au déficit d'exploitation en cas de basculement d'une ou de plusieurs hausses.

Le principe de fonctionnement des hausses est schématisé dans ce qui suit :

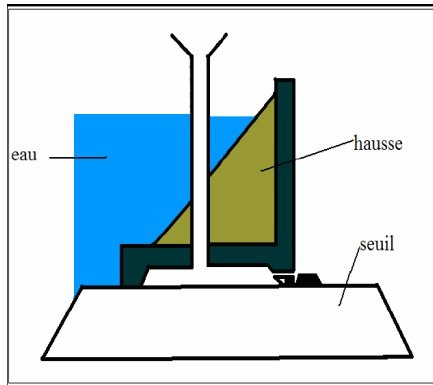


Figure III-15 : La hausse fonctionne comme un barrage.

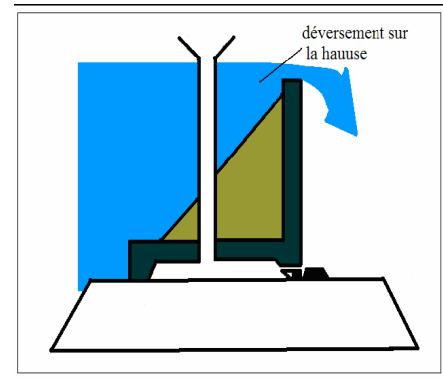


Figure III-16 : La hausse comme un déversoir

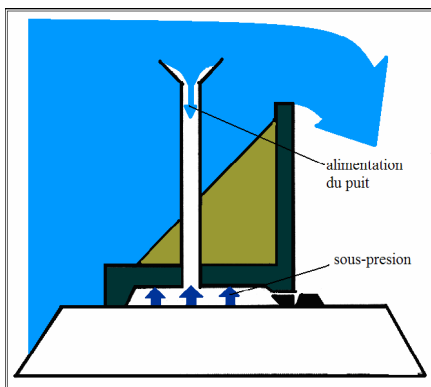


Figure III-17 : Alimentation de la chambre la de mise en pression.

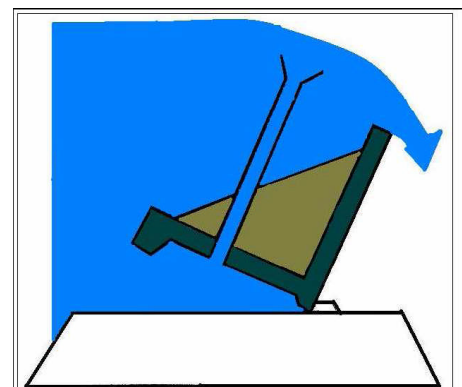


Figure III-18 : L'eau bascule hausse.

c- Les types de hausses fusibles

Divers modèles de hausses sont développés afin de répondre aux exigences spécifiques de chaque projet. Les hausses varient en hauteur, en forme, en poids ainsi qu'en matériaux de fabrication.

Caractérisées principalement par la forme de leur crête, on distingue deux types : les hausses à crête labyrinthe et les hausses à crête rectiligne.

- **Hausses à crête labyrinthe**

La hausse est constituée d'un caisson ouvert vers l'amont dont la crête a une forme labyrinthe. Cette disposition permet l'écoulement des crues sous une hauteur de lame déversante réduite vu que la longueur déversante est augmentée.

Il existe trois modèles de hausses selon la lame déversante (faible, modérée, forte).

Les hausses labyrinthe sont fabriquées en acier ou en béton et elles peuvent être également mixtes.

Ce type de hausses est utilisé quand la hauteur de la lame déversante varie entre 30% à 140% de la hauteur de celles-ci. De plus, leurs dimensions sont standardisées. La hauteur de la hausse varie de 1,5 m à 6,5 m.

Le poids des hausses est :

- 2 t pour 2 m de hauteur d'élément.
- 15 t pour 5 m de hauteur d'élément.
- 40 t pour plus de 5 m de hauteur d'élément.

- **Hausses à crête rectiligne**

Les hausses à crête rectiligne, appelées aussi hausses droites, sont déclinées en deux modèles de base suivant la hauteur de la lame déversante :

- Pour les fortes lames d'eau*

Elles peuvent supporter des hauteurs allant jusqu'à quatre fois leur hauteur propre. Ces hausses sont généralement construites en béton plein et leur crête est profilée afin d'optimiser l'écoulement.

Dans ce cas, le labyrinthe perdrait une grande partie de son efficacité.

- Pour les faibles lames d'eau*

Utilisée habituellement comme complément à un système vanne, elles sont réglées pour basculer avant déversement ou à la suite d'un déversement annonciateur très faible. Cela permet une gestion fine du niveau de la retenue tout en augmentant la sécurité du barrage tant vis-à-vis des crues importantes que d'une défaillance de la vanne.

Ces hausses peuvent être utilisées seules pour mettre automatiquement en service des bassins de stockage de crues disposés le long des grands fleuves.

Leur hauteur peut varier de un mètre à une dizaine de mètres. Elles sont constituées de deux panneaux rectangulaires en acier ou en béton préfabriqué.

Du fait de leur rôle de soutien aux dispositifs mécaniques, on les appelle «hausses de sécurité».

Le poids de ces hausses est : - 4 t pour 5 m de hauteur.

- 10 t pour 8 m de hauteur.

- 25 t pour 12 m de hauteur.

d- Avantages des hausses fusibles

▪ Sécurité du système

Le système est conçu et calculé pour ne jamais mettre en péril, quelles que soient les circonstances, l'ouvrage ou les biens et les personnes situées en aval.

Pour chaque projet, l'effet de tout dysfonctionnement éventuel est vérifié.

En particulier, deux cotes conditionnent le dimensionnement :

- *La cote ultime de stabilité* : C'est la cote à partir de laquelle la hausse bascule sous la simple poussée de l'eau, sans mise en pression de sa chambre.

- *La cote minimale de fusibilité* : C'est la cote en deçà de laquelle la hausse ne peut pas basculer, même si la sous-pression dans la chambre était maximale.

▪ Le système est économique

La flexibilité du système permet de l'adapter sur les barrages nouveaux et anciens pour améliorer la sécurité des évacuateurs de crues tout en augmentant la capacité du réservoir.

Cela représente une solution économique du fait que :

- ✓ Les anciens barrages seront remis en valeur tout en évitant le déplacement des populations vu que le niveau des plus hautes eaux reste inchangé.
- ✓ Cela permet une augmentation de la réserve en eau tout évitant la construction des nouveaux barrages.
- ✓ Il y a réduction des frais d'exploitation vu que le système fonctionne uniquement sous la poussée de l'eau et ne nécessite aucun asservissement.
- ✓ La hauteur des nouveaux barrage est réduite car on conçoit des évacuateurs de crues économiques et facile à implanter, tout en garantissant une sécurité de fonctionnement comparable à celle des évacuateurs à seuil libre.
- ✓ La perte de la hausse affecte peu l'économie du projet.
- ✓ La durée de vie du système dans son intégralité est donc généralement très supérieure à celle d'autres systèmes plus exposés au vieillissement ou aux détériorations.

▪ Le système est pratique

La mise en place des hausses est rapide et ne nécessite que l'aménagement d'une surface plane sur le seuil du déversoir où elles seront posées et ceci quel que soit le type du barrage. En outre, n'utilisant ni énergie ni dispositif mécanique, le système à hausses fusibles ne nécessitent qu'une surveillance et un entretien réduits.

▪ Le système respecte l'environnement

Les hausses fusibles représentent une solution écologique. Elles permettent d'optimiser les barrages existants et d'éviter la construction de nouveaux barrages. De plus, fonctionnant uniquement sur la force de l'eau, il n'y a aucun risque de rejet de polluant.

7-4/ les hausses fusibles en Algérie

En Algérie cette technique a été réalisée sur trois barrage : Béni-Amrane, Foum el Gueiss et Ghrib.

➤ Le barrage de Béni-Amrane

Fin de chantier : 2003

Objectif : Augmentation de la capacité de stockage

Type de hausse : Droite

Nombre : 7

Hauteur : 3,75 m

Largeur : 14,60 m

Gain de stockage : 7 100 000 m³ (46%)



Figure III-19 : Photo des hausses fusibles barrage de Béni-Amrane..

➤ Barrage de Foum el Gueiss

Le barrage de Foum El Gueiss, opéré par l'Agence Nationale des Barrages et Transferts pour l'irrigation de la plaine agricole de Remila s'est totalement envasé depuis sa mise en eau.

L'installation de hausses fusibles a permis d'accroître la capacité de stockage de près de 500 000 m³ tout en augmentant le niveau de l'eau d'un mètre, hauteur nécessaire pour le dévasement de la retenue à l'aide de barge flottante.

Fin de chantier : 2005

Objectif : Augmentation de la capacité de stockage

Type de hausse : Labyrinthe à forte lame déversante

Nombre : 48

Hauteur : 1,10 m

Largeur : 1,98 m

Gain de stockage : 430 000 m³ (139%)



Figure III-20 : Photo des Hausses fusibles du barrage de Foum El Gueiss.

➤ Barrage du Ghrib

Le barrage du Ghrib, opéré par l'Agence Nationale des Barrages et Transferts permet d'une part d'alimenter la ville d'Alger en eau potable et d'autre part d'irriguer les plaines du Haut et du Bas Chellif. L'installation de hausses fusibles permet d'accroître la capacité de stockage de la retenue de 70 hm³, restaurant ainsi la capacité initiale avant l'envasement du barrage.

Les 20 hausses fusibles de 4,50 m de hauteur sont les plus imposantes construites à ce jour au Maghreb et sont associées à 2 clapets de 4,0 m de hauteur et 15 m de largeur.

Fin de chantier : 2007
Objectif : Augmentation de la capacité de stockage
Type de hausse : Labyrinthe à lame déversante modérée
Nombre : 20
Hauteur : 4,50 m
Largeur : 6,75 m
Gain de stockage : 69 997 410 m³ (44%)



Figure III-21 : Photo des hausses fusibles du barrage de Ghrib.

CHAPITRE IV

ENVASEMENT DU BARRAGE DE BENI- AMRANE

Chapitre IV

ENVASEMENT DU BARRAGE DE BENI-AMRANE

I- Introduction

Le bassin est drainé par deux principaux cours d'eau: Oued Mellah et Oued Isser, et dispose d'un réseau hydrographique assez dense et couvrant une très grande partie du bassin. Cette caractéristique favorise le phénomène du transport solide.

La lithologie permet de connaître le degré d'érodabilité et d'exprimer l'effet des formations lithologiques sur le transport solide. Le bassin présente une lithologie d'une extrême sensibilité à l'érosion, car il est constitué en grande partie de formations marneuses.

Comme mentionné précédemment (chapitre 1), le couvert végétal du bassin est caractérisé par une faible densité végétale (environ 20% de la superficie totale), ce qui accélère le phénomène de l'érosion

II- Risque d'érosion

L'érosion hydrique concerne l'arrachement, le transfert et la sédimentation des particules du sol par l'eau. Ce phénomène, qui est mondial et porte préjudice aux potentialités en eau et en sol, est un facteur d'évolution surtout économique. Parmi ses conséquences très néfastes, il y a celles situées à l'aval des versants : il s'agit de l'envasement et de la réduction de la durée de vie des retenues.

L'apparition de figures d'érosion (entraînement des particules de sol, arrachées sous l'effet de l'énergie associée aux écoulements) est le résultat de la combinaison de différents facteurs :

- ✓ *Pente du terrain* : la pente conditionne la vitesse des écoulements et donc leur énergie ;
- ✓ *Nature des sols* : certaines textures de sols sont favorables à la désagrégation de la structure de surface ;

- ✓ *Occupation des sols* : l'armature racinaire associée au couvert végétal confère au sol une capacité à la résistance vis-à-vis de l'érosion hydrique ;
- ✓ *Pluviométrie* : l'intensité pluviométrique est à l'origine de la mobilisation des matériaux.

Une carte d'érosion (Figure IV-1) a été produite d'après une analyse du bassin versant.

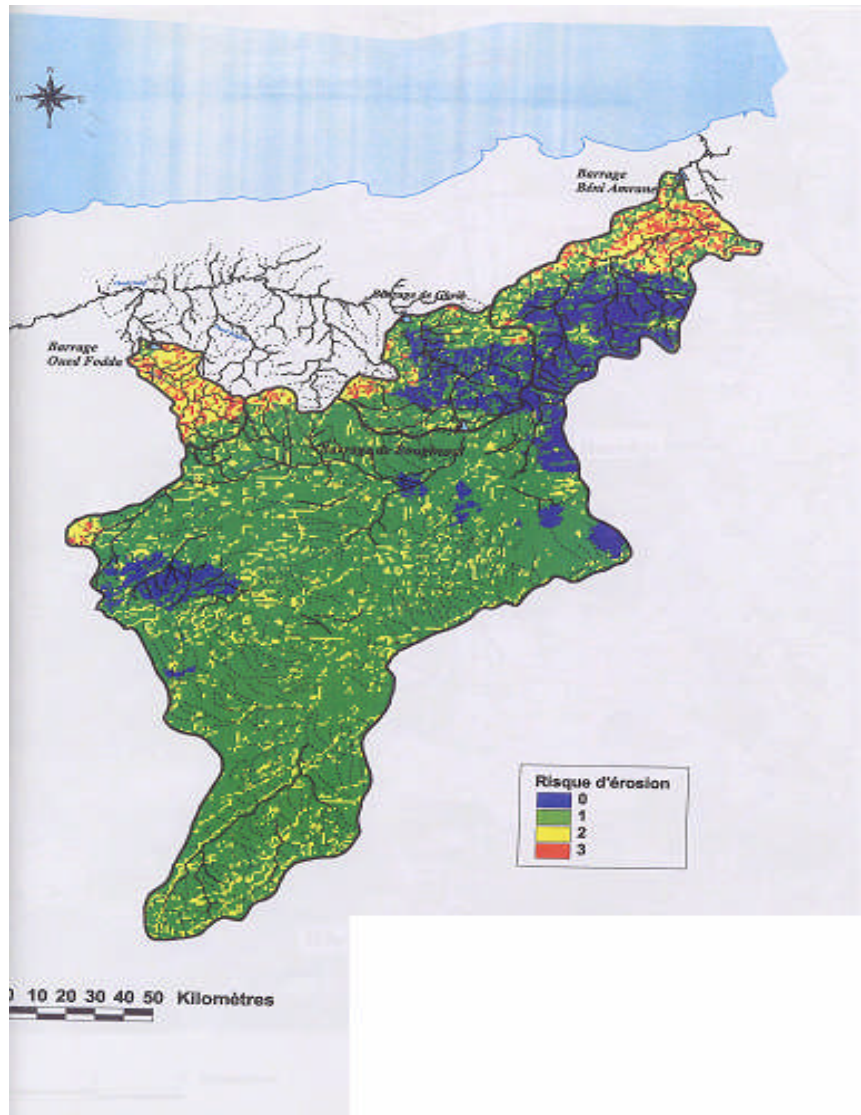


Figure IV-1: Carte exprimant le risque d'érosion

- | | | | | | |
|---------|---|---------------------|---------|---|-------------------|
| - bleu | 0 | risque très faible. | - vert | 1 | risque faible. |
| - jaune | 2 | risque fort. | - rouge | 3 | risque très fort. |

D'après cette carte on constate que le risque est élevé à très élevé sur toute la moitié inférieure du bassin.

III- Situation de l'envasement

La retenue du barrage de Béni-Amrane a connu un envasement important et rapide depuis sa mise en service 1988, diminuant sa capacité utile.

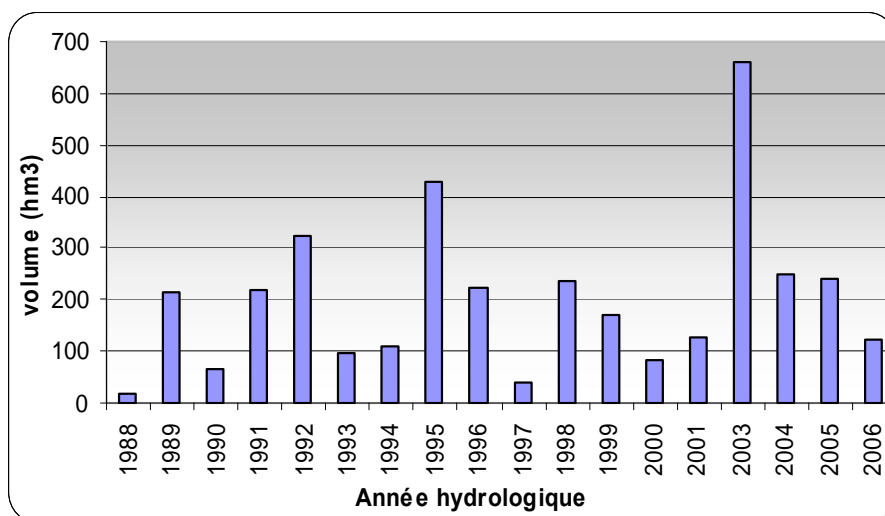


Figure IV-2 : Variations annuelles des apports liquides de l'Oued Isser (station de Lakhdaria).

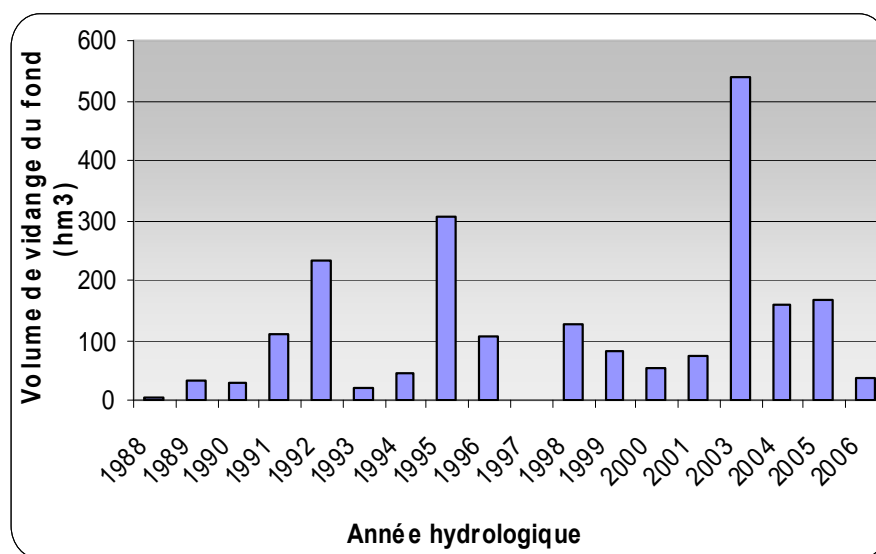


Figure IV-3 : Variations annuelles des vidanges du fond du barrage de Béni-Amrane.

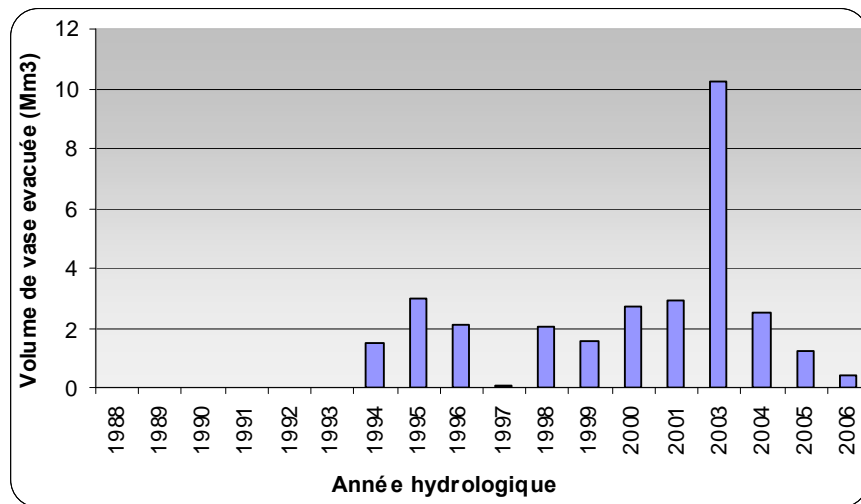


Figure IV-4 : Variations annuelles du volume de vase évacuée au niveau du barrage de Béni-Amrane

On a vu dans le chapitre II que le volume moyen liquide est de $414 \text{ Mm}^3/\text{an}$, correspondant à un module interannuel de $13 \text{ m}^3/\text{s}$. la charge solide moyenne est estimée à $16,2 \text{ g/l}$, valeur correspondant à un taux d'érosion spécifique de $1800 \text{ t}/\text{km}^2/\text{an}$.

Les concentrations varient très largement (de 0 à 265 g/l) suivant le régime, l'essentiel des débits solides provenant de la phase de montée des crues. La concentration interannuelle varie peu : de $12,4$ à $19,5 \text{ g/l}$.

La cuvette s'étend sur un méandre de l'Oued Isser suivant une longueur d'environ 9 km. Les figures suivantes représentent l'évolution de la cuvette.

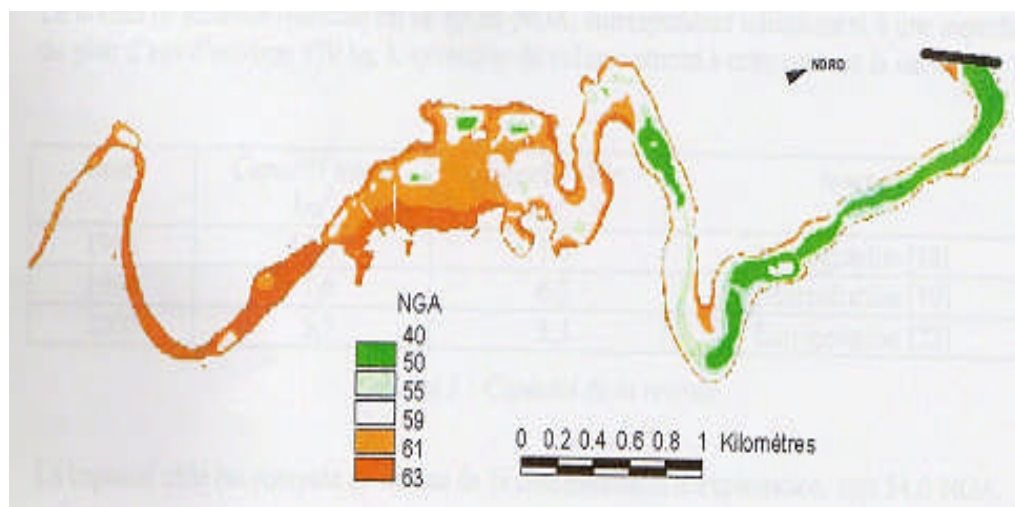


Figure IV-6 : Situation de la cuvette en 1994.

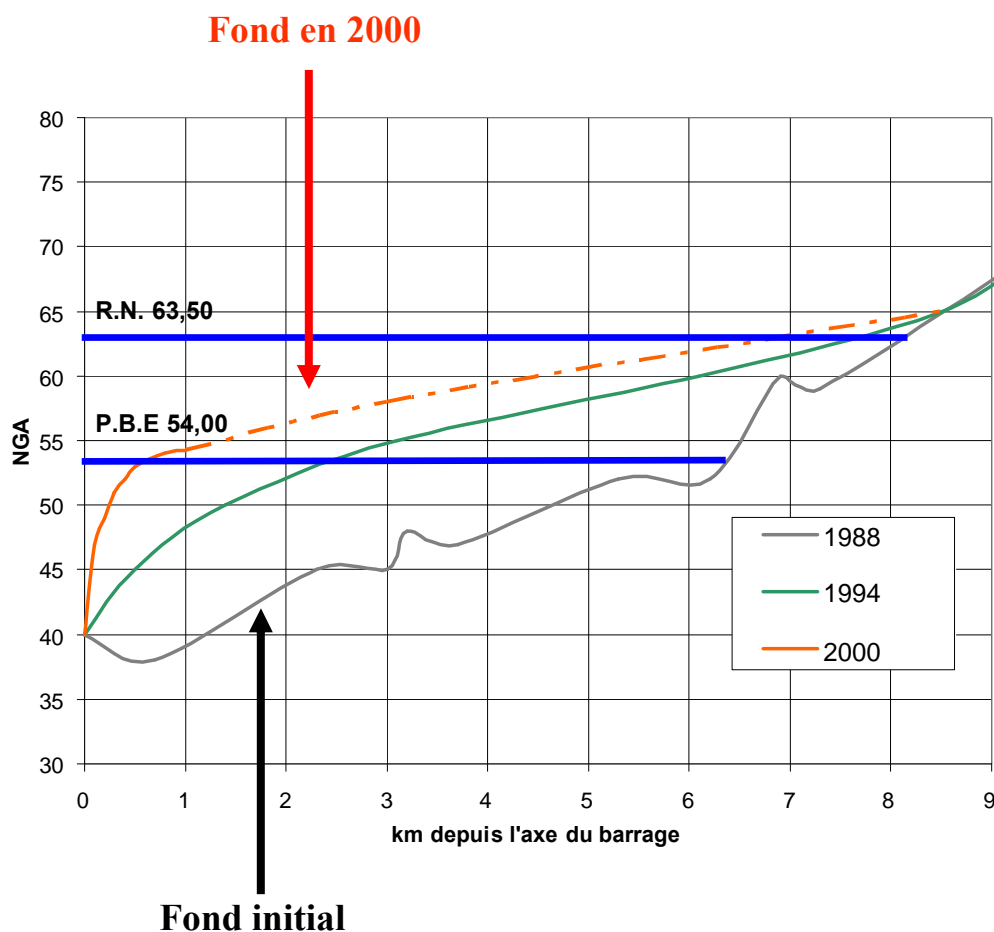


Figure IV-7 : Profil en long de la cuvette.

On constate un exhaussement moyen de près de 10 m entre la mise en eau du barrage et 1994. Plusieurs mètres supplémentaires de sédiments se sont accumulés depuis.

La pente initiale de l'oued s'est légèrement adoucie, passant de 2,5 m/km à 1,5 m/km. La pente du dernier kilomètre aval a par contre considérablement augmenté du fait des chasses par les vannes. Initialement égale à celle du reste de l'Oued, elle atteint aujourd'hui la valeur de 1,4%, voire 3% pour les derniers 500 m.

Une image de l'évolution de l'envasement entre 1994 et 2000 est donnée ci-dessous. Elle ne concerne que la moitié aval de la cuvette.

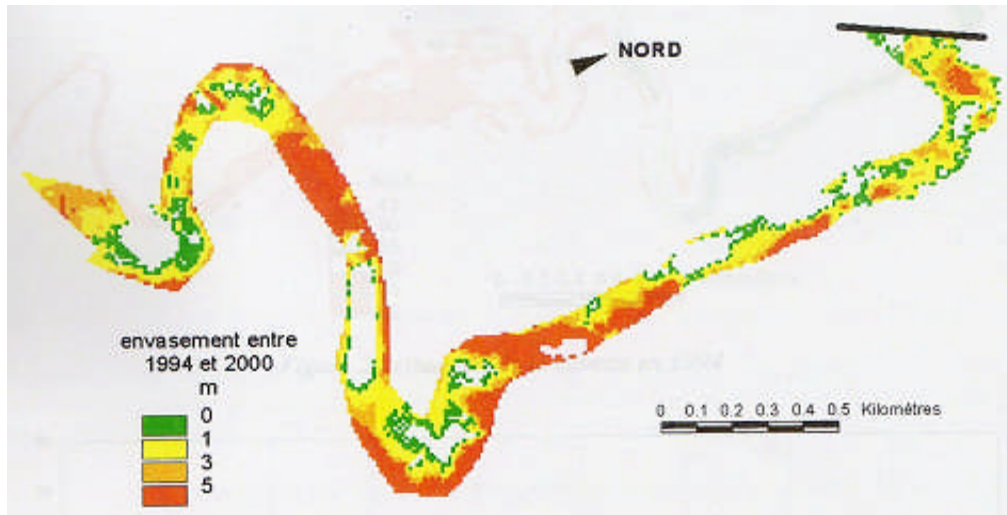


Figure IV-8: Evolution de l'envasement entre 1994 et 2000.

Les courbes hauteur - capacité, extrapolées au delà de la cote 54 NGA s'agissant de la courbe de l'année 2000, sont représentées ci-après.

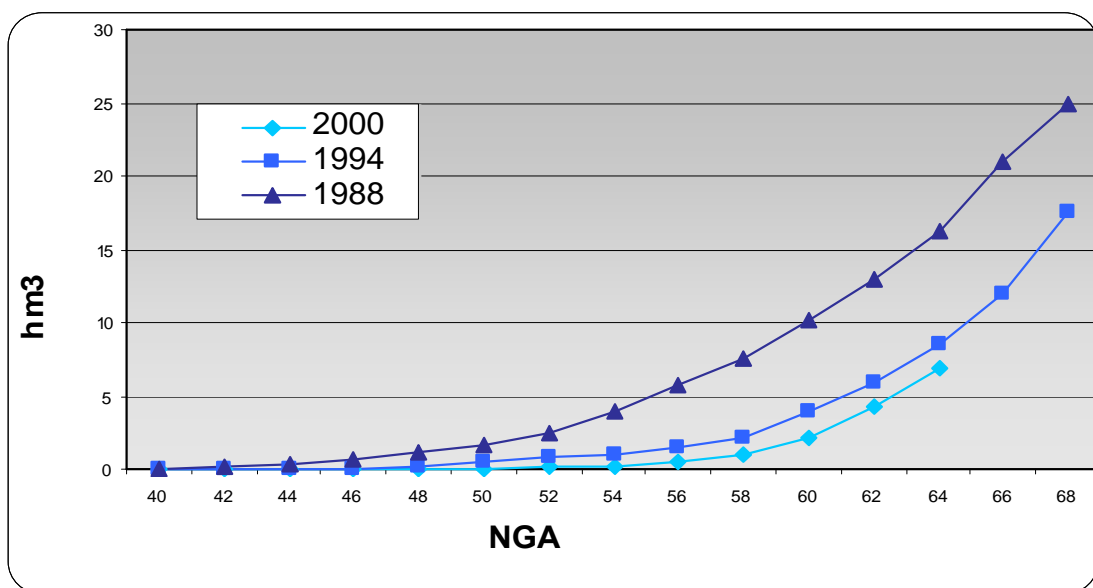


Figure IV-9 : Courbe hauteur - capacité de la cuvette.

Le niveau de Retenue Normale est de 63,50 NGA, correspondant initialement à une superficie du plan d'eau d'environ 170 ha. L'évolution du volume stocké à cette cote est la suivante :

Année	1988	1994	1996	2000	2004
Capacité totale (hm ³)	15.6	7,6	7,08	5,7	5,67
Perte de capacité (hm ³)	0	8	0,52	1,38	0,03
Nombre d'année	0	6	2	4	4
Perte de capacité annuelle (hm ³)	0	1,33	0,26	0,34	0,0075

Tableau IV-1 : Capacité de la retenue.

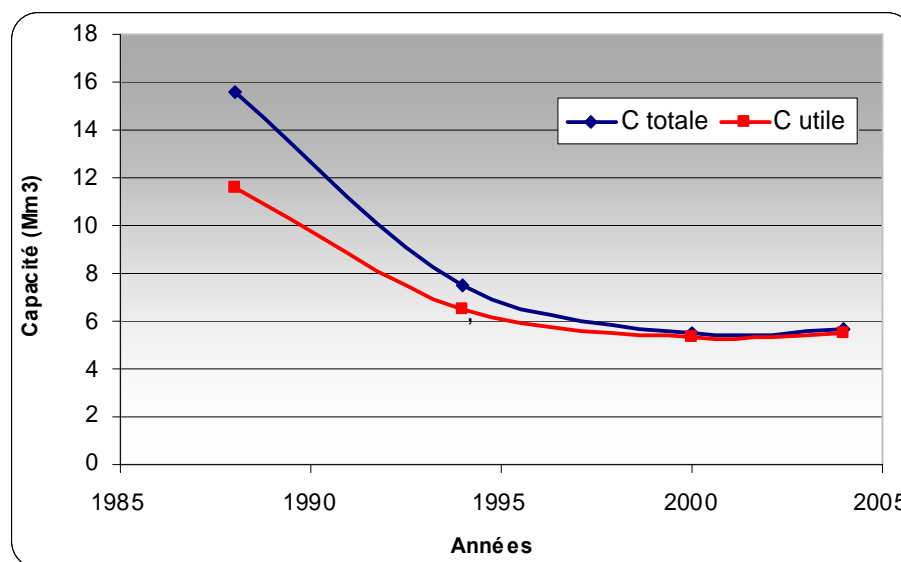


Figure IV-10 : Capacités totale et utile de la retenue

L'envasement annuel de la retenue sur la période 1988-2000, correspondant aux apports solides (suspension et charriage) diminué du volume évacué lors des chasses, varie entre 0,3 et 1,4 hm³.

La perte de capacité moyenne annuelle des 8 dernières années est de 0,18 hm³/an. Le taux d'envasement du barrage est de 63.65%.

VI- Impact des sédiments sur les ouvrages

L'envasement de la retenue a pour effet de modifier les conditions de stabilité des ouvrages par rapport à la situation prévalant au moment de la mise en service de

l'aménagement. On examine ci-après les conséquences de l'envasement actuel et d'un envasement éventuel plus important.

Il y a lieu de distinguer la partie centrale du barrage en béton et l'aile gauche en remblais, pour lesquelles les conséquences de l'envasement sont différentes.

1- Ouvrage en béton

D'une façon générale, l'envasement a deux effets opposés en ce qui concerne la stabilité d'un barrage en béton :

- la poussée sur le parement amont est augmentée, ce qui a pour effet de diminuer la stabilité de l'ouvrage au glissement,
- l'imperméabilisation apportée par les vases en fond de retenue diminue les sous-pressions au contact béton - fondation, ce qui a pour effet au contraire d'améliorer les conditions de stabilité.

Dans le cas présent, le principal paramètre gouvernant la stabilité est l'inclinaison de la résultante des efforts appliqués au barrage au niveau du contact béton - fondation. Les résultats sont résumés sur le graphique ci-après, qui représente la variation de cette inclinaison en fonction de la cote des sédiments dans la retenue à proximité du parement amont.

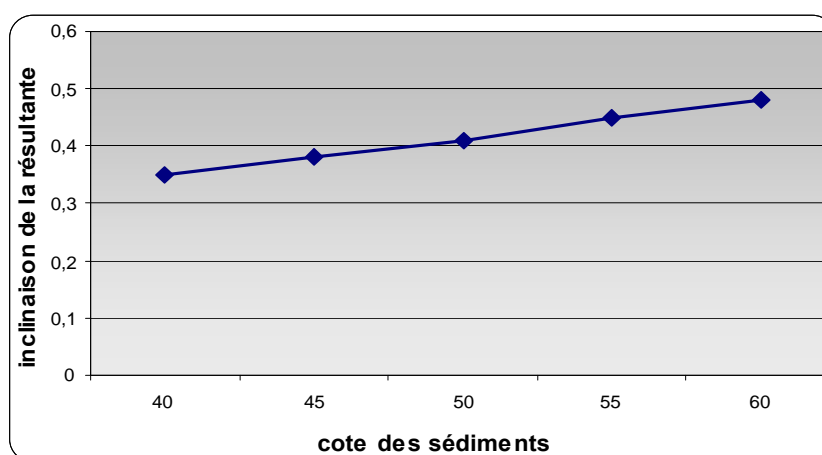


Figure IV-11 : Modification de la stabilité du déversoir

Ce graphique montre que les conditions de stabilité sont relativement peu sensibles à la cote des sédiments déposés dans la retenue.

2- Ouvrage en terre

Contrairement aux barrages en béton, la présence de matériaux sédimentés en amont d'un barrage en terre n'a que des effets bénéfiques sur la stabilité :

- mécaniquement, les matériaux augmentent la stabilité du talus amont du barrage,
- l'effet d'imperméabilisation a pour effet de diminuer les pressions interstitielles dans le corps de la digue, ce qui a également un effet favorable.

En conclusion des éléments ci-dessus, on peut affirmer que les conditions de stabilité sont assez peu modifiées par l'effet des sédiments déposés dans la retenue et que la présence de ces sédiments n'est pas de nature à remettre en cause la sécurité des ouvrages.

3- Effets sur les organes d'exploitation

Dans le cas de Béni-Amrane, le principal effet de l'envasement est lié à la forte turbidité des eaux pompées lorsque la retenue est proche de son niveau minimal d'exploitation. Cette turbidité a des répercussions sur le système de refroidissement des pompes de la station de pompage, le circuit de refroidissement des pompes étant nouvellement équipé de filtres adéquats qui permettent d'utiliser des eaux jusqu'à une concentration de 25 g/l.

V- Dévasement de la retenue

1- Volume à dévaser

Etant données les contraintes pesant sur les opérations de dévasement (en particulier en terme de coût et de délai), un dévasement total de la retenue apparaît illusoire. Trois scénarios sont proposés, correspondant à des volumes de dévasement de 2,4 et 6 Mm³.

Les courbes correspondant aux différents objectifs de dévasement sont représentées ci-après.

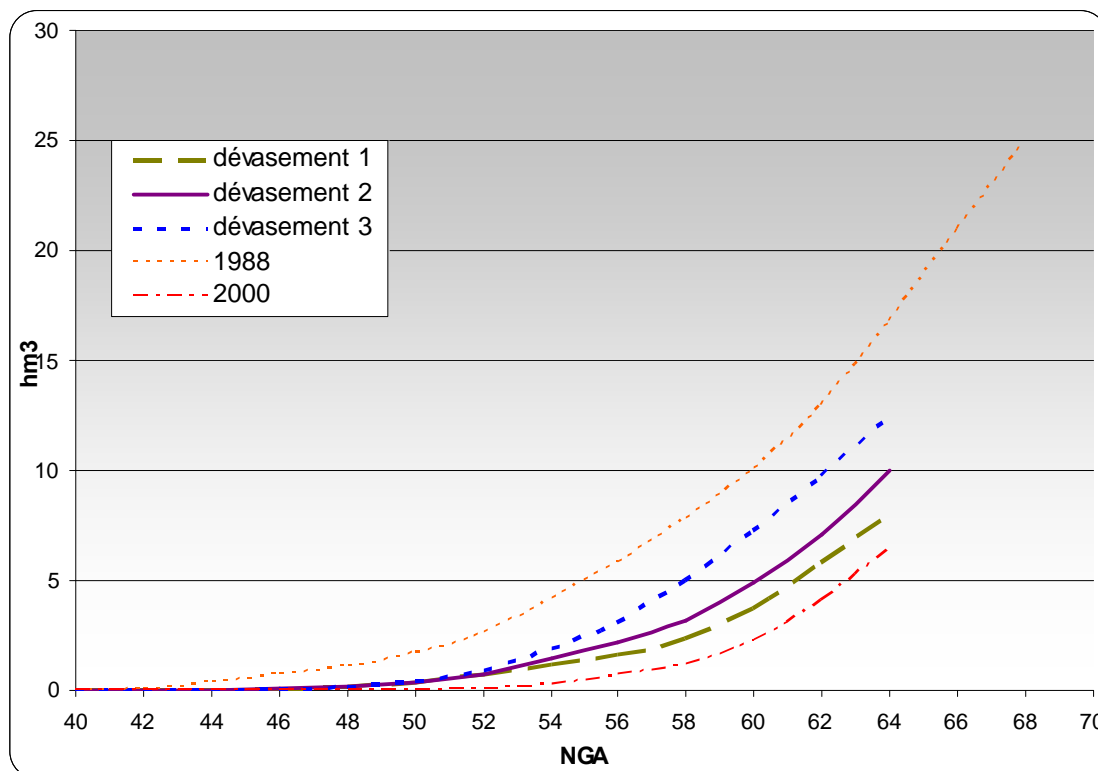


Figure IV-12: Courbes hauteur-capacité projetées.

Le volume stocké à la cote de RN pour chacun des scénarii est le suivant :

Scénario	Capacité totale	Capacité utile
Dévasement 1	7,6	6,5
Dévasement 2	9,3	8,0
Dévasement 3	11,9	10,0

Tableau IV-2 : Volume d'eau stocké.

On rappelle que la capacité utile est comptée au-dessus de la cote minimum d'exploitation, soit 54,0 NGA.

Une partie du volume sera extraite en dessous de la cote de 54 NGA, en particulier au droit des vannes et des prises d'eau. Le reste du volume sera extrait entre les cotes 54 et 59 NGA, dans la partie aval de la retenue ainsi que dans sa partie moyenne.

2- Moyens de dévasement

a- Dévasement en eau

Dans la partie aval de la cuvette, seule une intervention en eau est envisageable du fait de la vocation d'AEP du barrage, qui n'autorise pas de vidange durable. La technique déjà éprouvée en Algérie consiste à utiliser une drague suceuse à désagrégateur. L'évacuation de la vase s'effectue au moyen de conduites flottantes, puis par des moyens terrestres divers, vers le lieu de dépôt choisi.

Les caractéristiques supposées de l'appareil sont les suivantes :

- Rendement de 800 m³/h.
- Profondeur moyenne de dragage de 8 m.
- Profondeur maximum de dragage de 16 m.

Deux problèmes sont apparus lors de la tentative de dévasement de la cuvette de Béni-Amrane par drague suceuse:

- La dureté du matériau avait été sous-estimée, ce qui a entraîné des pannes successives dues à un désagrégateur inadapté (une drague à désagrégateur ou « cutter » est éventuellement nécessaire),
- La mise en suspension des matériaux lors des opérations de dévasement. La durée de ces opérations était limitée par les contraintes de transfert d'eau vers Keddara, le système de refroidissement des pompes imposant une concentration maximum de 2 g/l.

Des concentrations en sédiments jusqu'à 25 g/l sont aujourd'hui admissibles dans les eaux transférées, grâce aux travaux récents d'amélioration du système de pompage.

On suppose que le dévasement en eau n'est possible que 9 mois sur 12 du fait des contraintes liées à l'AEP. En supposant un fonctionnement de la drague de 12 h sur une journée, le rendement annuel est d'environ 1,8 hm³.

b- Dévasement à sec

La partie amont de la cuvette étant hors d'eau une partie importante de l'année et divers accès étant facilement aménageables, une intervention à l'aide de moyens mécaniques classiques y est possible.

Là encore, on considère que le dévasement à sec n'est possible en moyenne que 9 mois sur 12, lorsque le plan d'eau est assez bas (ce qui dépend de la zone de la cuvette). En supposant un fonctionnement d'une pelle de 12 h sur une journée, le rendement annuel est alors d'environ 0,8 hm³.

Deux solutions sont envisageables concernant la zone de dévasement suivant un profil en travers de la cuvette:

- dévasement sur une hauteur approximativement uniforme,
- élargissement du lit mineur uniquement, en laissant les bancs végétalisés tels quels.

Cette dernière solution présente deux avantages:

- gain en hauteur d'eau pour une superficie réduite, ce qui limite l'évaporation ;
- maintien de vitesses importantes lors des crues, ce qui favorise la formation des courants de densité et limite le dépôt.

3- Zones de rejet

Le barrage de Béni-Amrane a été construit au coeur d'une vallée étroite dans la chaîne montagneuse à l'est d'Alger. Les alentours de la retenue se composent essentiellement de vallées encaissées et de collines pouvant culminer à plus de 800 m

d'altitude. Les zones potentielles de dépôt apparaissent de ce fait peu nombreuses et surtout de superficie réduite. C'est au nord, en aval du barrage, que le relief disparaît pour laisser la place à de larges plaines agricoles. Celles-ci sont toutefois distantes de plus de 6 km de l'ouvrage.

Concernant le dévasement en eau, le sédiment exporté sera liquide (80% d'eau). Deux zones de rejet peuvent être envisagées :

- A environ 3,5 km du barrage de Béni-Amrane (à vol d'oiseau) et à 5,8 km par la route, cette plaine agricole se situe entre la N5 et l'oued Isser; des bassins de rétention devront être installés afin de maintenir les sédiments en place ; l'eau pourra être évacuée dans l'Oued Isser,
- En aval immédiat du barrage de Béni-Amrane, directement dans l'oued Isser, comme cela a déjà été fait lors du premier curage.

4- Transport des matériaux

a- Dévasement en eau

Etant donné la texture des sédiments exportés (mélange eau - sédiments), le transport par pipeline constitue le mode de transport le plus adapté.

b- Dévasement à sec

Au regard du mode d'extraction (curage à sec) et de la distance au site potentiel de dépôt (5 à 9 km selon la zone d'extraction), seules 2 techniques de transport apparaissent réalistes : le transport tombe-reau et le transport par convoyeurs à bandes.

	Transport par camion	Transport par convoyeur
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Souplesse de mise en place et d'accessibilité entre site d'extraction et site de dépôt • Arrêt et remise en route du chantier simple 	<ul style="list-style-type: none"> • Coût d'entretien faible • Flux continu • Technique adaptée aux gros volumes
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Coût de transport important en raison du volume concerné • Route actuellement non adaptée au trafic routier intense • Gêne locale importante au niveau sonore et de circulation (environ 30 camions à l'heure) 	<ul style="list-style-type: none"> • Coûts d'investissement élevés • Pent es limitées à 15° • Equipements bruyants • Franchissement de routes difficiles

Tableau IV-3 : Moyens de transport.

Les convoyeurs à bandes présentent une gêne moindre pour la population et un coût nettement inférieur au transport par camions. La faisabilité de l'utilisation des convoyeurs devra être vérifiée (pente inférieure à 15°).

5- Impacts du dévasement

Du fait des moyens employés, le dévasement d'une retenue constitue une action rarement anodine tant sur l'environnement biologique et physico-chimique qu'humain. Les impacts peuvent concerner plusieurs secteurs géographiques :

- La retenue,
- La zone de dépôt,
- Le long du linéaire de transport.

➤ Impacts sur la retenue

Dans le cas d'un curage mécanique à sec, les impacts prévisibles seront les suivants :

- modification des habitats aquatiques de la retenue et de l'oued circulant dans la retenue et destruction de la structure biologique actuelle de la retenue (présence d'une zone humide),
- risque de mortalité piscicole ou de destruction des frayères (mise en suspension de sédiments),
- risques liés au chantier (pollution de l'eau, risque de submersion...),
- émissions sonores et de poussières.

En cas de curage en eau, les impacts concerneront uniquement la physico-chimie (mise en suspension de particules, désoxygénation).

La traversée régulière du lit de l'oued par les engins peut présenter deux impacts majeurs :

- la destruction ou le colmatage des habitats aquatiques (herbiers, substrats durs...),
- le risque de pollution des eaux par les engins (hydrocarbures, métaux...), impact d'autant plus important que cette eau est destinée à l'alimentation en eau potable.

Ces impacts ou ces risques peuvent être fortement limités en aménageant des secteurs de traversée (gué, pont busé).

a- Impacts et risques liés au chantier

Les impacts et les risques liés au chantier sont de différents types :

- Risque de pollutions accidentelles des eaux de la retenue (hydrocarbures, produits moteur...) - Ce risque de pollution accidentelle existe sur tout le chantier mais sera particulièrement sensible pour le chantier situé dans la retenue (chantier d'extraction). Seule une organisation stricte du chantier peut permettre de limiter ces risques (plate-forme de gestion des hydrocarbures, contrôle régulier des véhicules, barrages flottants),

- Risque de pollution chronique des eaux (résidus de carburants, métaux...) - Ce risque est lié à la durée du chantier. Les moyens de limitation de ce risque sont les mêmes que pour les pollutions accidentelles,
- Risque de submersion du chantier en cas de crue violente (pour l'extraction à sec) - ce risque (minime) augmente avec la durée du chantier. Il peut être limité par une protection efficace du chantier (système d'alerte, mobilité du chantier...),
- Gêne de la population locale occasionnée par le chantier - Cette gêne est à la fois liée à la création de poussières et aux émissions sonores. Ces nuisances seront effectives aux niveaux des 2 chantiers (extraction, dépôt) mais aussi tout au long des convoyeurs à bandes (émissions sonores essentiellement).

b- Impacts sur le transfert d'eau

L'extraction en eau présente l'inconvénient de remettre en suspension une part importante des sédiments et ainsi d'augmenter fortement la turbidité. Le transfert des eaux à Keddara pourra en être affecté.

Dans le cas d'un curage mécanique à sec, aucun impact n'est à prévoir dans l'oued Isser en aval de la retenue.

Sur la zone de dépôt, l'impact principal du projet est l'arrêt temporaire ou définitif de l'exploitation agricole. Les analyses qui seront effectuées sur les sédiments permettront de déterminer si l'exploitation agricole de ce nouveau sol est envisageable.

En revanche, dans le cas d'un curage en eau et lorsque le mélange eau - sédiments est évacué dans l'oued Isser, l'impact sur l'oued n'est pas négligeable. En effet, la concentration en sédiments dans le mélange est telle qu'un colmatage des habitats aquatiques de l'oued est inévitable.

6- Utilisation des matériaux

Pour définir l'utilisation des sédiments curés (sédiments extraits à sec), il est indispensable de réaliser des analyses pour déterminer les éléments suivants :

- les caractéristiques physiques (granulométrie, cohésion, vitesse de sédimentation, densité)
- la valeur agronomique (matière organique, carbone, azote, potassium, calcium, calcul de C/N)
- la salinité,
- la toxicité notamment en métaux lourds (cadmium, chrome, cuivre, mercure, nickel, plomb, zinc) et en hydrocarbures.

Pour être représentatives des sédiments à extraire, les analyses devront porter sur des échantillons issus de carottages, afin d'identifier la qualité des sédiments en surface et en profondeur.

Trois utilisations peuvent être envisagées :

- Simple dépôt,
- Valorisation agricole : au regard de la végétation spontanée qui s'est développée dans la retenue et du fait de la présence de jardins privés, les sédiments de la retenue semblent favorables à la culture. Les analyses permettront toutefois de le vérifier et de contrôler le risque de toxicité. Si les sédiments sont aptes à une utilisation agricole, le site de dépôt pourra être aménagé à la fin des travaux et exploité à nouveau,
- Fabrication de briques de construction : une technique consiste à valoriser les sédiments curés en briques de construction ou d'isolation. Cette technique demeure toutefois expérimentale et le retour d'expérience est faible.

VI- Surélévation du barrage

1- Généralités

D'une façon générale, il existe deux types de surélévations possibles dans le but d'augmenter la capacité utile du barrage :

- La surélévation du corps de l'ouvrage et de tous ses organes annexes (en particulier le déversoir),

- La mise en place sur le déversoir d'une bouchure mobile, qui s'efface en cas de crue importante pour retrouver la capacité d'évacuation initiale du barrage.

Dans le cas de Béni-Amrane, la surélévation du corps du barrage est difficilement envisageable compte tenu de la disposition des ouvrages ; elle conduirait à des travaux longs et difficiles.

Par contre la disposition de l'évacuateur de crue, qui est un seuil de grande extension et facilement accessible, permet d'envisager la mise en place d'une bouchure mobile sur ce déversoir.

Deux types de bouchure mobile sont envisageables :

- Une bouchure de type clapets,
- Une bouchure de type hausses fusibles.

2- Hauteur maximale de surélévation

La hauteur maximale de surélévation est limitée, indépendamment des considérations de stabilité des ouvrages et de faisabilité technique, par les infrastructures existantes qu'il est nécessaire de ne pas noyer de façon permanente. La cote maximale envisageable pour la retenue normale était 67 NGA, ce qui correspond à une surélévation de 3,50 m par rapport à la cote de retenue normale.

3- Clapets

La solution de bouchure mobile par clapets est classique. De nombreux précédents existent pour des dimensions similaires à celles de Béni-Amrane.

La longueur de la partie déversante impose de mettre en place plusieurs clapets adjacents, séparés par des piles intermédiaires en béton.

4- Hausses fusibles

Cette solution consiste à mettre en place sur la crête déversante des organes fusibles dimensionnés pour s'effacer en cas de crue importante (par exemple au-delà de la crue centennale). On décrit ci-après le système Hydroplus, qui a été mis en place sur un certain nombre de barrages dans le monde.

Le fonctionnement du procédé Hydroplus est le suivant :

- les hausses sont constituées de modules jointifs et indépendants, posés sur le seuil libre de l'évacuateur,
- ces éléments sont lestés et dimensionnés pour être stables sous l'effet du plan d'eau surélevé,
- un entonnoir, en communication avec l'interface module-béton, est disposé à l'amont du module.

En exploitation normale, les hausses constituent un écran étanche, au même titre qu'un clapet, et les crues les plus courantes sont évacuées par déversement au-dessus du module, qui constitue un déversoir labyrinthe

En cas de crue importante, l'interface du module est alimentée par l'entonnoir amont. Lorsque cette interface est saturée, l'équilibre du module n'est plus assuré et il bascule vers l'aval. Au fur et à mesure de la montée du plan d'eau, les modules basculent successivement, jusqu'à libérer totalement le seuil déversant initial dont la capacité d'évacuation n'est pas modifiée.

Suivant les hauteurs de surélévation envisagées et la configuration des ouvrages, les hausses peuvent être métalliques ou en béton armé.

5- Influence d'une surélévation sur les conditions de stabilité du barrage

Comme dans le cas de l'envasement, le principal paramètre gouvernant la stabilité est l'inclinaison de la résultante des efforts appliqués au barrage au niveau du contact

béton fondation. Les résultats sont résumés sur le graphique ci-après, qui représente la variation de cette inclinaison en fonction de la surélévation de la cote.

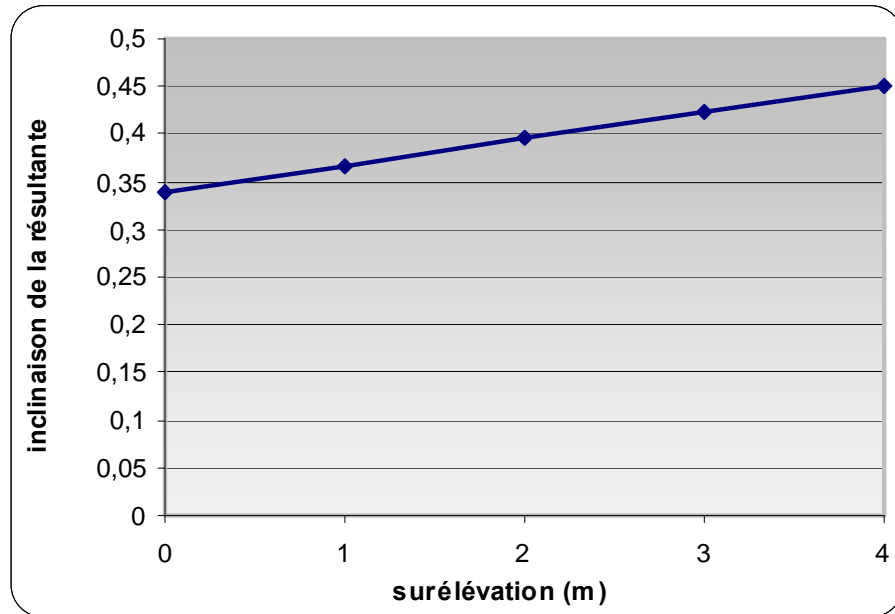


Figure IV-14 : Impact de la surélévation sur la stabilité

On peut constater sur le graphique ci-dessus que les conditions de stabilité restent acceptables dans la gamme des hauteurs de surélévation envisagées ici. Pour une surélévation de 3,50 m, soit une cote de retenue normale de 67 qui est la cote maximale envisageable, l'inclinaison de la résultante au contact béton fondation reste inférieure à 0,45 ; ce qui est largement acceptable.

Enfin, rappelons que pour la crue de projet, les conditions de stabilité ne sont pas modifiées puisque les hausses (ou les clapets) sont effacées et que l'ouvrage retrouve alors sa configuration initiale. Il en résulte également que la stabilité du barrage en terre, dans les conditions critiques correspondant aux plus hautes eaux exceptionnelles, n'est pas affectée par la surélévation.

6- Comparaison technique des deux solutions de surélévation

Les deux solutions présentées, clapets et hausses fusibles, sont envisageables dans le cas de Béni-Amrane.

La solution clapets, comme indiqué plus haut, est classique pour les dimensions envisagées ici. Dans le contexte particulier de Béni-Amrane, la solution hausses présente cependant plusieurs avantages :

- elle implique moins de modifications du génie civil (la solution clapets nécessite la construction de piles intermédiaires),
- elle est entièrement automatique, alors que la solution clapets met en oeuvre des équipements hydromécaniques et électriques et nécessite une gestion et une maintenance appropriées,
- elle peut être mise en oeuvre plus rapidement, les hausses métalliques étant préfabriquées et mises en place sur le seuil après une modification légère du génie civil.

En conclusion la solution hausses paraît la plus adaptée dans le cas particulier de Béni-Amrane.

VII- Comparaison des solutions

Les tableaux ci-après comparent les valeurs de transfert vers Keddara. La capacité de retenue est exprimée au niveau de RN.

	An 2000	RN 64,50	RN 65,50	RN 66,50	RN 67,50
AEP moyen (Mm ³ /an)	75	77	79	81	84
Gain	-	3%	6%	8%	11%
Capacité retenue (Mm ³)	5,70	7,30	9,10	11,00	13,20

Tableau IV-4 : Volumes transférables après surélévation.

	An 2000	Dévasement 1	Dévasement 2	Dévasement 3
AEP moyen (Mm ³ /an)	75	76	78	80
Gain	-	2 %	3 %	68 %
Capacité retenue (Mm ³)	5,70	7,60	9,30	11,90

Tableau IV-5 : Volumes transférables après dévasement

On voit qu'à volume égal de capacité supplémentaire, le gain en transfert est supérieur pour la surélévation. Cela s'explique par la part dévasée en dessous de la tranche morte de 54 NGA. Enfin, la figure suivante représente, pour la solution surélévation, le gain moyen annuel de transfert vers Keddara en fonction de la capacité supplémentaire créée à Béni-Amrane.

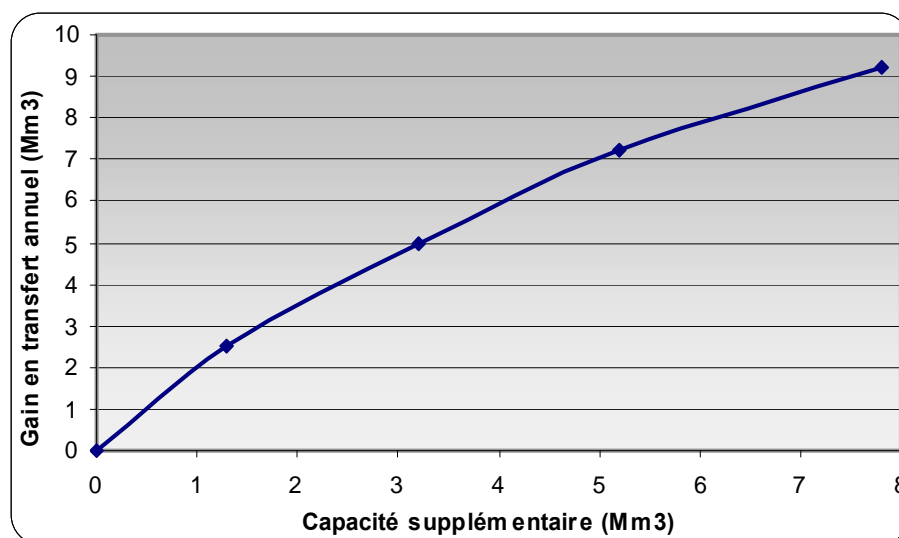


Figure IV-15 : Gain en transfert en fonction de la capacité supplémentaire créée à Béni-Amrane.

1- Comparaison économique

Les solutions envisagées ont été estimées sur les bases suivantes.

a- Dévasement

Les prix unitaires applicables au dévasement ont été choisis après consultation d'entreprises spécialisées et sur la base de prix unitaires de marchés de terrassement (pour la solution dévasement à sec).

Les prix unitaires suivants sont adoptés :

- extraction par drague suceuse et refoulement sur une longueur de 2 km : 200 DA H.T. le m³ en place excavé,
- extraction à sec à la pelle : 200 DA H.T. le m³ en place excavé, coût auquel il faut ajouter un coût de transport de 10 DA H.T. le m³.km ; soit pour une mise en dépôt à 5 km du site d'extraction, un coût total de 250 DA H.T. le m³ en place excavé.

b- Hausses

Le coût des hausses a été estimé sur la base d'une offre de la société Hydroplus et après divers contacts avec cette société, pour évaluer le coût en fonction de la hauteur de rehausse.

2- Comparaison économique des solutions dévasement et surélévation

Les coûts des différents scénarii s'établissent comme suit :

Surélévation	RN 64,50	RN 65,50	RN 66,50	RN 67,50
Coût (M DA H.T.)	80	160	240	320
Dévasement	2 Mm ³	4 Mm ³	6 Mm ³	
Coût (M DA H.T.)	475	900	1 515	

Tableau IV-6 : Coût des scénarii

La figure IV-16 représente le coût en fonction du gain de capacité pour les deux solutions envisagées. Cette figure montre clairement que la solution surélévation est nettement moins coûteuse que la solution dévasement.

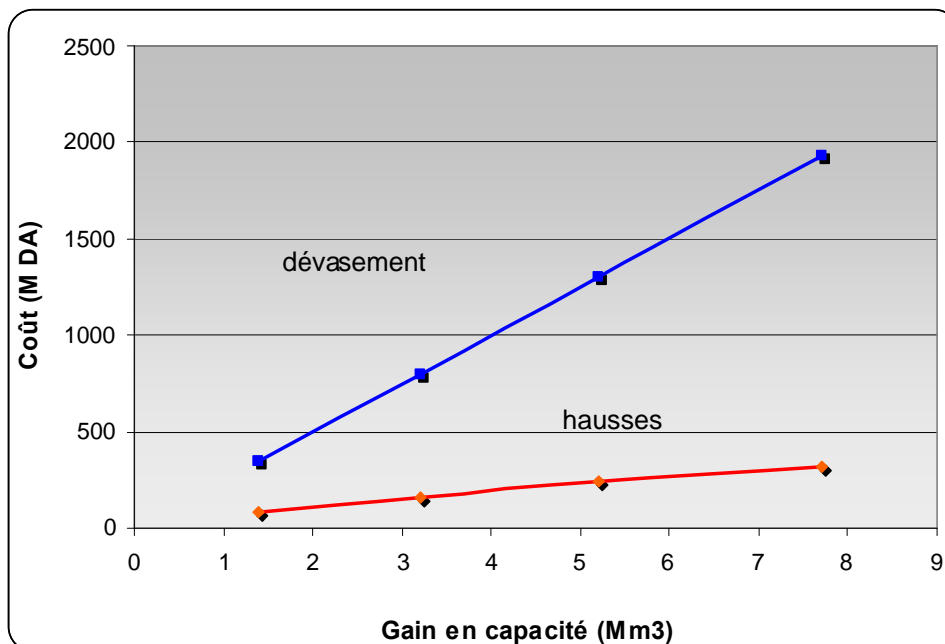


Figure IV-16 : Comparaison économique des solutions

Enfin, la figure IV-17 représente, pour la solution surélévation, le coût en fonction du volume supplémentaire annuel transféré vers Keddara.

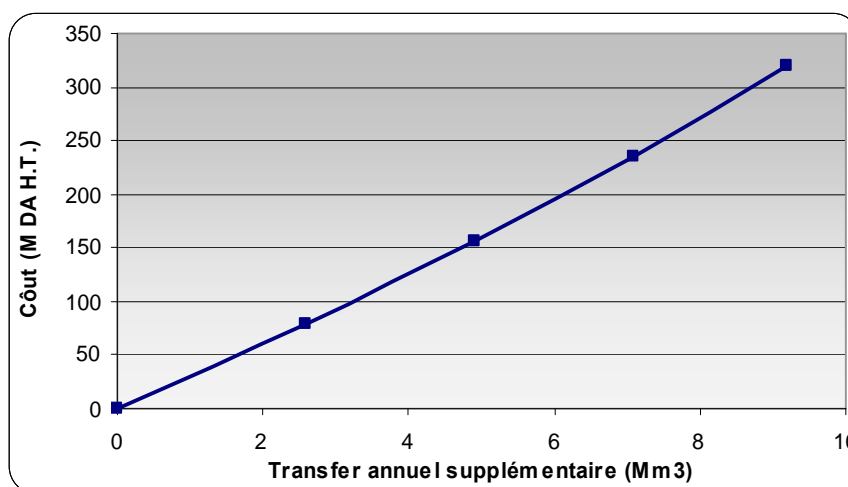


Figure IV-17 : Coût en fonction du transfert annuel supplémentaire vers Keddara

3- Avantages et inconvénients

	Avantages	Inconvénients
Rehaussement du barrage	<p><u>Coût</u></p> <p><u>Gain supérieur</u> en transfert à augmentation de volume égal (plus grande charge sur les pompes et meilleure souplesse d'exploitation)</p> <p>Délai de mise en œuvre</p> <p>Augmentation de la durée de décantation</p> <p>(donc amélioration de la qualité de l'eau)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Inondation éventuelle des infrastructures (RN5 et voie ferrée) - Basculement des hausses en cas de forte crue (hausses à remplacer)- - Crue importante et brusque en aval du barrage en cas de basculement
Dévasement de la retenue	<p>Limitation du risque d'obstruction des vannes et de la prise d'eau</p>	<p><u>Coût</u></p> <p><u>Durée</u> (de deux à trois années suivant le volume dévasé)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Consommation d'eau importante - Mise en suspension des sédiments (dévasement en eau) <p>donc limitation du transfert</p> <ul style="list-style-type: none"> - Technicité élevée (dévasement en eau) - Impacts sur l'environnement

Tableau IV-7: Comparaison multicritère des solutions proposées

Notons enfin que le projet de barrage sur l'oued Isser à Koudiat Acerdoune, en amont de Béni-Amrane, modifiera à terme (3 à 5 ans) le fonctionnement du système Keddara-Alger, ainsi que la problématique de l'envasement de Béni-Amrane.

CAPITRE V

*ETUDE DES HAUSSES
FUSIBLES*

Chapitre V

Etude Des Hausses Fusibles

I- Introduction

Afin de mettre en évidence les différentes sécurités de fonctionnement des hausses fusibles et d'assurer leurs fiabilités, il est nécessaire d'analyser la stabilité d'une hausse au glissement et au renversement dans les conditions normales et extrêmes de dysfonctionnement spécifique à chaque site.

II- Etude générale

1-Analyse de stabilité d'une hausse

Dans ce qui suit, les principes de bases de dimensionnement de la stabilité pour tous les types des hausses fusibles seront développés. Cependant, pour une meilleure compréhension, ces principes sont détaillés pour les hausses labyrinthe.

2- Principes de dimensionnement

Les hausses fusibles s'installent à la construction d'un nouveau barrage ou sur un barrage existant. Elles s'adaptent à tous types de barrages et permettent d'optimiser son exploitation.

L'installation des hausses fusibles sur un barrage ne doit en aucun cas mettre en péril le barrage et son entourage. Pour cela, la conception des hausses fusibles doit répondre à des critères qui évitent la submersion du barrage et la création de crues artificielles à l'aval.

2-1/ Dimensionnement hydraulique

Un barrage est un réservoir qui se remplit à la cote normale de retenue et pour lequel la crue de projet induit en pointe une montée du plan d'eau à la cote des plus hautes eaux. Cette cote est la cote ultime de stabilité du barrage.

Mais pendant son exploitation, la vérification de l'étude hydrologique conduit, dans plusieurs cas, à la réactualisation de la crue du projet.

Pour cela, l'utilisation des hausses fusibles sur le déversoir permet de conserver la stabilité du barrage en tenant compte de la révision de la crue du projet.

Suite à cette révision deux cas peuvent être distingués suivant les résultats de l'étude hydrologique:

- Dans le cas où la vérification de l'étude hydrologique n'amène pas à modifier le débit de la crue de projet, l'installation des hausses fusibles permet de récupérer une tranche utile de retenue jusqu'à 75% de la hauteur des plus hautes eaux. Cela résulte du fait que le niveau des plus hautes eaux pour la crue de projet n'est pas modifié par rapport à la situation antérieure, ce qui ne change pas les conditions de sécurité de l'ouvrage.
- Dans le cas où la vérification de l'étude hydrologique amène à modifier le débit de la crue de projet, et afin de ne pas modifier le niveau des plus hautes eaux, un dérasement du seuil s'impose pour le passage de la crue de projet. La tranche d'eau gagnée par l'installation dans ce cas est légèrement inférieure à celle du cas précédent.

2-2/ Dimensionnement mécanique

Le principe des hausses est de passer brutalement, pour une cote d'eau déterminée, d'une situation de stabilité largement assurée à une nette instabilité. Lors du remplissage du puits et de la chambre, le système de forces auxquelles est soumise la hausse est rapidement modifié par l'application d'une sous-pression sous sa base.

Donc, la stabilité d'une hausse fusible est dépendante des considérations de glissement et de renversement. La stabilité de glissement est facilement assurée par les butées aval, qui sont ancrées dans le seuil. La stabilité au renversement peut se traduire par la résultante, par rapport aux butées aval, des moments des efforts agissant sur la hausse. On peut alors définir un coefficient de sécurité au renversement afin de donner une assurance sur la fiabilité du système, aussi bien vis-à-vis de la stabilité avant remplissage de la chambre que vis-à-vis de l'occurrence du basculement après introduction de la sous-pression.

3- Efforts intervenants dans la stabilité d'une hausse

Les hausses fusibles sont des éléments autostables jusqu'à une cote d'eau déterminée, qui au-delà fonctionnent comme un fusible, c'est-à-dire qu'elles basculent sous la poussée de l'eau.

La hausse, simplement posée sur le seuil, s'appuie à l'aval sur ses deux butées. Le système de forces auquel elle est soumise peut être décomposé de la façon suivante et exprimé en moment par rapport aux butées aval.

Les relations sur lesquelles repose l'analyse de stabilité sont récapitulées sur la figure V-1.

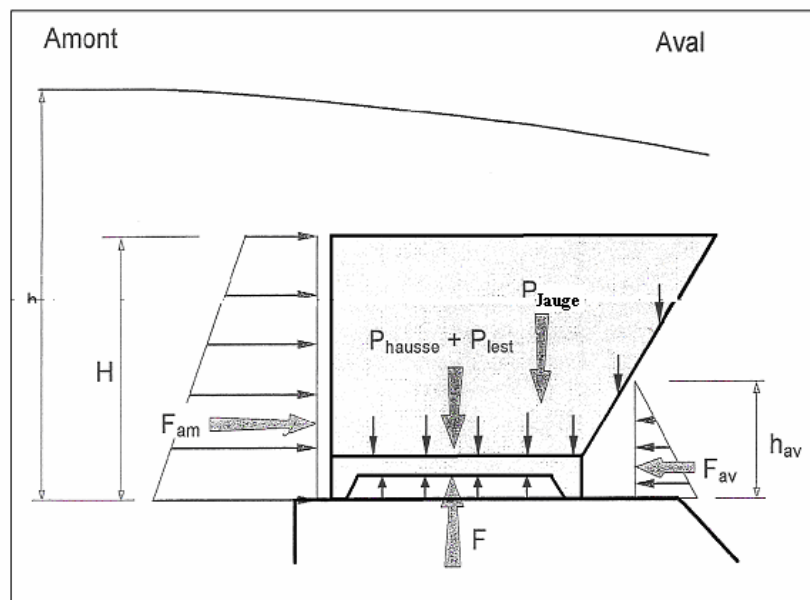


Figure V-1 : Système de forces agissant sur une hausse.

➤ **Pression hydrostatique amont**

Pour simplifier les équations suivantes, la pression hydrostatique sur les puits n'est pas prise en compte.

Si $h \leq H$:

$$F_{am} = \frac{1}{2} \rho \cdot g \cdot L \cdot h^2 \dots\dots\dots (1).$$

Avec

F_{am} : pression hydrostatique amont.

L : larguer de la hausse.

H : hauteur de la hausse

h : hauteur de la retenue au-dessus du seuil portant les hausses.

g : accélération de la pesanteur.

ρ_e : densité de l'eau.

- Moment correspondant :

$$M_{am} = \frac{1}{6} \rho \cdot g \cdot L h^3 \dots\dots\dots(2).$$

Si $h > H$:

$$F_{am} = \frac{1}{2} \rho \cdot g \cdot L H (2h - H) \dots\dots\dots(3).$$

- Moment correspondant :

$$M_{am} = \frac{1}{6} \rho \cdot g \cdot L H^2 (3h - 2H) \dots\dots\dots (4).$$

➤ **Poids de la hausse et du lest**

Poids mort de la hausse : P_h

- Moment correspondant : $M_h = P_h \times X_h \dots\dots\dots (5).$

Poids mort du lest : P_l

- Moment correspondant : $M_l = P_l \times X_l \dots\dots\dots (6).$

Avec

X_h, X_l : les distances horizontales des centres de graviter de la hausse et du lest depuis la butée.

➤ **Pression de l'eau exercée sur l'auge**

Quand la hausse ne déverse pas ($h < H$), la résultante de la pression verticale qui s'exerce à l'intérieur de l'auge est égale au poids de l'eau dans l'auge.

Elle varie de 0 à P_{au} .telle que :

$$P_{au} = \rho \cdot V_{au} \dots\dots\dots(7).$$

Avec

P_{au} : résultante verticale de la pression dans la chambre.

V_{au} : contenance de la chambre.

Lors du déversement, la ligne d'eau au-dessus de la hausse suit une courbe descendante vers l'aval. Le profil de la lame d'eau est fonction du dédit de la crue de basculement et des conditions topographique du site. Pour cela, la composante verticale de la pression de l'eau est déterminée à partir d'essais ainsi que son moment.

➤ **La contre pression de la lame déversante**

Ce moment est dû au niveau d'eau sur les cotes de la hausse.

$$F_{av} = \frac{1}{2} \rho \cdot g \cdot L_{av} \cdot h_{av}^2 \dots\dots\dots(8).$$

Avec

F_{av} : contre pression de la lame déversante.

h_{av} : charge d'eau s'exerçant contre la face aval de l'auge.

L_{av} : largeur de la face aval de l'auge.

- Moment correspondant :

$$M_{av} = \frac{1}{6} \rho \cdot g \cdot L_{av} \cdot h_{av}^3 \dots\dots\dots(9).$$

➤ **Sous pression dans la chambre et sous la base**

La sous-pression dans la chambre et sous la base est le résultat de l'équilibre entre les débits entrant et sortant.

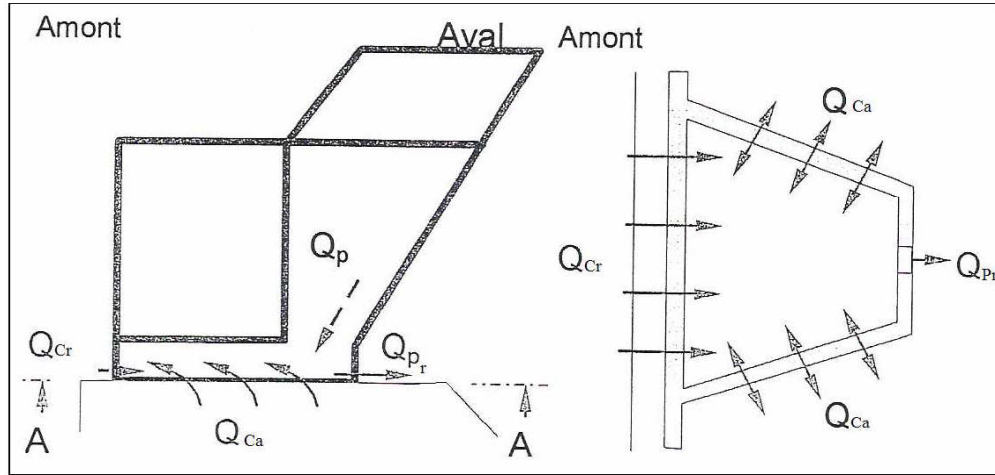


Figure V-2 : Débits transitant par la chambre de mise en pression.

▪ **Les débits qui peuvent pénétrer dans la chambre sont :**

- Débit par le puits d'alimentation du fait d'un déversement sur l'entonnoir Q_p .

$$Q_p = \mu_p \cdot g \cdot L' \cdot h_p^{\frac{3}{2}} \dots\dots\dots(10).$$

Avec

μ_p : Coefficient de débit pour le puits.

L' : Longueur déversante efficace.

h_p : Déversement sur l'entonnoir du puits

- Débit à travers l'espace réduit entre le réservoir et la chambre Q_{cr} .

$$Q_{cr} = \mu_{cr} \cdot s \cdot (2g[h - h_c])^{1/2} \dots\dots\dots(11).$$

Avec

μ_{cr} : Coefficient de perte de charge.

S : Section de passage.

h_c : Charge dans la chambre.

▪ *Les débits qui peuvent sortir de la chambre sont :*

- Débit sortant par les purges Q_{pr} .

$$Q_{pr} = \mu_{pr} \cdot S_{pr} \cdot (2g[h_c - h_{av}])^{1/2} \dots\dots\dots (12).$$

Avec

S_{pr} : Section des purges.

μ_{pr} : Coefficient de perte de charge pour les purges.

- Débit à travers l'espace réduit entre la chambre et l'aval Q_{ca} .

$$Q_{ca} = \mu_{ca} \cdot S' \cdot (2g[h_c - h_{av}])^{1/2} \dots\dots\dots (13).$$

Avec

S' : Section de l'espace réduit entre la chambre et l'aval.

μ_{ca} : Coefficient de perte de charge.

▪ *L'équation d'équilibre des débits devient :*

$$Q_{ca} + Q_{pr} = Q_{cr} + Q_p \dots\dots\dots (14).$$

4- Sécurité de fonctionnement

4-1/ Etude de stabilité

➤ **Stabilité de glissement**

La stabilité au glissement est assurée par des butées encreées dans le bord aval du déversoir. Ces butées permettent de reprendre les efforts horizontaux exercés par la poussée de l'eau.

L'estimation de l'effort exercé sur les butées est calculé en considérant la retenue au niveau des plus hautes eaux et en négligeant le frottement entre la hausse et le seuil.

Donc :

$$F_p = \frac{1}{6} \rho \cdot g \cdot L \cdot H^2 (3h - 2H) \dots \dots \dots (15).$$

➤ **Stabilité au renversement**

- Dans les conditions normales de fonctionnement :

La stabilité au renversement est assurée par la garantie que la somme des moments des efforts agissant sur la hausse par rapport aux butées est nulle. Et cela, pour tous les niveaux d'eau inférieurs au niveau de basculement.

- Dans les conditions de fonctionnement dégradé :

Afin d'assurer une sécurité de fonctionnement du système dans les cas de dysfonctionnement extrêmes : joint amont complètement dégradé, puits bouché, purges entièrement ou partiellement obturées, présence d'un charriage.

***Remarque :** Ces situations sont les résultats soit d'un vandalisme ou soit d'une absence totale d'inspection et d'entretien du barrage.

Pour cela, deux cotes de sécurités sont nécessaires au bon fonctionnement :

a- Cote minimale de fusibilité

La cote minimale de fusibilité détermine la lame déversante en dessous de laquelle la hausse n'est pas fusible. Pour un niveau amont inférieur à la cote minimale de fusibilité, le basculement de la hausse par alimentation accidentelle du puits ou d'une amorce de rotation ne peut être obtenu.

Cette cote est le niveau minimum du réservoir en dessous duquel la hausse ne peut pas basculer.

b- La cote ultime de stabilité

La cote ultime de stabilité est la cote pour laquelle le basculement de la hausse est obtenu même si son puits est bouché. Pour cette cote, la hausse bascule sous l'action de la poussée amont de l'eau

4-2/ Sous-pression de basculement

- Dans les conditions normales de fonctionnement :

Dans les conditions normales de fonctionnement, le joint amont prévient les fuites de la retenue dans la chambre.

Lors d'une crue importante, le puits entonne de l'eau dans la chambre, et la sous pression croît rapidement jusqu'à ce qu'il y ait un équilibre des débits.

Soit :

$$Q_p = Q_{ca} + Q_{pr} \dots\dots\dots(16).$$

Ainsi, l'étanchéité amont est rompue, et la chambre est mise en communication avec la retenue. Le débit entrant depuis la retenue fait monter la pression dans la chambre, le moment de renversement augmente. La hausse se soulève lorsque le débit entrant de la retenue dans la chambre augmente et dépasse le débit du puits. Puis, l'équilibre des débits devient simplement l'équilibre entre l'eau entrant directement du réservoir dans la chambre et l'eau s'échappant vers l'aval.

- Dans les conditions de fonctionnement dégradé :

Deux types de dysfonctionnement pouvant affecter la stabilité de la hausse sont envisagés :

- ✓ Obturation accidentelle des purges (partielle ou totale).
- ✓ Détérioration du joint d'étanchéité horizontal générant des fuites entre le réservoir et la chambre.

Dans ce cas la chambre est mise en pression par une lame plus faible et le basculement de la hausse ne se produit pas sans alimentation du puit, même dans le cas de purges complètement bouchées ou dans le cas de joint amont dégradé. Car la sous-pression de basculement est fonction de la lame d'eau déversée sur le puits.

❖ Purges bouchées

La section des purges a une influence sur cet équilibre. En effet, si les purges sont partiellement ou totalement bouchées, le débit sortant par celles-ci est inférieur à ce qui est prévu et donc la lame déversante sur le puits est réduite. (En supposant le joint amont efficace). Dans cet état de fonctionnement, le basculement de la hausse suite à l'alimentation de la chambre n'est possible que s'il y a équilibre entre le débit du puits et le débit à travers l'espace réduit entre la chambre et l'aval.

❖ Joint amont dégradé

La section de passage créée sur la longueur de la poutre amont engendre des fuites à partir du réservoir. Le débit entrant à la chambre est supérieur à ce qui est prévu. (En supposant les purges non bouchées).

***Remarque :** La détérioration du joint d'étanchéité vertical n'affecte en rien la stabilité de la hausse.

5- Performances hydrauliques des hausses

La capacité de déversement d'une retenue face aux conditions normales d'exploitation et lors des crues exceptionnelles constitue un paramètre important de la sécurité pour l'ouvrage et pour le bassin d'aval.

De plus, si dans un barrage, il y a une augmentation de la capacité de stockage par une surélévation de la crête du déversoir, le niveau d'eau à évacuer lors des crues sera important et pourra mettre en péril le barrage.

Pour cela, lors d'un dimensionnement pour un projet de mise en place de hausses fusibles, le concepteur dispose des principaux paramètres suivants :

- ✓ La quantité d'eau à stocker.
- ✓ Le niveau des plus hautes eaux.
- ✓ Le débit à évacuer.
- ✓ Le type de hausses et la hauteur des hausses.

- ✓ La crue entraînant le premier basculement et la période de retour correspondante.
- ✓ L'échelonnement des basculements.
- ✓ La hauteur de dérasement.

Tous ces paramètres permettent la bonne conception des hausses.

Cette conception doit assurer une quantité importante d'eau sans avoir d'impacts sur l'environnement et ni engendrer le déplacement des populations locales.

Et afin de mettre en évidence la sécurité de fonctionnement des hausses fusibles, les principes de base de fonctionnement sont développés dans ce qui suit.

5-1/ Caractéristiques du débit des hausses

Le débit évacué par la crête des hausses fusibles a les mêmes propriétés que les déversoirs à seuil libre.

Donc, le débit évacué par un seuil à crête d'une hausse est :

$$Q = C_d \cdot L_r \cdot (2g)^{\frac{1}{2}} \cdot h'^{\frac{3}{2}} \dots\dots\dots(17).$$

Avec

C_d : Coefficient de débit de la hausse.

h' : Lame déversante par rapport à la crête des hausses.

L_r : Longueur rectiligne du seuil.

g : Accélération de la gravité.

Le coefficient de débit est déterminé par voies expérimentales, que ce soit pour les hausses labyrinthes ou rectilignes. Les essais ont été effectués au LABORATOIRE NATIONAL D'HYDRAULIQUE, France et au LABORATOIRE TENNESSEE VALLEY AUTHORITY, USA. L'analyse des essais effectuée sur les hausses a permis de constater que :

➤ Pour les hausses labyrinthes

- Le coefficient de débit dépend du type de hausse et du rapport de la lame déversante h à la hauteur des hausses.

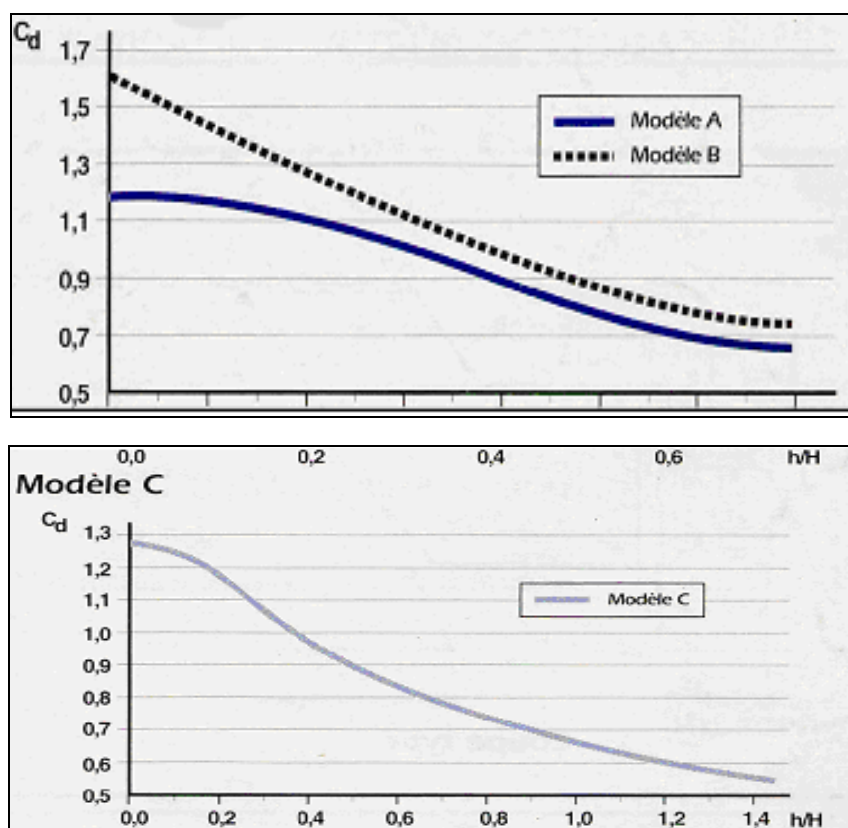


Figure V-3 : Coefficient de débit pour une hausse labyrinthe.

- Ce coefficient de débit est constant jusqu'au point où le niveau d'eau aval est égal au niveau de la crête et commence à diminuer quand la charge sur la hausse fusible augmente.
- La forme labyrinthe permet d'évacuer les débits sous des faibles hauteurs car la longueur développée par la crête est supérieure à celle du seuil. Mais cette propriété est perdue lorsque la lame déversante devient importante et que la forme labyrinthe devient comparable à un seuil rectiligne.
- Les hausses fusibles fonctionnent avec une nappe aérée.
- La présence du puits et l'inclinaison de la face aval se combinent pour maintenir la crête aérée pour les hauts débits

➤ **Pour les hausses rectilignes destinées à supporter de très fortes lames**

Le coefficient d'écoulement est optimal lorsque la face amont est profilée de manière à épouser l'écoulement. Le profil de la face contribue à éviter la création de zones de cavitation sur le seuil déversant.

5-2/ Hauteur des hausses

L'équipement d'un barrage par les hausses fusibles ne doit permettre en aucun cas une élévation significative du niveau des plus hautes eaux.

L'installation des hausses fusibles sur le seuil du déversoir nécessite un déroasement de ce dernier. La hauteur de ce déroasement est déterminée de manière à évacuer la crue de projet, une fois toutes les hausses ayant basculé, sans augmenter le niveau des plus hautes eaux. De plus, pour la même raison, le dernier basculement doit être réglé pour le niveau des hautes eaux ou légèrement plus bas.

L'analyse technique et économique du projet doit permettre d'éviter une perte de stockage du barrage, tout en garantissant une sécurité de fonctionnement comparable à celle d'un seuil libre. Cette sécurité de fonctionnement est assurée par un échelonnement des niveaux de basculement.

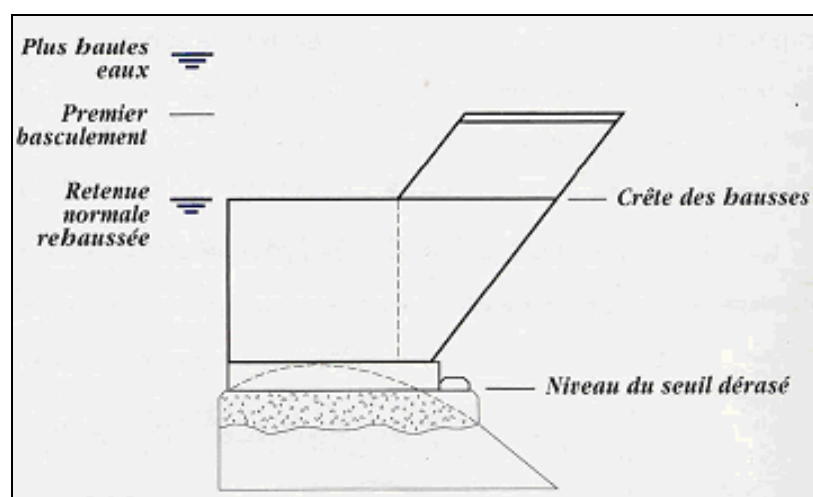


Figure V-4 : Coupe transversale d'un seuil équipé de hausse fusible.

5-3/ Augmentation de la capacité de stockage

La rehausse du niveau de la retenue normale d'un barrage existant par une installation des hausses fusibles constitue une solution simple, économique et sûre pour répondre à un besoin en eau. Cette installation a pour but d'optimiser le niveau de retenue tout en assurant une sécurité de fonctionnement. La rehausse envisageable dépend du taux d'écrêtement de la crue de projet par celui-ci. Elle doit garantir que le débit de pointe de la crue sortante soit inférieur au débit de la crue entrante.

La crue du premier basculement est choisie de manière à optimiser les performances économiques du projet. En effet, le gain de stockage est important lorsque la période de retour du premier basculement est moins grande. Et cela s'explique du fait que plus la tranche de sécurité est exploitée, plus le débit à évacuer de la crue sera important et plus la période de retour correspondante grande. Mais pour que la hausse ne bascule pas et que le niveau des plus hautes eaux ne soit pas dépassé, il faut que la lame déversante soit réduite engendrant ainsi la diminution du débit à évacuer. D'où, la diminution de la période de retour de la crue.

5-3/ Amortissement des crues

Pour mieux protéger les populations vivantes dans les zones inondables, la construction de barrages dans ces régions est nécessaire afin de retenir temporairement une partie significative du volume de la crue de façon à limiter l'amplitude de la crue à l'aval. Pour la plupart de ces barrages, le niveau de la retenue est généralement maintenu nettement plus bas que le niveau du seuil déversant, dans le but de stocker les crues les plus courantes.

L'utilisation des hausses fusibles sur ce type de barrage permet d'augmenter le pouvoir sécréteur de l'ouvrage sans modification des conditions d'exploitation. Et cela peut se faire de deux manières :

- soit le seuil est surélevé afin que le volume réservé à l'absorption des crues soit plus important, dans ce cas la période de retour des crues déversantes est diminuée.
- soit la capacité reste inchangée mais dans ce cas la hauteur du seuil est réduite et comblée par l'implantation des hausses afin d'évacuer plus de débits. Ici, la période de

retour de la crue de basculement est plus grande que la crue de déversement sur le seuil initial.

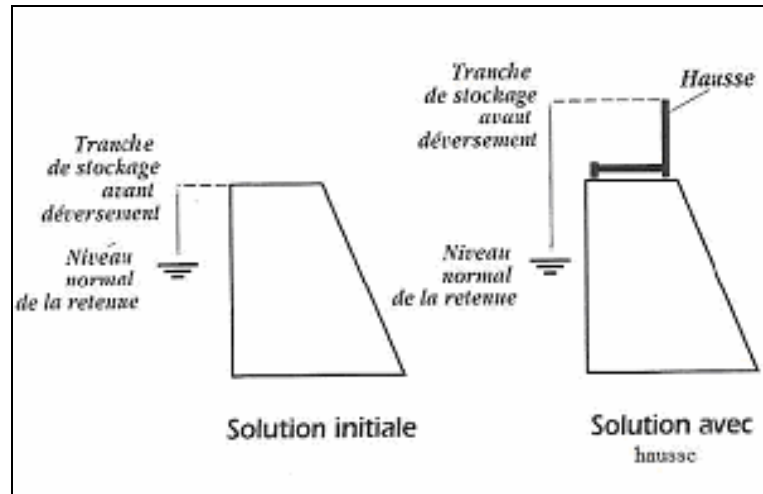


Figure V-5: Impact des hausses fusibles.

6- Application des hausses fusibles pour les nouveaux barrages

L'évolution des méthodes d'estimation de la crue de projet a conduit à concevoir des nouveaux barrages qui garantissent une grande sécurité de fonctionnement.

Mais, le coût de l'évacuateur de crue à une grande part dans le coût global du barrage.

L'équipement des évacuateurs de crue par des hausses fusibles peut être décisif dans la conception d'un nouveau barrage.

7- Conséquences de la modification du niveau normal de retenue

7-1/ Etanchéité

Pour un barrage correctement conçu, l'étanchéité doit être assurée, y compris pour le niveau des plus hautes eaux. Ce dernier niveau n'étant pas modifié par le système des hausses fusibles, il n'y a théoriquement aucune disposition complémentaire à prévoir sur ce point. Cependant, le système d'étanchéité du barrage doit être systématiquement vérifié et l'étanchéité devra être renforcée en ces points de faiblesse.

Deux situations peuvent en effet conduire à renforcer l'étanchéité :

- Le dispositif original d'étanchéité était sous dimensionné et le rehaussement va accroître ce sous dimensionnement.
- L'analyse des débits de fuite en fonction de la cote du plan d'eau et leur extrapolation pour le futur niveau normal des eaux conduisent à des débits non admissibles pour la sécurité ou jugés préjudiciables pour l'économie d'exploitation.

7-2/ Drainage

En général, le dispositif de drainage d'un barrage est largement surdimensionné, en ce sens qu'il permet l'évacuation d'un débit de fuite nettement supérieur à celui que l'on escompte. Il pourra le plus souvent accepter sans problèmes l'augmentation du débit des fuites consécutives à l'élévation du niveau normal de retenue. Ce point reste cependant à vérifier au cas par cas.

Pour les barrages en remblai, l'élévation du niveau normal des eaux va se traduire par une montée de la ligne piézoélectrique qui peut être, dans certains cas, lourde de conséquences. Outre la diminution de la sécurité au glissement du remblai aval, on peut également craindre le développement de renards si la ligne piézoélectrique vient à affleurer le talus aval.

Le renforcement du dispositif de drainage est alors très délicat et parfois aléatoire. Le coût des dispositions à adopter pourra parfois conduire à revoir totalement, voire à abandonner le projet de rehaussement du seuil.

8- Evacuation des hausses basculées

Lors d'une forte crue, les hausses basculées sont entraînées par le courant jusqu'à une zone d'eaux calmes où elles vont s'échouer. Il convient cependant de vérifier qu'elles ne peuvent en aucun cas perturber l'écoulement de la crue au niveau du barrage ou à son aval proche.

Quelques situations appellent une attention particulière :

- Dans le cas d'un évacuateur comportant un coursier à surface libre, la largeur du canal doit être supérieure à la plus grande diagonale des hausses et il est préférable de n'avoir aucun tronçon du coursier en régime fluvial.
- Pour un évacuateur en puits, le puits et la galerie doivent être de diamètres supérieurs à la plus grande dimension des hausses et ne doivent présenter aucun point singulier susceptible de provoquer le blocage d'une hausse.
- Si les hausses sont installées sur un déversoir déporté sur une rive, il convient de prendre en compte l'inclinaison latérale de la nappe d'eau à l'amont immédiat du déversoir lors du déversement : la hauteur de la retenue considérée pour chaque élément doit tenir compte de cette singularité. Sinon, il peut y avoir un risque de perturbation de l'ordre théorique de basculement des hausses.

9- Entretien et maintenance

Les hausses fusibles nécessitent par nature une surveillance minimale. Cette surveillance est très simple, ne demande pas de compétence particulière et s'insère dans le cadre général de la surveillance du barrage.

De ce fait, trois types d'inspections sont recommandés :

- ✓ Inspection de routine :
 - Un contrôle avant la période des crues.
 - Un contrôle après les événements exceptionnels (crue importante, séisme, acte de vandalisme, etc.).
- ✓ Un contrôle annuel complet et systématique.
- ✓ Un contrôle décennal comprenant le levage des hausses.

Le contrôle consiste à :

- ✓ Vérifier régulièrement que les purges et les puits ne sont pas bouchés.
- ✓ Vérifier l'état de la chambre de sous-pression suite aux opérations décennales.
- ✓ Vérifier l'état des joints d'étanchéité.

Les interventions de contrôle devront être réalisées lorsque le niveau d'eau dans le réservoir est inférieur au niveau du pied des hausses.

II- Les hausses fusibles du barrage de Béni-Amrane

Le barrage de Béni-Amrane est plus particulièrement destiné à fournir un stockage de l'Oued Isser, afin de faciliter le pompage d'eau brute vers le réservoir de Keddara et éventuellement vers Boudouaou. Cette eau brute, bien que de quantité médiocre, constitue l'apport majeur du réservoir de Keddara.

Les Autorités algériennes ont décidé la rehausse du niveau de la retenue de 3,50 m grâce à l'utilisation de hausses fusibles de 3,75 m de hauteur fabriquées en béton directement sur site. Ces hausses fusibles sont caractérisées par les fortes lames d'eau au dessus la hausse avant son basculement (jusqu'à 9,10 m de lame d'eau, valeur prise loin à l'amont).

Cette rehausse du niveau de retenue normale accroît la capacité utile de stockage de 7,1 hm³, ce qui représente une augmentation de l'ordre de 140%.

La capacité de stockage supplémentaire permettra d'augmenter de manière significative les transferts d'eau sur Keddara.

1- Caractéristiques des hausses fusibles

La rehausse du barrage de Béni-Amrane nécessite la construction de sept hausses fusibles fabriquées en béton armé coulé sur place. Les caractéristiques en sont les suivantes :

- Hauteur3,75 m.
- Longueur nominale.....14,60 m.
- Longueur réelle.....14,55 m.
- Empattement amont - aval.....4,80 m.
- Largeur de la cheminée.....1,42 m.

- Hauteur de la cheminée (au-dessus de la base de la hausse).....8,70 à 9,18 m.
- Poids propre de la structure complète.....500 tonnes environ.
- Centre de gravité propre.....2,7 m / face amont.

Les hausses fusibles sont caractérisées par :

- ✓ De forts déversements avant basculement par rapport à la hauteur de la hausse fusible ; d'où d'importants effets hydrodynamiques.
- ✓ De forts déversements avant basculement par rapport à la longueur de la hausse fusible ; d'où le risque d'interaction des différentes hausses fusibles.

La configuration des hausses envisagées sur le barrage de Béni-Amrane a nécessité des essais sur modèle réduit. Les objectifs sont les suivants :

- Réaliser un modèle de stabilité pour ce type particulier de hausses ;
- Caler les entonnoirs d'alimentation (détermination du linge d'eau sur les hausses) ;
- Vérifier la stabilité de la hausse en cas du basculement des hausses voisines.

2- Stabilité des hausses

La hausse, simplement posée sur le seuil, s'appuie à l'aval sur ses deux butées. Le système de forces auquel elle est soumise peut être décomposé de la façon suivante et exprimé en moments par rapport aux butées aval.

Le moment de renversement est constitué des efforts suivants (en rouge sur le schéma qui suit) :

- Poussée amont due au niveau d'eau dans la retenue (sur la hausse : F_{s1} ; sur le puits : F_{s2}).
- Sous – pression dans la chambre et sous l'embase ($F_{ud}+F_{uc}$).

Le moment stabilisateur comprend les efforts suivants (en vert sur le schéma qui suit) :

- Poids propre de la hausse (F_g),
- Poids d'eau au-dessus de la hausse (F_w),
- Contre - poussée due à la hauteur d'eau à l'aval (F_d).

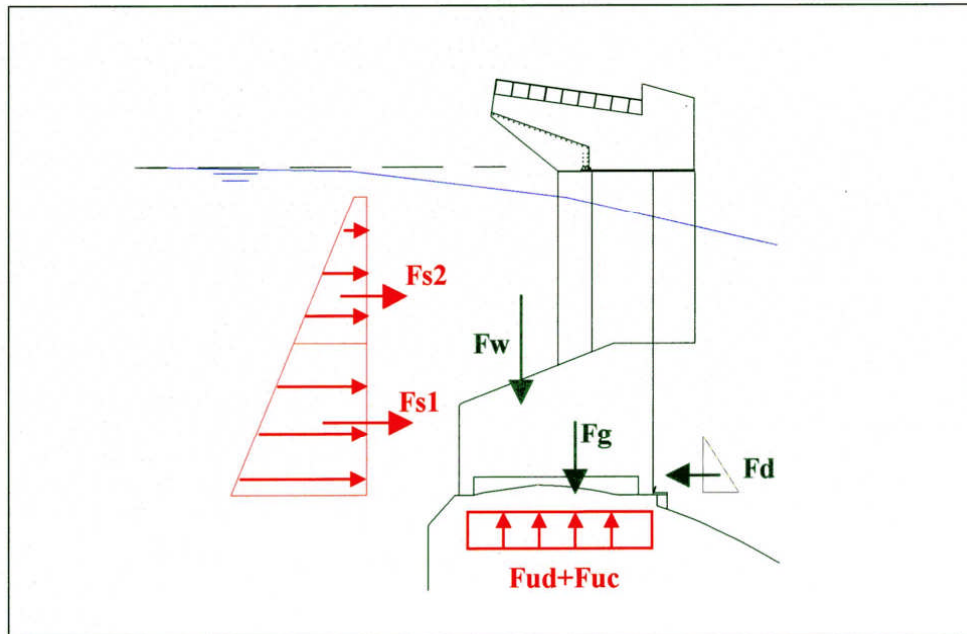


Figure V-6 : Système de forces appliquées à la hausse fusible

Pour la détermination de la pression amont sur la hausse (due au niveau d'eau dans la retenue F_{s1}) : on utilise la formule de Lancastre (Hydraulique Générale, Lancastre A., 1996).

Pour la détermination de la pression amont sur le puits (due au niveau d'eau dans la retenue F_{s2}) : les fortes vitesses d'eau et la largeur réduite du puits ne permettent pas d'utiliser le modèle hydrostatique tel quel. Les essais ont permis la détermination du moment effectivement exercé sur le puits.

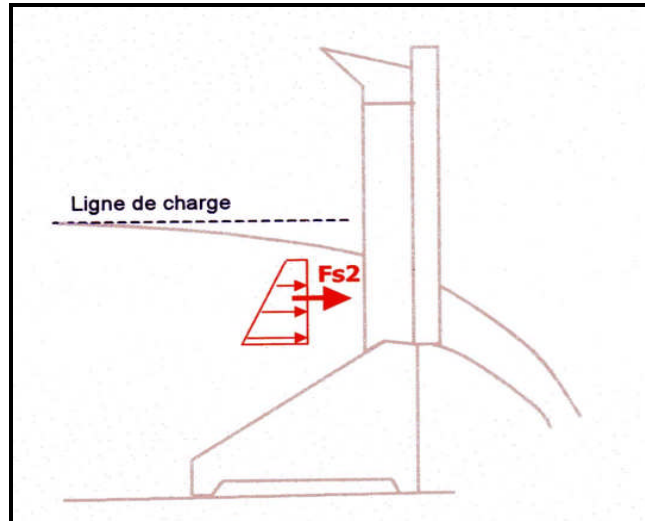


Figure V-7 : Pression amont sur le puits Fs2.

Pour déterminer le poids d'eau au-dessus de la hausse Fw : les vitesses d'écoulement élevées prévues à Béni-Amrane ne permettent l'application des règles appliquées en statique des fluides ; la pression de l'eau sur le parement supérieur de la hausse diffère de la hauteur de la colonne de la lame d'eau.

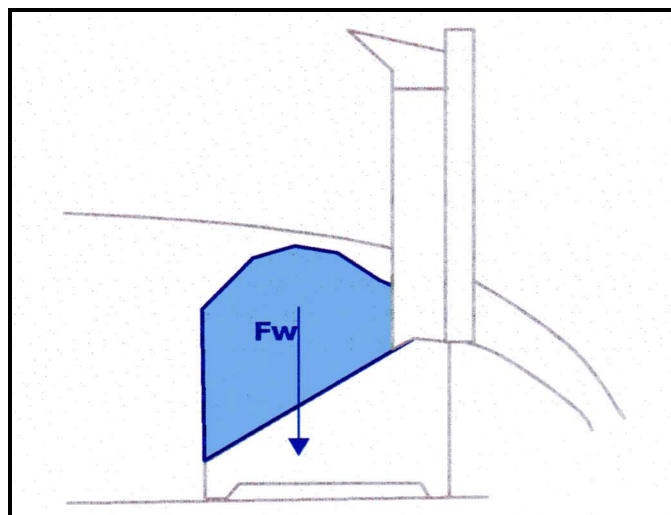


Figure V-8 : Poids d'eau au-dessus de la hausse.

Les essais ont permis la détermination de la valeur et de la distribution de la pression effectivement exercée par l'écoulement sur le parement supérieur de la hausse

3- Photos du modèle

Les photos suivantes présentent la hausse fusible d'essai :

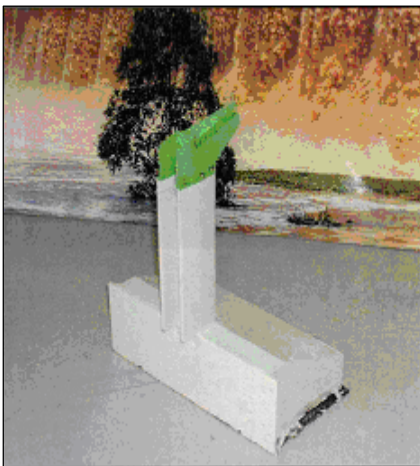
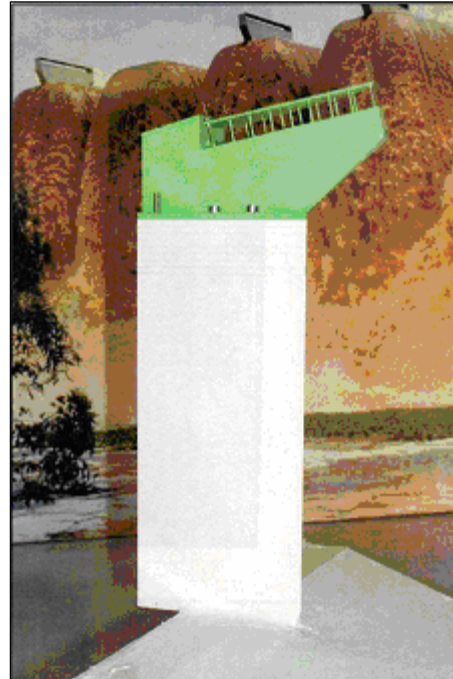
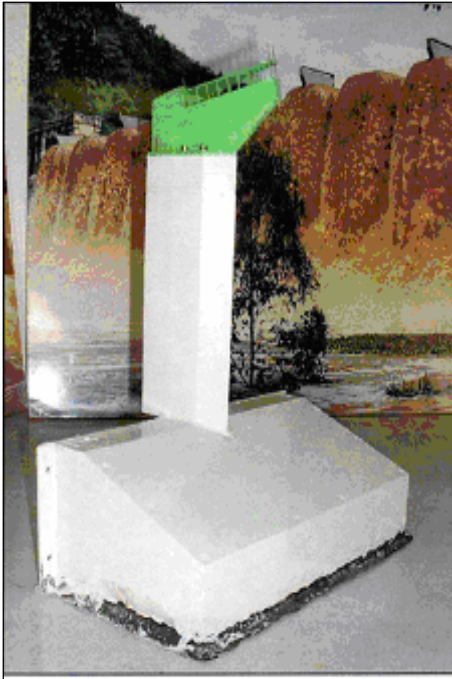


Figure V-9 : Photos de la hausse fusible d'essais.

Les photos suivantes présentent la hausse fusible modelée sur le seuil :

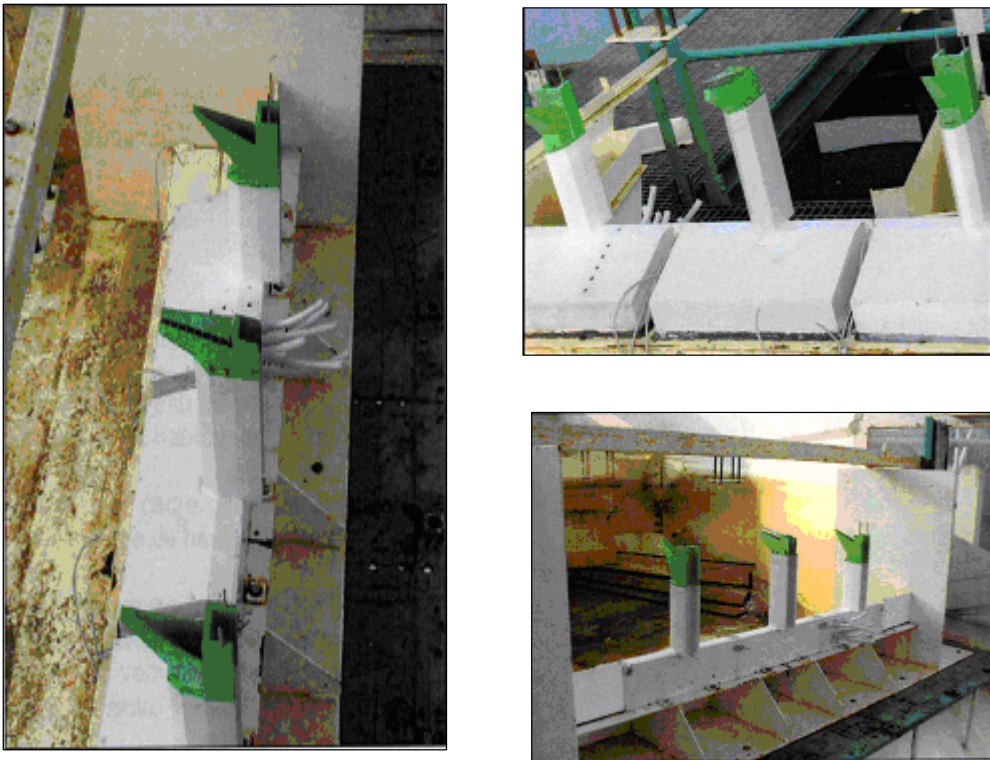
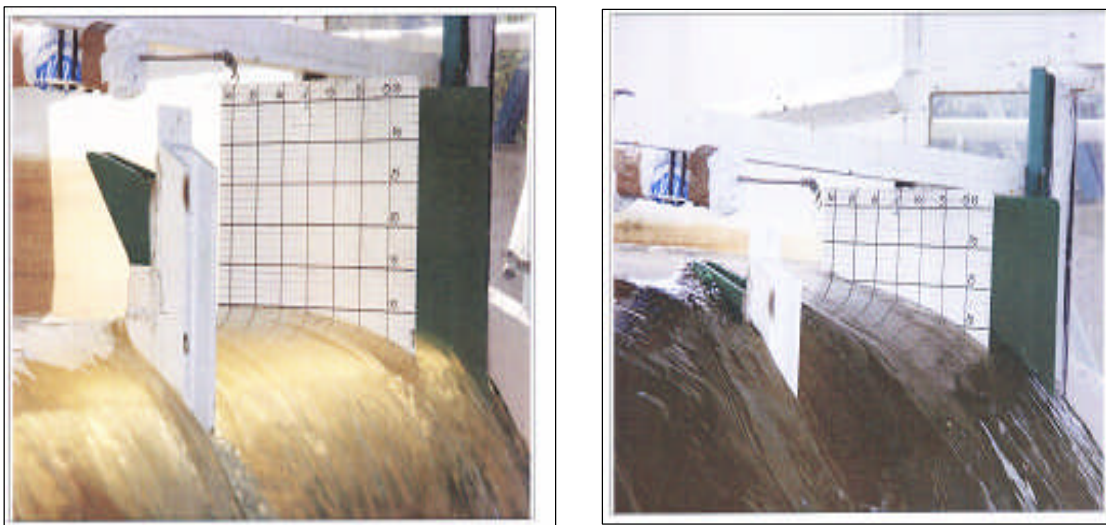


Figure V-10 : Photos de la hausse fusible modelée sur le seuil.

Les photos suivantes présentent les essais de basculement sur modèle réduit des hausses fusibles.



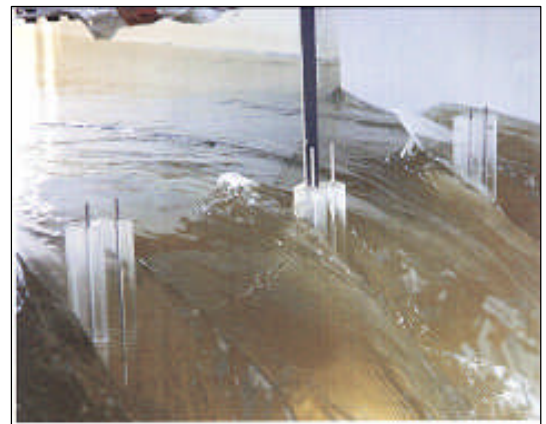
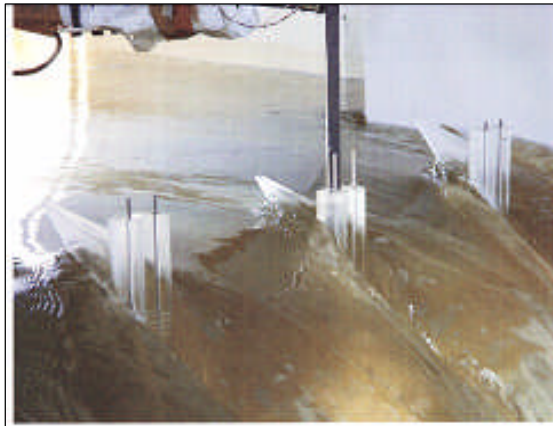
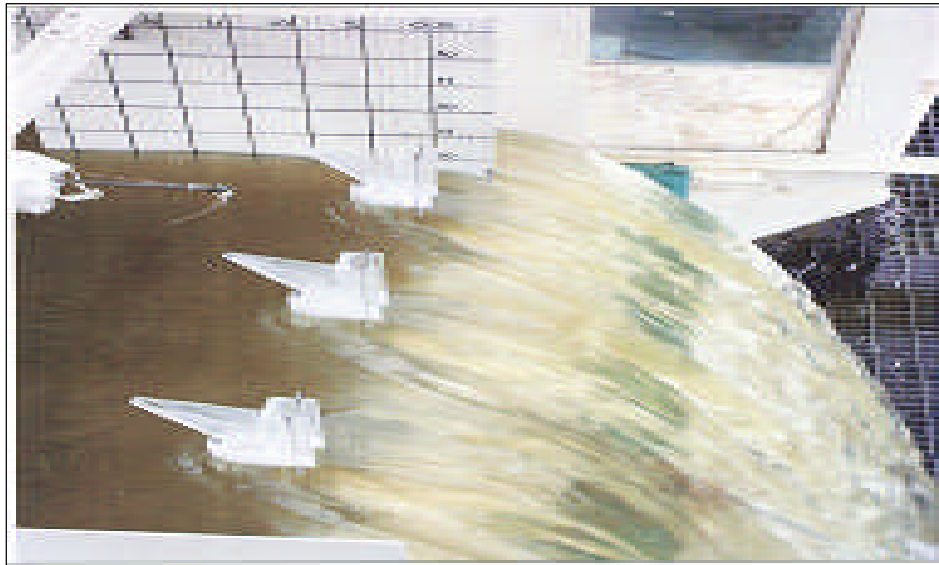


Figure V-11 : Photos des essais de basculement sur modèle réduit.

Les photos suivantes représentent les hausses fusibles du barrage de Béni-Amrane :





Figure V-12 : Photos des hausses fusibles du barrage du Béni-Amrane.

CHAPITRE VI

STABILITE DU BARRAGE DE BENI- AMRANE

Chapitre VI

STABILITE DU BARRAGE

I- Introduction

La stabilité des barrages sous l'effet de la poussée de l'eau est assurée par le poids de la tranche de barrage considéré.

Le concept de la stabilité des barrages poids repose principalement sur la détermination du fruit aval (m) du barrage calculé en fonction de la vérification des conditions suivantes :

- Stabilité au renversement.
- Stabilité au glissement
- Conditions d'extension.
- Condition de Maurice Levy.

II- Calcul de la stabilité du barrage

La stabilité du barrage de Béni-Amrane doit être vérifié après sa surélévation.

1- Les actions

➤ Poussée hydrostatique (Fd)

Le barrage est soumis à la poussée de l'eau, c'est-à-dire à une pression variant linéairement avec la profondeur.

La masse volumique δ de l'eau prise égal à 1000 kg/m^3 pour une eau non chargée et δ' égale à 1200 kg/m^3 pour une eau chargée. La pression exerce une force perpendiculaire au parement qui est considéré dans notre cas vertical.

➤ Poids du barrage (P)

Le poids du barrage est représenté par une force verticale dont le point d'application est considéré appliqué au centre de gravité géométrique.

➤ Sous-pressions (S_p)

Il n'existe pas de matériau totalement étanche. Le corps du barrage et sa fondation sont, sous l'effet de la différence de pression hydrostatique entre l'amont et l'aval, considérés soumis à des écoulements bien qu'il y'ait des travaux de traitement indispensables pour étancheiser la fondation et le corps du barrage. Il règne dans le corps du barrage et au contact avec la fondation, une sous-pression considérée égale à la pression hydrostatique, analogue à la pression interstitielle.

Dans les calculs qui suivent on a considéré deux cas les plus défavorables :

- L'épure de la sous-pression rectangulaire : c'est le cas le plus défavorable et pessimiste où le niveau du plan d'eau amont est égale au niveau du plan d'eau aval.
- L'épure de la sous-pression triangulaire (logique) correspondant au cas où le réseau de drainage n'existe pas ou ne fonctionne pas.

➤ Poids des hausses (G)

C'est le poids propre de la structure complète qui est égale à 500 t.

La figure suivante montre les efforts extérieurs appliqués au barrage après surélévation.

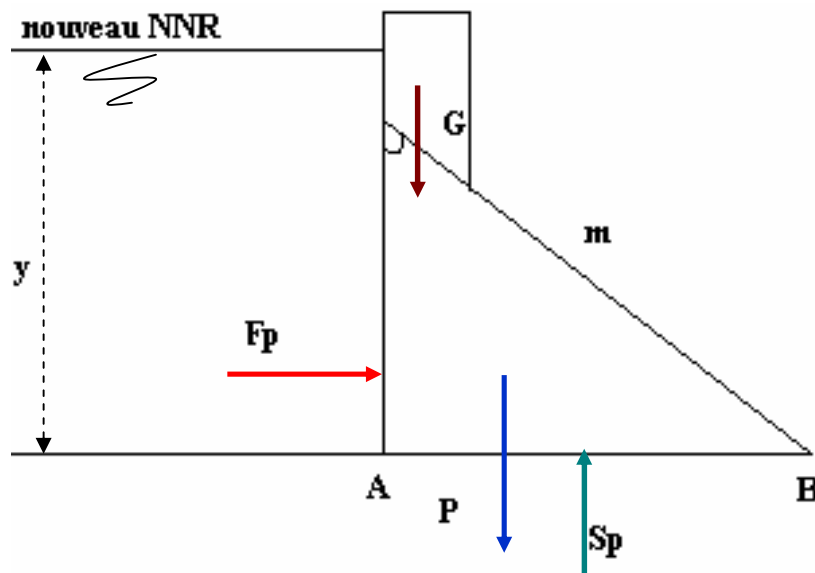


Figure VI-1 : Les efforts appliqués au barrage.

D'autres efforts peuvent également, dans le cas échéant pris en compte exemple :

- Forces d'inerties engendrées par le tremblement de terre ;
- Actions des vagues ;
- Poussée des dépôts solides en amont du barrage.....

III- Conditions de stabilité

Le principe de calcul se base sur les considérations suivantes :

- De l'équilibre de profil au renversement autour de l'arrête aval (B)
- De l'équilibre de profil au glissement sur la base ou une base d'assise quelconque.
- Vérification de la condition de non extension qui consiste à éviter d'avoir des contraintes de traction ou les avoir dans des limites bien définis pour éviter toute apparition de fissures.
- Vérifier la condition de Maurice Levy, consiste à avoir dans n'importe quel point situé sur le talus amont une contrainte (fatigue élastique) supérieure à la pression de l'eau en ce point.

1- Stabilité au renversement

Le poids **P** appliquée au centre de gravité est :

$$P = \frac{1}{2} \Delta m y^2 \dots\dots\dots(1)$$

Avec

Δ : densité de maçonnerie qui est égale à 2400 kg/m³.

y : nouveau niveau normale de le retenue (y= 67.25 m).

m : fruit du barrage aval tel que

$$m = tg\alpha \dots\dots\dots(2)$$

Le fruit aval des barrages modernes varie entre (0,7 – 0,8).

La poussée hydrostatique **F_p** de l'eau aura tendance à faire basculer le barrage autour du point B du parement aval, elle passe également par le centre de gravité géométrique..

$$Fp = \frac{1}{2} \delta . y^2 \dots\dots\dots(3)$$

Avec

δ : densité de l'eau de la retenue

La résultante des sous - pressions est une force **Sp** verticale, ascendante et s'applique au centre de gravité de l'épure des sous-pression.

Pour une répartition uniforme des sous – pressions :

$$Sp = \delta . m . y^2 \dots\dots\dots(4)$$

Pour une répartition triangulaire des sous – pressions :

$$Sp = \frac{1}{2} \delta . m . y^2 \dots\dots\dots(5)$$

Le poids de la hausse G par unité de longueur est :

$$G = \frac{Q}{Lt} \dots\dots\dots(6)$$

Avec

Q : le poids propre de la hausse.

Lt : la longueur de la hausse.

Le tableau récapitulatif suivant exprime tous les efforts et les moments appliqués au barrage

Forces	Bras	Moments
Poussée $F_p = \frac{1}{2} \delta \cdot y^2$	$y/3$	$- (1/6) \delta y^3$
poids $P = \frac{1}{2} \Delta m y^2$	$2/3 m y$	$+ (1/3) \Delta m y^3$
Répartition uniforme de sous - pression $S_p = \delta \cdot m \cdot y^2$	$(1/2) m y$	$- (1/2) \delta m^2 y^3$
Répartition triangulaire de sous - pression $S_p = \frac{1}{2} \delta \cdot m \cdot y^2$	$2/3 m y$	$- (1/3) \delta m^2 y^3$
Poids de la hausse $G = \frac{Q}{L t}$	ℓ	$+ G \cdot \ell$

Tableau VI-1 : Forces et moments appliquées au barrage de Béni-Amrane.

La condition de stabilité au renversement s'écrit :

$$\sum M_{F/B} \geq 0 \dots\dots\dots (7)$$

$$M_{F_p/B} + M_{P/B} + M_{S_p/B} + M_{G/B} \geq 0 \dots\dots\dots (8)$$

On remplace les moment dans l'équation (8) on obtient :

✓ Pour une répartition uniforme des sous - pression

$$m = \sqrt{\frac{\frac{\delta \cdot y^3}{6} - G \cdot \ell}{(\frac{\Delta}{3} - \frac{\delta}{2}) \cdot y^3}} \dots\dots\dots (9)$$

Pour $\delta = 1000 \text{ kg/m}^3 \Rightarrow m = 0,744$

Pour $\delta' = 1200 \text{ kg/m}^3 \Rightarrow m' = 0,999$ (le barrage tend à basculer s'il n'y aurait pas un bon Réseau de drainage bien qu'on est dans un cas pessimiste)

✓ Pour une répartition triangulaire des sous – pression

$$m = \sqrt{\frac{\frac{\delta \cdot y^3}{6} - G \cdot \ell}{\frac{1}{3}(\Delta - \delta) \cdot y^3}} \dots\dots\dots(10)$$

Pour $\delta = 1000 \text{ kg/m}^3 \Rightarrow m = 0,597$

Pour $\delta' = 1200 \text{ kg/m}^3 \Rightarrow m' = 0,707$

On voit que pour δ le fruit est proche de 0,75, la condition est tout juste satisfaite et le barrage est près à flotter, et pour δ' le barrage va basculer. On voit déjà l'importance primordiale de l'établissement d'un bon réseau de drainage.

2- Stabilité au glissement

La résultante des efforts appliquée au barrage \vec{R} a pour composante tangentielle F_p et pour composante normale $(P+G-S_p)$

Cette résultante \vec{R} fait un angle γ avec la verticale :

$$tg\gamma = \frac{F_p}{P + G - S_p} \dots\dots\dots(11)$$

Pour que le barrage ne glisse pas sur la base AB, il faut que naissent au niveau de cette base Ab des forces de frottement et de cohésion qui s'opposent à F_p .

Cette condition de résistance au glissement s'écrit :

$$\underbrace{Fp}_{\substack{\text{Composante} \\ \text{tangentielle}}} \leq \underbrace{f(P + G - Sp)}_{\substack{\text{Résistance} \\ \text{de glissement}}} + \underbrace{c.S}_{\substack{\text{Résistance au cisaillement}}} \dots\dots\dots(12)$$

Avec

f : coefficient de frottement

c : c'est la cohésion

On admet que c est négligeable (quelque kg/cm²). On déduit :

$$Q \leq f(P + G - Sp) \dots\dots\dots(13)$$

Or :

$$f = tg \varphi \dots\dots\dots(14)$$

φ : Angle de frottement en générale est égale à $\frac{3}{4}$

De l'équation (13) on obtient :

$$\frac{Fp}{P + G - Sp} \leq f \dots\dots\dots(15)$$

D'où

$$tg \gamma \leq tg \varphi \Rightarrow \gamma \leq \varphi$$

Pour que le barrage résiste au glissement, il faut que la résultante \vec{R} fasse avec la verticale un angle inférieur à l'angle de frottement.

✓ Pour une répartition uniforme des sous - pression

On remplace toutes les forces dans la formule (15) on trouve :

$$m \geq \frac{\frac{1}{2} \delta . y^2 - G . f}{\left(\frac{\Delta}{2} - \delta\right) . f . y^2} \dots\dots\dots(16)$$

Pour $\delta = 1000 \text{ kg/m}^3 \Rightarrow m = 3,33$

✓ Pour une répartition triangulaire des sous – pression

$$m \geq \frac{\frac{1}{2} \delta \cdot y^2 - G \cdot f}{\frac{1}{2} \cdot f \cdot y^2 \left(\frac{\Delta}{2} - \delta \right)} \dots\dots\dots(17)$$

Pour $\delta = 1000 \text{ kg/m}^3 \Rightarrow m = 0,952$

Pour $\delta = 1200 \text{ kg/m}^3 \Rightarrow m = 1,11$

Ceci nous permet de conclure que :

Si on arrive à satisfaire aux conditions de renversement on ne peut satisfaire au glissement, d'où la nécessité réduire les sous – pression on faisant un bon réseau de drainage.

3- Condition de Non - Extension (Règle de tiers Central)

Pour qu'il n'apparaisse aucune traction sur les fibres de la section, il suffit que la résultante ne sorte pas de tiers central de la section.

Pour vérifier cette condition au niveau du barrage de Béni-Amrane on a procédé comme suit :

On a calculé tous les efforts appliqués au barrage, puis on a déterminé la résultante, ensuite vérification de la condition en représentant les efforts et la résultante à l'échelle.

Pour cela on a supposée la valeur extrême de m à partir de deux conditions précédentes qui devrait être comprises entre (0,70- 0,80).

Cas des sous pressions triangulaires

$\delta = 1000 \text{ kg/m}^3$

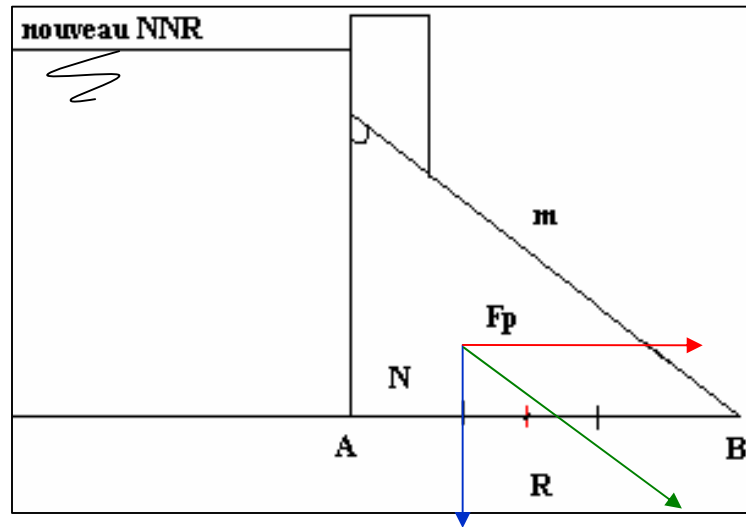


Figure VI-2 : Résultante des efforts appliquées au barrage
avec $\delta=1000 \text{ kg/m}^3$

$\delta=1200\text{kg/m}^3$

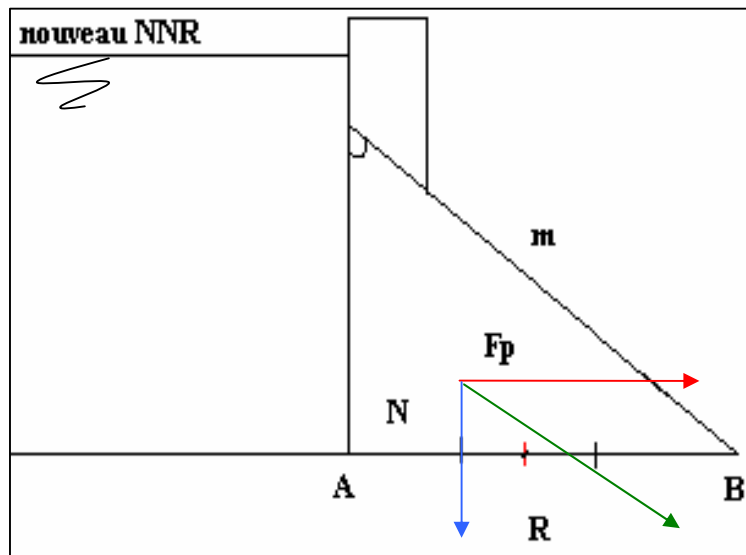


Figure VI-3 : Résultante des efforts appliquée au barrage
avec $\delta=1200 \text{ kg/m}^3$

4- condition de Maurice Lévy

Cette condition intervient dans les cas extrêmes et exceptionnels (apparition des microfissures dans le corps du barrage).

Du fait du coût trop élevé que suppose le respect de la condition, on n'y satisfait pas à 100% mais partiellement pour des conditions économiques et techniques.

Pour la satisfaction de la condition, on a adopté certaines considérations pour faciliter la procédure de calcul, ce qui nous a permis de la vérifier partiellement dans les limites d'avoir un calcul technico-économique.

*CONCLUSION
GENERALE*

Conclusion générale

La sécurité des barrages est un objectif primordial qui peut conduire à accroître la capacité des évacuateurs de crues. A l'opposé, les années sèches que l'on vient de connaître en Algérie et la problématique de l'envasement, l'augmentation des besoins ou la satisfaction inévitable des besoins due à une perte de capacité, amène à rechercher des solutions pour accroître la capacité des retenues. Bien sur, il convient de ne pas diminuer pour autant la sécurité des ouvrages.

Les hausses fusibles constituent une méthode simple, sûre et robuste pour augmenter la capacité de stockage des barrages. L'un de leur avantage est qu'elles ne fonctionnent que sous l'action de l'eau et ne nécessitent ainsi aucun asservissement ni intervention humaine.

L'intérêt d'une augmentation de capacité du barrage de Béni-Amrane due en grande partie par l'envasement partielle de l'ouvrage par les hausses fusibles, est de permettre d'augmenter le volume moyen annuel transféré vers Keddara. Les valeurs caractéristiques suivantes peuvent être retenues:

- 5 Mm³ supplémentaires transférés pour une augmentation de capacité de 3 Mm³,
- 8 Mm³ supplémentaires transférés pour une augmentation de capacité de 6 Mm³,
- 9 Mm³ supplémentaires transférés pour une augmentation de capacité de 8 Mm³.

Cette solution technico-économique a été choisie après une étude judicieuse approfondie en comparaison aux différentes méthodes pouvant être prise en considération. Elle s'impose d'elle-même en présentant beaucoup plus d'avantages qui vont à l'encontre de la fiabilité d'exploitation que d'inconvénient que l'on peut considérer négligeable.

La mise en oeuvre de cette solution nécessite la vérification des contraintes liées aux infrastructures existantes (route et voie ferrée) par un levé topographique détaillé fixant la cote maximale admissible pour la retenue permanente.

Cette solution permet de stocker d'avantage de l'eau, de bien gérer le dévasement du barrage, d'augmenter la sécurité à l'exploitation des crues, d'améliorer la qualité de l'eau et d'offrir des conditions appréciables d'exploitation de la station de pompage située à l'aval de l'ouvrage.

La gestion des débits liquides se fera en général en fonction des débits solides qui seront évacués suivant le concept des courants de densité à travers les pertuis des chasses d'envasement, en suivant des consignes strictes, qui demandent à être élaborées de façon détaillées.

Enfin, si à terme le barrage amont de Koudiat Acerdoune est de nature à améliorer la situation de Béni-Amrane en retenant une partie importante des sédiments transportés, le bassin versant intermédiaire situé entre les deux barrages continuera à produire des apports solides. Il est par conséquent recommandé de procéder à une étude détaillée de ce bassin versant de façon à identifier les zones les plus productrices de sédiments et à mettre en les mesures nécessaires de conservation des sols. Ces mesures pourront consister en la mise en place (en particulier dans les zones cultivées) des talus, banquettes, murets, bandes enherbées, plantations, traitement de ravines, ainsi qu'en l'adaptation des pratiques culturales.

En conclusion, la solution adoptée se présente comme une solution très performante et concurrentielle pour la fiabilité de gestion d'un barrage, qui ne cesse de gagner de terrain et de s'imposer d'une manière magistrale de part les avantages technico-économiques qu'elle procure.

Bibliographie

- [1]- **Patrik Le Delliou**. (2004), « Les Barrages : conception et maintenance »,
Edition ENTP.
- [2]- **Remini, B.**
Avenard J. (2003), « Envasement des barrages », Edition CEDOC.
Kettab, A.
- [3]- **Remini, B.** (2005), « La problématique de l'eau en Algérie », Collection hydraulique
et transport solide.
- [4]- **Degoutte, G.** (1997), « Petits Barrages », Cemagref.
- [5]- **Hydroplus**, « Barrage de béni-Amrane équipé de hausses fusible Hydroplus »,
Avril 2004.
- [6]- **Agence National des Barrages**, (1990), « Barrage de Béni-Amrane Monographie ».
- [7]- **Belmesk, R.** (2007), « Bilan annuelle d'exploitation du barrage de Béni-Amrane ».
- [8]- **Benouniche, N.** (2006). « Etude des hausses fusibles sur un déversoir »,
thèse d'ingénieur d'état en hydraulique de l'ENP (Alger).
- [9]- **Mouloudi, Y.** (2006-2007), « Cours de Barrage », ENP.
- [10]- **Bureau d'Ingénieurs Conseils**, (Juillet 2002), « ETUDE DES ZONES DE
REJET DU BARRAGE DE BENI AMRANE ».

Liste des figures et des tableaux

Liste des figures

Figure I-1 : Système Isser-Keddara-Boudouaou-Alger.....	4
Figure I-2 : Carte de situation générale du bassin.....	6
Figure I-3 : Carte d'occupation du sol.....	7
Figure I-4 : Carte des Pentes.....	8
Figure I-5 : Carte de la pluviométrie.....	9
Figure I-6 : Courbe des superficies et des volumes de la retenue en fonction des cotes de Béni-Amrane	16
Figure I-7: Variations mensuelles moyennes du débit liquide dans l'Oued Isser (Station de Lakhdaria).....	17
Figure I-8 : Variations mensuelles moyennes du débit solide dans l'Oued Isser (période de 20 ans).....	19
Figure II-1: Débit déversés lorsque l'évacuateur et les vannes fonctionnent simultanément.. ..	29
Figure III-1: Organigramme du processus d'envasement d'une retenue.....	34
Figure III-2 : Moyens de lutte technique contre l'envasement des barrages.....	37
Figure III-3: Dévasement d'une retenue de barrage à l'aide d'une drague suceuse – refouleuse.....	42
Figure III-4: Schéma d'une vanne levante verticale.....	44
Figure III-5 : Schéma d'une vanne segment.....	45
Figure III-6 : Schéma d'une vanne clapet.....	46
Figure III-7 : Photo du barrage de Zardezas	47

Figure III-8 : Photo du barrage de K'sob	48
Figure III-9 : Photo du barrage de Bouhanifia.....	48
Figure III-10: Fonctionnement d'un seuil gonflable.....	49
Figure III-11 : Principe d'un seuil gonflé à l'eau.....	50
Figure III-12 : Seuil rehaussé par des hausses fusibles.....	51
Figure III-13 : Vue depuis l'amont d'une hausse.....	51
Figure III-14: Vue de dessous d'une hausse.....	52
Figure III-15 : La hausse fonctionne comme un barrage.....	54
Figure III-16 : La hausse fonction comme un déversoir.....	54
Figure III-17 : Alimentation de la chambre de mise en pression.....	54
Figure III-18 : L'eau bascule la hausse.....	54
Figure III-19 : Photo des hausses fusibles du barrage de Béni-Amrane.....	58
Figure III-20 : Photo des hausses fusibles du barrage de Foug El Gueiss.....	59
Figure III-21 : Photo des hausses fusibles du barrage de Ghrib.....	60
Figure IV-1: Carte exprimant le risque d'érosion	62
Figure IV-2 : Variations annuelles des apports liquides de l'Oued Isser	63
Figure IV-3 : Variations annuelles des vidanges du fond du barrage de Béni-Amrane....	63
Figure IV-4 : Variations annuelles du volume de vase évacuée au niveau du barrage de Béni-Amrane.....	64
Figure IV-6 : Situation de la cuvette en 1994.....	64
Figure IV-7 : Profil en long de la cuvette.	65
Figure IV-8: Evolution de l'envasement entre 1994 et 2000.....	66
Figure IV-9 : Courbe hauteur - capacité de la cuvette.....	66
Figure IV-10 : Capacités totale et utile de la retenue.....	67
Figure IV-11 : Modification de la stabilité du déversoir.....	68
Figure IV-12: Courbes hauteur - capacité projetées	70
Figure IV-13 : Impact de la surélévation sur la stabilité	80

Figure IV-14 : Gain en transfert en fonction de la capacité supplémentaire créée à Béni-Amrane.....	82
Figure IV-15 : Comparaison économique des solutions.....	84
Figure IV-16 : Coût en fonction du transfert annuel supplémentaire vers Keddara.....	84
Figure V-1 : Système de forces agissant sur une hausse.....	88
Figure V-2 : Débits transitant par la chambre de mise en pression.....	91
Figure V-3 : Coefficient de débit pour une hausse labyrinthe.....	97
Figure V-4 : Coupe transversale d'un seuil équipé de hausse fusible.....	98
Figure V-5: Impact des hausses fusibles.....	100
Figure V-6 : Système de forces appliquées à la hausse fusible	105
Figure V-7 : Pression amont sur le puits Fs2.....	106
Figure V-8 : Poids d'eau au-dessus de la hausse.....	106
Figure V-9 : Photos de la hausse fusible d'essais.....	107
Figure V-10 : Photos de la hausse fusible modelée sur le seuil.....	108
Figure V-11 : Photos des essais de basculement sur modèle réduit.....	109
Figure V-12 : Photos des hausses fusibles du barrage du Béni-Amrane.....	110
Figure VI-1 : Les efforts appliqués au barrage.....	112
Figure VI-2 : Résultante des efforts appliquées au barrage avec $\delta=1000 \text{ kg/m}^3$	119
Figure VI-3 : Résultante des efforts appliquée au barrage avec $\delta=1200 \text{ kg/m}^3$	119

Liste des tableaux

Tableau I-1 : Données hydrologiques du bassin d'Isser..... 10

Tableau I-2 : Données de stockage du barrage de Béni-Amrane..... 10

Tableau I-3 : Caractéristiques de l'évacuateur..... 11

Tableau I-4 : Caractéristiques du barrage..... 11

Tableau I-5 : Caractéristiques de la prise d'eau..... 12

Tableau I-6 : Caractéristiques de la station de pompage..... 12

Tableau I-7 : Caractéristiques de la conduite reliant la station de traitement
à la retenue de Keddara..... 12

Tableau I-8 : Caractéristiques de la retenue de Keddara..... 13

Tableau I-9 : Caractéristiques des conduites de Keddara à la station de traitement
de Boudouaou..... 13

Tableau I-10 : Caractéristiques de la station de traitement à Boudouaou..... 14

Tableau I-11 : Caractéristiques de la conduite de Boudouaou à Alger..... 14

Tableau I-12 : Caractéristiques du Réservoirs urbains..... 15

Tableau I-13 : Caractéristiques de la station de pompage urbaine..... 15

Tableau I-14 : Débits moyens de l'oued Isser à Lakhdaria..... 17

Tableau II-1 : Volume moyen fourni à la station de traitement de Boudouaou..... 25

Tableau III-1 : Conditions liées à la forme de la retenue
et aux caractéristiques de la vase..... 40

Tableau IV-1 : Capacité de la retenue..... 67

Tableau IV-2 : Volume d'eau stocké..... 70

Tableau IV-3 : Moyens de transport..... 74

Tableau IV-4 : Volumes transférables après surélévation..... 81

Tableau IV-5 : Volumes transférables après dévasement..... 82

Tableau IV-6 : Coût des scénarii 83

Tableau IV-7: Comparaison multicritère des solutions proposées 85
Tableau VI-1 : Forces et moments appliquées au barrage de Béni-Amrane.....115