

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'HYDRAULIQUE -ARBAOUI Abdellah-

**DEPARTEMENT AMENAGEMENT ET GENIE HYDRAULIQUE**

## **MEMOIRE DE FIN D'ETUDES**

*En vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat en Hydraulique*

**THEME DU PROJET :**

**ETUDE DE CONFORTEMENT DU BARRAGE  
MEDJEZ B'GAR (W. GUELMA)**

**PRESENTE PAR :**

**M<sup>elle</sup> TABTOUKIA Sarah**

**Devant les membres du jury**

<b>Nom et Prénoms</b>	<b>Grade</b>	<b>Qualité</b>
M. B. BENLAOUKLI	M.C.A	Président
M. S.TOUMI	M.C.B	Examinateur
Mme.A.ADDOU	M.A.A	Examinatrice
Mme.N.SAIL	M.A.A	Examinatrice
Mme. D. DJOUDAR	M.C.B	Promotrice

**Septembre 2018**

# *Dédicace*

Merci mon dieu de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire et la patience d'aller jusqu'au bout du rêve.

Je dédie ce modeste travail à celle qui m'a donné la vie, le symbole de tendresse, qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite, à ma mère. A mon père, école de mon enfance,  
Puisse Dieu, vous procure santé, bonheur et longue vie.

A ASMA ma chère sœur de cœur mon exemple dans la vie, ma lumière qui n'a jamais quitté mon chemin vers la réussite que dieu vous garde pour moi

A mon frère SALAH Tes conseils ont toujours guidé mes pas vers la réussite. Ta compréhension et ton encouragement sont pour moi le soutien indispensable que tu as toujours su m'apporter.

A ma nièce HANINE Pour toute l'ambiance dont tu m'as entouré, pour toute la spontanéité et ton élan chaleureux, Je te dédie ce travail

A mes cousines.

A mes amies.

A ma famille de club HEC

A tous ceux qui me sont chères.

A tous ceux qui m'aiment.

A tous ceux que j'aime.

Je dédie ce travail.

# *Remerciement*

Avant tout je remercie dieu le tout puissant et miséricordieux de m'avoir donné le courage et la volonté pour élaborer ce mémoire.

Au terme de cette modeste étude, je tiens à exprimer ma profonde gratitude et mes vifs remerciements à ma promotrice Mme DJOUDAR pour avoir contribué à l'élaboration de cette présente thèse.

Je tiens à remercier notre école qui nous a accordé cette formation de qualité.

Je remercie également tous mes professeurs et tous professeurs de l'ENSH.

Un merci particulier à Mr ZERROUAL, Mr DJELOUL, Mr MIHOUBI, Mr ZAIBAK, sofiane, khadidja, amel, imene, djazia, zizi, rayane, widad, manel, asma, meriem, manel, fethia, chafik, ilyes, zaki, mohammed.

Aussi, je me permets d'exprimer tout mon respect aux membres du jury qui me feront l'honneur d'apprécier ce travail.

## الملخص:

الدراسة الحالية جزء من الحفاظ على المياه السطحية في الجزائر تحديدا في قالمة؛ هو عبارة عن سد متجانس تم تخصيصه لسقي الأراضي الزراعية ، يقع في ولاية قالمة بلدية عين مخلوف. الدراسة التي أجريتها في هذه الأطروحة مكرسة تعزيز وتأهيل سد مجزبقار حيث سمحت لنا دراسة متعمقة للمراحل المختلفة (الجيولوجية والهيدرولوجية والطوبوغرافية) باختبار أفضل سيناريو لتعزيز وتأهيل السد. حيث ان الغرض من هذه الدراسة هو ضمان استمرارية وأداء العمل السليم لسد

**الكلمات المفتاحية:** سد, تعزيز, ماء.

## Résumé

Le présent mémoire concerne l'étude de confortement et la réhabilitation du barrage MEDJZ B'GAR situé dans la wilaya de GUELMA commune de AIN MAKHLOUF destiné à l'irrigation des terrains agricole environ 300 ha. L'évacuateur de crue a surface libre actuel présente des dysfonctionnements la partie aval de coursier a été détruite et les équipements d'auscultation existant sont insuffisant et hors d'usage.

Les travaux de confortement consistent a remplacé l'évacuateur actuelle par un autre de seuil labyrinthe et de renforcer le système d'auscultation en remplaçons l'ensemble des vannes par autres de marque VAG.

**Mots clés :** auscultation, confortement, barrage, irrigation.

## summary

This thesis concerns the study of reinforcement and the rehabilitation of the MEDJZ B'GAR dam located in the commune of GUELMA wilaya of AIN MAKHLOUF intended for the irrigation of agricultural lands about 300 ha. The current free surface spillway has malfunctions. The downstream part of the runner has been destroyed and existing monitoring equipment is inadequate and out of order.

The work of comfort consists of replacing the current evacuator with another labyrinth threshold and strengthen the monitoring system by replacing all valves by other mark VAG.

**Key words:** auscultation, reinforcement, dam, irrigation.

# SOMMAIRE

## Introduction générale

### CHAPITRE I: ETAT DE SITUATION DE L'AMENAGEMENT

I.	Introduction .....	2
I.1	DESCRIPTION ET CONNAISSANCE DE L'OUVRAGE .....	2
I.1.1	Historique de l'étude .....	2
-	Etudes d'avantprojet.....	2
-	Etudes d'exécution et surveillance des travaux.....	2
-	Historique des travaux.....	2
-	Historique de la mise en eau .....	2
I.2	PRESENTATION DU MILIEUX PHYSIQUE .....	3
I.3	SYNTHESE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE.....	4
I.3.1	INTERPRETATIONS DES RESULTATS .....	7
-	Horizons rencontrés dans le bassin versant de l'oued MEDJEZ B'GAR: .....	7
I.3.2	GEOLOGIE DE LA RETENUE ET DU SITE.....	7
I.3.3	LITHOLOGIE .....	10
I.3.4	PERMEABILITE DES FORMATIONS .....	10
I.3.5	ESSAIS DE LABORATOIRE .....	12
I.3.6	TECTONIQUE .....	14
I.3.7	SISMICITE DU SITE.....	14
I.4	Caractéristiques principales du barrage MEDJEZ B'GAR.....	18
I.4.1	LA DIGUE .....	19
-	Description générale.....	19
-	Drain.....	20
I.5	L'EVACUATEUR DE CRUES.....	22
-	Description générale.....	23
I.5.1	CARACTERISTIQUES DES OUVRAGES ANNEXES .....	24
-	Chambre de manœuvre.....	25
-	Vidange de fond .....	25
-	Prise d'eau .....	25
-	Chenal aval.....	25
I.6	ETANCHEITE.....	25

I.6.1 ETANCHEITE DE LA CUVETTE .....	26
I.7.1 ETANCHEITE DU SITE .....	26
I.7 EROSION .....	26
I.7.1 EROSION INTERNE DE LA FONDATION .....	26
I.7.2 EROSION INTERNE DE LA DIGUE .....	26
I.6. CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DE LA RETENUE .....	26
CONCLUSION .....	27

## **CHAPITRE II: INVENTAIRE DE DESORDRE DE L'AMENAGEMENT**

II.Introduction .....	28
II.1 DECOMPOSITION FONCTIONNELLE DE L'OUVRAGE .....	28
II.2 LES ELEMENTS A INSPECTER .....	29
II.2.1 Inspection de la digue .....	30
- Parement amont .....	30
- La Crête .....	31
- Parement aval .....	33
- Drain .....	34
II.2.2 INSPECTION DE L'EVACUATEUR DE CRUES .....	35
- Caractéristiques de l'évacuateur .....	35
II.2.2.1 INSPECTION DE L'EVACUATEUR .....	36
- Entonnement .....	36
- Seuil .....	37
- Coursier .....	38
- Chenal de restitution .....	39
- Chambre de manœuvre .....	41
II.2.3 INSPECTION DES ORGANES MECANIQUES .....	43
- Vidange de fond et Prise d'eau .....	43
- Chenalaval .....	44
II.2.4 INSPECTION DU SYSTEME D'AUSCULTATION .....	46
- Etat des collecteurs des eaux de fuite .....	46
- Etat des piliers et repères .....	47
- Remarques état général .....	47
II.3 HISTORIQUE ET INCIDENTS .....	48

II.3.1 CONSTRUCTION DE L'AMENAGEMENT .....	48
- Les intervenants.....	48
- Entreprises .....	48
II.3.2 HISTORIQUE DES ÉTUDES .....	49
- Etudes d'avant-projet .....	49
- Etudes d'exécution et surveillance des travaux.....	49
- Historique des travaux.....	49
- Historique de la mise en eau .....	49
II.3.2 INCIDENTS CONSTATÉS .....	49
- Axe de la digue.....	49
- l'évacuateur de crues .....	50
CONCLUSION .....	50

### **CHAPITRE III: DIAGNOSTIC ET ETUDE TECHNIQUE DE BARRAGE MEDJEZ B'GER**

III. INTRODUCTION .....	51
III.1 L'AUSCULTATION .....	51
III.1.2 DISPOSITIFS D'AUSCULTATION .....	51
III.1.2.1 Mesure des déplacements .....	51
III.1.2.2 Comportement hydraulique .....	51
- Niveau d'eau dans la retenue .....	51
- Piézométrie.....	51
- Fuites .....	51
- Accélérographes .....	52
III.2 CONSIGNES DE SUIVI DE L'OUVRAGE .....	52
III.3 REVISIONS DES DONNEES NATURELLES.....	52
III.3.1 LE BASSIN VERSANT .....	53
A- Indice de compacité de Gravelius.....	55
C- Rectangle équivalent .....	56
D- Hypsométrie du bassin versant.....	56
E- Temps de concentration .....	59
a- Formule de GIANDOTTI.....	59
b- La formule de KIRPLICH.....	60
c- La formule de TURRAZZA .....	60

d- La Formule ESPAGNOLE.....	61
e- La Formule de VENTURA .....	61
f- La formule de JOHNSTONE ET CROSS (1949).....	61
g- La formule de BRANSBY .....	62
h- La formule de PASSINI – TURRAZA .....	62
III.3.2 CARACTÉRISTIQUES CLIMATIQUES .....	64
III.3.2.1 Température .....	64
III.3.2.2 L’humidité relative de l’air .....	65
III.3.2.3 Les vents .....	66
III.3.3 ÉTUDE DES PRÉCIPITATIONS .....	67
III.2.3.1 Équipements du bassin versant .....	67
- Analyse des stations pluviométriques .....	68
III.2.3.2 La pluviométrie maximale annuelle.....	72
A. Test d’homogénéité .....	73
B .Ajustement des pluies maximales journalières .....	74
- Ajustement comparatif avec "Hyfran" .....	74
1. Ajustement de la série pluviométrique à la loi de Gumbel .....	75
2. Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GALTON (log-normale) .....	78
3. Test de validité de l’ajustement (Test de Khi carrée).....	81
4. Pluies de courtes durées de différentes fréquences et leurs intensités .....	82
III.3.3 ETUDE DES CRUES .....	85
III.2.3.1 DETERMINATION DES DEBITS MAXIMAUX FREQUENTIELS.....	85
- Données disponibles.....	85
A. Formule de Maillet et Gauthier .....	86
B. Formule de SOKOLOVSKY .....	87
C. Formule de POSSENTI.....	88
D. Formule de TURAZZA.....	88
E. Formule de GIANDOTTI.....	89
III.2.3.2. METHODE GRADEX .....	90
- Généralités.....	90
- Etapes de la méthode.....	91
- Données et application .....	92
- Révision de l’hydrologie des crues par la méthode de Sokolovski.....	96

III.3.3.3 Hydrogrammes de crue .....	96
a) Pour le temps de montée : .....	97
b) Pour le temps de décrue : .....	97
III.3.4 CHOIX DE LA CRUE DE PROJET .....	99
III.4 ETUDE DES APPORTS .....	102
III.4.1 Apports liquide.....	102
III.4.2 Apports solides.....	102
III.5 CALCUL DE STABILITE .....	103
III.5.1 POSITIONNEMENT DE LA LIGNE DE SATURATION .....	103
III.5.2. GENERALITES SUR LA STABILITE DES BARRAGES (TALUS).....	104
III.5.3 CONSEQUENCES DE L'INSTABILITE DES TALUS .....	105
III.5.4 ORDRE DE CALCUL (METHODE DES TRANCHES).....	106
III.5.5 CALCUL DES FORCES APPLIQUEES A CHAQUE TRANCHE .....	109
a. Force de pesanteur (poids propre de la tranche) : .....	109
b. Force de pression interstitielle : .....	109
c. Forces de cohésion .....	109
d- Forces dues au séisme.....	110
III.5.6 Classement des forces .....	110
- Les forces stabilisatrices.....	110
a. Force de frottement .....	110
b. Force de cohésion.....	110
Les forces motrices : .....	110
III.5.7 CALCUL DU COEFFICIENT DE SECURITE POUR LES DIFFERENTS TYPES DE FONCTIONNEMENT .....	111
CONCLUSION.....	114

## **CHAPITRE IV: MESURES DE CONFORTEMENT ET DE REHABILITATION DU BARRAGE MEDJEZ B'GAR**

IV. INTRODUCTION.....	115
IV.1 RAPPEL DES CONCLUSIONS DU DIAGNOSTIC.....	115
IV.2 DEFINITION DES TRAVAUX RELATIFS AL'AUSCULTATION .....	115
IV.2.1 PIEZOMETRES.....	116
IV.2.3 DRAINAGE.....	117
IV.2.4 DEPLACEMENTS.....	117

IV.2.5 SYNTHÈSE DES PROPOSITIONS CONCERNANT L'AUSCULTATION	117
IV.3 DÉFINITION DES TRAVAUX RELATIFS AUX ÉQUIPEMENTS HYDROMÉCANIQUES	119
IV.3.1 ÉQUIPEMENTS HYDROMÉCANIQUES (ISL, 2015)	119
IV.3.2 CHAMBRE DE MANŒUVRE DES VANNES	120
IV.4 DÉFINITION DES TRAVAUX RELATIF AU BARRAGE	120
IV.4.1 ENTRETIEN	120
IV.4.2 AMÉLIORATION DE L'ÉTANCHEITÉ / DRAINAGE	120
IV.5 DÉFINITION DES TRAVAUX RELATIFS À L'ÉVACUATEUR DE CRUES	121
IV.5.1 ÉVACUATEUR RECTILIGNE	121
IV.5.2 ÉVACUATEUR COURBE	122
IV.5.3 ÉVACUATEUR AVEC CLAPETS	123
IV.5.4 PK WEIRS	124
V.6 COMPARAISON DES VARIANTES D'ÉVACUATEUR DE CRUES	125
CONCLUSION	127

## **CHAPITRE V:ÉTUDE DÉTAILLÉE DE CONFORTEMENT ET DE REHABILITATION DE BARRAGE MEDJEZ B'GAR**

V. INTRODUCTION	128
V.1 REHABILITATION DE DEVERSOIR DE BARRAGE	128
V.1 RAPPEL DES CARACTÉRISTIQUES DU SEUIL EXISTANT	128
V.2. LAMINAGE DES CRUES	129
V.2.1 Méthode de Muskingum (Fread, D.L. 1993)	129
V.2.1.1 Laminage d'une onde de crue dans un tronçon de rivière	129
V.2.1.2 Méthode de Muskingum	131
V.2.1.3 Principe de la méthode de solution	131
V.2.1.4 Calcul du débit de sortie	133
V.2.1.5 Calcul du volume stocké	134
V.3 ÉVACUATEUR À SURFACE LIBRE À DEVERSOIR LABYRINTHE (HYDRAULICS AND SPILWAYS AND ENERGY DISSIPATION)	139
V.3.1. Dimensionnement du déversoir labyrinthe	141
V.3.1.1. Calcul de débit rectiligne	142

V.3.1.2. Calcul de géométrie de déversoir.....	142
V.3.1.3 Calcul hydraulique du déversoir .....	143
V.3.1.4 Le coursier.....	146
- Détermination de la hauteur des murs bajoyers .....	148
V.3.1.5 Type de l'écoulement.....	148
V.3.1.6 Dimensionnement du dissipateur .....	148
V.3.1.7 Caractéristique de l'écoulement.....	148
- Nombre de dents du saut de ski.....	150
- Détermination des longueurs de trajectoire de jet.....	151
- Détermination des profondeurs à l'aval .....	152
- Dimensionnement du bassin de restitution .....	153
- Détermination de la profondeur de la fosse d'amortissement.....	153
V.4 VIDANGE DE LA RETENUE PAR POMPAGE.....	154
V.5 LES VANNES .....	154
V.6 CHEMISAGE DES CONDUITES .....	155
V.6.1 TECHNIQUE DE CHEMISAGE DES CONDUITES (Ooreka.fr, 2018).....	156
V.6.1.1 Procédé de chemisage des conduites .....	157
V.6.1.2 Avantages chemisage des conduites .....	157
V.6.1.3 Réalisation de chemisage des conduites .....	157
- Les différentes phases .....	157
CONCLUSION.....	158

## **CHAPITRE VI: ORGANISATION ET SECURITE DES TRAVAUX DE CHANTIER MEDJEZ B'GAR**

PARTIE 1 : ORGANISATION DE CHANTIER.....	159
VI. INTRODUCTION .....	159
VI.1 ORGANISATION TECHNIQUE ET DONNEES PREPARATOIRES.....	160
VI.2. LES PRINCIPAUX INTERVENANTS SUR CHANTIER.....	160
a) Le maître de l'ouvrage.....	160
b) Le maître d'œuvre .....	160

c) L'entrepreneur .....	161
VI.3 TRAVAUX PREPARATOIRES ET INSTALLATION DE CHANTIER .....	161
VI.3.1 Installations destinées au personnel .....	161
VI.3.2 Installations destinées au stockage des matériaux.....	161
VI.3.3 Installations destinées à la réparation des engins .....	161
VI.3.4 Installation destinée pour la préfabrication .....	162
- Fabrication des granulats.....	162
VI.4 TRAVAUX DE REALISATION .....	162
VI.4.1 Implantation Des Ouvrages Sur Chantier .....	162
VI.4.2 Travaux De Terrassements.....	162
VI.4.3 Travaux D'excavations.....	163
VI.4.4 Travaux Secondaires .....	163
VI.5 LES MOYENS DE CHANTIER .....	163
a) Les moyens humains .....	163
b) Les engins de terrassement.....	164
c) Le matériel des bétonnages .....	165
VI.6 PLANIFICATION .....	165
VI.6.1 Attribution Des Durées De Chaque Opération .....	165
a) Terrassements.....	166
b) Remblais.....	166
c) Bétons.....	166
VI.6.2 Délai De Construction Et Programme Des Travaux .....	166
VI.6.3 Symboles Des Différentes Operations .....	167
VI.6.4 Techniques De La Planification.....	167

VI.6.4.1 Méthode bases Sur le réseau .....	168
- Définition du réseau .....	168
- Réseau à flèches .....	168
- Réseau à nœuds .....	168
- Chemin critique (C.C).....	168
Le détaillée de calcul de réseau à nœud est présentée dans la planche N°08. ....	168
<b>VI.6.5 PLANIFICATION AVEC LA METHODE DE GANTT (METHODES DES BARRES) .....</b>	<b>169</b>
Le diagramme de GANTT est détaillé dans la planche N°08.....	169
Conclusion .....	171
<b>PARTIE 2 : SECURITE DE TRAVAIL .....</b>	<b>172</b>
<b>VI. Introduction.....</b>	<b>172</b>
<b>VI.1 Les accidents de travail.....</b>	<b>172</b>
<b>VI.1.1Cause des accidents de travail .....</b>	<b>174</b>
- Causes humaines.....	174
Ces causes peuvent sont :.....	174
- Causes techniques.....	174
- Conditions dangereuses dans le chantier .....	174
- Actions dangereuses.....	175
- Mesures préventives.....	175
Conclusion .....	176
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>177</b>

## LISTES DES TABLEAUX

<b>Tableau I.1 :</b> Synthèse des travaux de reconnaissance réalisées (ISL, 2015).....	4
<b>Tableau I.2:</b> Lithologie du terrain au droit des sondages carottés SC1 et SC2 .....	12
<b>Tableau I.3:</b> Tableau de synthèse des résultats de perméabilité (essais Lugeon) (Source : Hydroprojet Est - Etude géologique et géotechnique – 1987) .....	14
<b>Tableau I.4:</b> Données géotechniques des matériaux rencontrés dans les terrains de fondation (Hydro-projet Est - Etude géologique et géotechnique – 1987).....	15
<b>Tableau I.5:</b> Caractéristiques mécaniques retenues pour les calculs de stabilité (Hydro-projet Est - Etude géologique et géotechnique – 1987).....	16
<b>Tableau I.6 :</b> Caractéristiques de la digue.....	18
<b>Tableau I.7:</b> Caractéristiques de l'évacuateur.....	22
<b>Tableau I.8:</b> Caractéristiques principales de la retenue (ISL 2015).....	25
<b>Tableau II.1:</b> les différentes cote de barrage MEDJEZ B'GAR .....	<b>29</b>
<b>Tableau II.2 :</b> les différentes cote de l'évacuateur de cru MEDJEZ B'GAR.....	35
<b>Tableau II.3 :</b> Les caractéristique des dispositifs d'auscultation.....	46
<b>Tableau III.01:</b> Coordonnées de la courbe hypsométrique.....	58
<b>Tableau III.2:</b> Tableau Récapitulatif des temps de concentration.....	62
<b>Tableau III.3 :</b> Tableau Récapitulatif des caractéristiques du bassin versant.....	63
<b>Tableau III.4 :</b> Distribution mensuelle de la température de l'air au niveau de la station de Guelma (1985-2004).....	64
<b>Tableau III.5 :</b> Humidités moyennes mensuelles (1985-2004). .....	65
<b>Tableau III.6 :</b> Vitesses moyennes mensuelles des vents (1985-2004).....	66
<b>Tableau III.7:</b> Stations pluviométriques. ....	67
<b>Tableau III.8:</b> Précipitations maximales journalières annuelles.....	70
<b>Tableau III.9 :</b> Répartition des pluies moyennes mensuelles à plusieurs périodes .....	71
<b>Tableau III.10 :</b> pluviométrie maximale annuelle de la station de AIN MAKHLOUF .....	72
<b>Tableau III.11 :</b> Résultat de test de Wilcoxon.....	74
<b>Tableau III.12 :</b> Paramètres de la loi GUMBEL .....	76
<b>Tableau III.13 :</b> Résultats de l'ajustement par la loi de GUMBEL.....	76
<b>Tableau III.14 :</b> Résultats de l'ajustement par la loi Résultats de l'ajustement par la loi LOG NORMAL.....	79

<b>Tableau III.15</b> : comparaison des résultats du test de Khi deux pour les deux lois.....	83
<b>Tableau III.16</b> : Précipitations maximales journalières pour chaque fréquence.....	84
<b>Tableau III.17</b> :Pluies fréquentielles en mm de durée (tc).....	85
<b>Tableau III.18</b> : Caractéristiques de la station d'Ain Dalia.....	86
<b>Tableau III.19</b> : Débit maximum de crue pour différents périodes de retour (Formule de MALLET-GAUTHIER).....	87
<b>Tableau III.20</b> : valeur de $\gamma$ en fonction de bassin versant.....	87
<b>Tableau III.21</b> :Débit maximum de crue pour différents périodes de retour (Formule De SOKOLOVSKY) .....	88
<b>Tableau III.22</b> : Débit maximum de crue pour différents périodes de retour (Formule de POSSENTI).....	88
<b>Tableau III.23</b> : Coefficient de ruissellement en fonction de la période de retour donnée ...	89
<b>Tableau III.24</b> : Débit maximum de crue pour différents périodes de retour (Formule de TURAZZA).....	89
<b>Tableau III.25</b> : Débit maximum de crue pour différents périodes de retour (Formule de GIANDOTTI).....	89
<b>Tableau III.26</b> : Récapitulatif des débits maxima de crue .....	93
<b>Tableau III.27</b> : paramètres de la loi GUMBEL.....	95
<b>Tableau III.28</b> : Résultats de l'ajustement par la loi de GUMBEL.....	93
<b>Tableau III.29</b> : Débits de pointe par la méthode de GRADEX .....	95
<b>Tableau III.30</b> : Les valeurs des débits de pointe optées.....	96
<b>Tableau III.31</b> : Comparaison des crues de projet et de l'hydrologie révisée.....	96
<b>Tableau III.32</b> : Coefficients de forme de l'hydrogramme de crue $\delta$ .....	98
<b>Tableau III.33</b> : Valeurs des débits de crues en fonction du temps.....	98
<b>Tableau III.34</b> : Classement des barrages.....	100
<b>Tableau III.35</b> : Période de retour de la crue de projet (situation exceptionnelle).....	101
<b>Tableau III.36</b> : Probabilité annuelle de dépassement en situation extrême .....	102
<b>Tableau III.37</b> : Coordonnées de la parabole de KOZENY .....	104
<b>Tableau III.38</b> : Classification des barrages .....	106
<b>Tableau III.39</b> : Coefficient de stabilité admissible des talus. ....	107
<b>Tableau III.40</b> : valeurs de K1 et K2.....	107
<b>Tableau III.42</b> : coefficient de sécurité pour différents cas de fonctionnement.....	113
<b>Tableau IV.1</b> : Caractéristiques des piézomètres.....	116
<b>Tableau IV.2</b> : Caractéristiques de la partie crépinée pour chaque piézomètre.....	119

<b>Tableau IV.3</b> : Préconisations concernant la remise à niveau du d'auscultation .....	118
<b>Tableau IV.4</b> : Caractéristiques de la variante évacuateur à clapets (ISL,2015).....	123
<b>Tableau IV.5</b> : Caractéristiques de la variante PK Weir.....	124
<b>Tableau IV.6</b> : Avantages et inconvénients des variantes d'évacuateurs de crue.....	126
<b>Tableau V.1</b> : Cotes caractéristiques du barrage.....	128
<b>Tableau V.2</b> : Valeurs de h et les plages de variation en période de crue .....	133
<b>Tableau V.3</b> : Calcul de la courbe caractéristique du barrage pour b=32m.....	136
<b>Tableau V.4</b> : Calcul de l'hydrogramme de sortie pour b=32 m. ....	137
Tableau V.05 : Hauteur des murs bajoyers .....	145
<b>Tableau V.06</b> : Vérification de phénomène d'aération.....	147
<b>Tableau VI.1</b> : Symboles des opérations .....	167
<b>Tableau VI.2</b> : Les paramètres du réseau à nœuds .....	168
<b>Tableau VI.3</b> : Devis quantitatif et estimatif des travaux de confortement du barrage .....	170
<b>Tableau VI .4</b> :Fréquence des accidents de travail sur le chantier.....	173

# LISTES DES FIGURES

<b>Figure I.1 :</b> Carte de localisation du barrage de MEDJEZ B'GAR.....	3
<b>Figure I.2 :</b> Plan d'implantation des puits et sondages sur l'axe de la digue.....	6
<b>Figure I.3 :</b> Carte géologique de la région du barrage (modifié d'après Vila, 1980).....	9
<b>Figure I.4 :</b> Zonage sismique du Nord de l'Algérie et caractéristiques sismiques des zones, Hamdache (1998).....	18
<b>Figure I.5:</b> Localisation et profondeur de la sismicité instrumentale dans la région.....	15
<b>Figure I.6:</b> Classification de la Wilaya de Guelma (ISL 2015) .....	16
<b>Figure I.7:</b> Vue en plan de la digue (HYDRO-PROJET EST, 1986 in ISL ,2015) .....	17
<b>Figure I.8 :</b> Coupe type de la digue (HYDRO-PROJET EST, 1986 in ISL ,2015) .....	19
<b>Figure I.9 :</b> Profil du drainage et de la clé d'ancrage.....	20
<b>Figure I.10:</b> Profil en long de l'évacuateur de crues(HYDRO-PROJET EST, 1986 in ISL,2015).....	21
<b>Figure I.11 :</b> Photo de l'évacuateur de crues réalisé (ANBT-2008).....	21
<b>Figure I.12 :</b> Vue aérienne de l'aménagement (ISL 2015).....	23
<b>Figure II.1 :</b> Parement amont rive gauche (ISL, 2015).....	30
<b>Figure II.2:</b> Zone à enrochements différents en haut de talus RG (ISL, 2015) .....	31
<b>Figure II.3 :</b> Crête du barrage vue de la RG (ISL, 2015).....	32
<b>Figure II.4 :</b> Bordure amont (ISL, 2015) .....	32
<b>Figure II.5 :</b> Parement aval du barrage (ISL, 2015).....	33
<b>Figure II.6:</b> Caniveau pied de talus (ISL, 2015) .....	33
<b>Figure II.8:</b> Ravine sur talus aval (ISL, 2015) .....	34
<b>Figure II.9:</b> Escaliers et caniveau talus aval (ISL, 2015).....	36
<b>Figure II.10:</b> Escaliers et caniveau talus aval (ISL, 2015).....	37
<b>Figure II.11 :</b> Seuil (ISL, 2015) .....	38
<b>Figure II.12 :</b> Murs para fouille sur les rives de l'évacuateur (ISL, 2015) .....	38
<b>Figure II.13 :</b> Coursier (ISL, 2015).....	39
<b>Figure II.14:</b> Extrémité aval du coursier (ISL, 2015) .....	39
<b>Figure II.15 :</b> Chenal évacuateur de crues vu de l'aval (ISL, 2015).....	40
<b>Figure II.16 :</b> vu de l'amont (ISL, 2015) .....	40
<b>Figure II.17 :</b> Eléments du coursier détruit (ISL, 2015) .....	40

<b>Figure II.18:</b> Substratum RG (ISL, 2015).....	41
<b>Figure II.19:</b> Chambre de manœuvre aval(ISL, 2015) .....	41
<b>Figure II.20:</b> Tassement remblai autour de la chambre(ISL, 2015) .....	42
<b>Figure II.21:</b> Dallettes préfabriquées(ISL, 2015) .....	43
<b>Figure II.22:</b> Vidange de fond et prise d'eau(ISL, 2015) .....	43
<b>Figure II.23:</b> Départ conduite prise d'eau RG chambre (ISL, 2015).....	44
<b>Figure II.24:</b> Vannes de garde(ISL, 2015).....	45
<b>Figure II.25:</b> Vannes de réglage (ISL, 2015).....	45
<b>Figure II.26:</b> Piquage DN 200 mm (ISL, 2015).....	46
<b>Figure II.27:</b> Chenal aval(ISL, 2015) .....	46
<b>Figure II.28:</b> Extrémité conduite prise d'eau(ISL, 2015) .....	47
<b>Figure II.29 :</b> Repère topographique en crête (ISL, 2015) .....	49
<b>Figure II.30:</b> Pilier RG (ISL, 2015) .....	49
<b>Figure II.31 :</b> Puits de décharge pied aval(ISL, 2015).....	49
<b>Figure II.32:</b> Collecteur principal RG (ISL, 2015) .....	49
<b>FigureIII.1 :</b> Situation géographique du bassin versant du barrage MEDJEZB'GAR.....	53
<b>Figure III.2:</b> Délimitation du bassin versant de barrage MEDJEZ B'GAR.....	54
<b>Figure III.3 :</b> Carte hypsométrique du bassin versant de barrage MEDJEZ B'GAR.....	57
<b>Figure III.4 :</b> Courbe hypsométrique du bassin versant de barrage MEDJEZ B'GAR.....	58
<b>Figure III.5 :</b> Graphique de la température moyenne mensuelle. (1985-2004) .....	65
<b>Figure III.6:</b> Graphique de l'humidité moyenne. (1985-2004).....	66
<b>Figure III.7:</b> Graphique des vitesses moyennes du vent.....	67
<b>Figure III.8 :</b> Ajustements statistiques annuels par la méthode de Gumbel .....	70
<b>Figure III.9 :</b> Extrait de la carte pluviométrique de l'Algérie – 1993 (A.N.R.H).....	71
<b>Figure III.10 :</b> Répartition des pluies moyennes mensuelles.....	72
<b>Figure III.11:</b> Ajustement à la loi de Gumbel (méthode des moments pondérés).....	77
<b>Figure III.12 :</b> caractéristiques de l'échantillon .....	78
<b>Figure III.13 :</b> Ajustement à la loi log normal (maximum des vraisemblances).....	80
<b>Figure III.14 :</b> caractéristiques de l'échantillon .....	81
<b>Figure III.15 :</b> Résultat du test de khi carré pour l'ajustement à la loi Gumbel.....	82
<b>Figure III.16 :</b> Résultat du test de khi carré pour l'ajustement à la loi Log Normal .....	82
<b>Figure III.17:</b> Comparaison entre les deux graphiques d'ajustement .....	83
<b>FigureIII.18 :</b> Localisation des stations hydrométriques .....	86

<b>Figure III.19 :</b> Graphe de la méthode de GRADEX.....	94
<b>Figure III.20:</b> Hydrogrammes des crues probables en fonction du temps (SOKOLOVSKY).....	99
<b>Figure III.21:</b> Schéma de calcul de stabilité .....	109
<b>Figure IV.1 :</b> Seuil profilé rectiligne (ISL, 2015).....	122
<b>Figure IV.2 :</b> Seuil courbe (ISL, 2015).....	122
<b>Figure IV.3 :</b> Evacuateur à clapets.....	123
<b>Figure IV.4 :</b> Seuil labyrinthe.....	124
<b>Figure IV.5 :</b> Seuil PK Weir.....	125
<b>Figure V.1 :</b> Coupe en travers de l'évacuateur de crue .....	129
<b>Figure V.2 :</b> Laminage à travers un barrage.....	132
<b>Figure V.3 :</b> Evacuateur à surface libre à entonnement frontal.....	133
<b>Figure V.4 :</b> Modélisation de la courbe capacité- hauteur .....	135
<b>Figure V.5 :</b> Modélisation de la courbe surface-hauteur.....	136
<b>Figure V.6 :</b> Courbe caractéristique du barrage pour $b=32$ m.....	137
<b>Figure V.7 :</b> Hydrogrammes de sorties .....	139
<b>Figure V.8 :</b> Principe et forme du déversoir labyrinthe .....	140
<b>Figure V.9 :</b> Géométrie du déversoir labyrinthe.....	141
<b>Figure V.10:</b> Dimensions du déversoir labyrinthe .....	143
<b>Figure V.11 :</b> Graphique de la ligne d'eau dans le coursier .....	145
<b>Figure V.12 :</b> Auge de dissipation <saut de ski>(Wili H. Hager & Schleiss, 2009).....	148
<b>Figure V.12 :</b> Dent du dissipateur à auge USBR (Wili H. Hager & Schleiss, 2009).....	150
<b>Figure V.13 :</b> Schéma explicatif des longueurs de trajectoire.....	151
<b>Figure V.14 :</b> Bassin plongé de type USBR(Design of small dams, 1987) .....	153
<b>Figure V.15 :</b> Vanne à opercule VAG EKO®plus.....	155

## LISTE DES PLANCHES

---

### LISTE DES PLANCHES

**Planche N°01** : vue en plan de la digue.

**Planche N°02** : coupe en travers de l'évacuateur de crue existant.

**Planche N°03**: vue en plan de l'évacuateur de crue (à déversoir labyrinthe).

**Planche N°04**: plan d'auscultation de la digue.

**Planche N°05**:profil d'auscultation de la digue.

**Planche N°06** : plan d'auscultation de la digue (vue en plan de la digue).

**Planche N°07** : schémas de calcul de stabilité.

**Planche N°08** : diagramme de Gantt / réseau a nœud.

## LISTE DES ABREVIATION

---

### LISTE DES ABREVIATIONS

**ANBT** : Agence Nationale Des Barrages Et Transferts

**APD** : Avant Projet Détaillé

**ANRH** : Agence Nationale Des Ressources En Eau

**A.N** : Application Numérique

**CFBR**:RecommandationsPour Le Dimensionnement Des Evacuateurs De Crues DeBarrages

**DN** : Diamètre Normalisé

**DRE** : Direction Des Ressources En Eau

**NNR** : Niveau Normale De La Retenue

**NEIC** :National Earthquake Information Center

**NGA** : nord géographique algérien

**NPHE** : NiveauPlus Hautes Eaux

**ONM**: Office National De Météorologique.

**PEN** :Plan D'eau Normale

**PHE** :Plus Haute Eau

**RD** : Rive Droite

**RG** : Rive Gauche

**RN** : Cote A Retenue Normale

**SIG** : Système D'information Géographique

**SW-NE** : Northwest (NE) ; Southeast (SE)

**TN** :Terrain Naturel

**USBR** : United States Bureau of Reclamation

**USGS**: United States Geological Survey



# **INTRODUCTION GENERALE**



### INTRODUCTION GENERALE

Un barrage est un ouvrage d'art construit en travers d'un cours d'eau destiné à réguler le débit du cours d'eau et/ou à en stocker l'eau pour différents usages tels que : contrôle des crues, irrigation, industries, hydroélectricité, pisciculture et la réserve d'eau potable.

Cependant, certains barrages en exploitation sont affectés par des dysfonctionnements dont l'aspect technique ne concorde pas avec les standards de sécurité.

Ces dysfonctionnements engendrent parfois des défaillances pouvant mettre en péril la stabilité de l'ouvrage. Afin de préserver ces ouvrages hydrotechniques il est impératif de proposer des solutions pour palier à ces anomalies.

A cet égard le barrage MEDJEZ B'GAR sujet à ce problème et qui se situe dans la wilaya de GUELMA, commune de AIN MAKHLOUF, fera l'objet de l'étude de confortement.

La présente étude a pour but de proposer des solutions optimales et techniques diverses afin d'atténuer les risques de défaillance du barrage et assurer une meilleure efficacité en exploitation des ressources mobilisées.

Dans un premier lieu, il est question de donner l'état de situation de l'aménagement, il s'agit de s'intéresser d'une manière détaillée aux caractéristiques des fondations, de la topographie du site ainsi qu'une description détaillée de l'ouvrage basée sur une synthèse sismologique.

Ensuite on dressera un inventaire des désordres et incidents survenus au niveau du barrage, par la suite on effectuera un diagnostic et une étude technique qui comprends :

- une révision des données hydrologiques,
- une analyse des dispositifs d'auscultation,
- une étude de stabilité afin d'évaluer la sécurité de l'ouvrage,
- détecter les comportements anormaux,
- déterminer les origines d'une dégradation, ou encore prévoir les évolutions futures et risques potentiels afin de décider des mesures de réhabilitations appropriées
- l'étude des différentes variantes de confortement appropriées pour chaque problématique relevée.

Enfin nous achèverons ce modeste travail par une conclusion générale



# CHAPITRE I :

ETAT DE SITUATION DE L'AMÉNAGEMENT



## ETAT DE SITUATION DE L'AMÉNAGEMENT

### I. Introduction

Stocker et gérer les différentes ressources en eau peut se faire par la construction d'un barrage qui doit être basée sur un ensemble de données topographiques, géologiques et géotechniques avec des essais interprétés afin d'extraire des résultats fiables pour la réalisation d'un barrage avec ses différents ouvrages annexes.

Alors dans le présent chapitre les données nécessaires disponibles et fournies par l'ANBT seront synthétisées dans le but de donner un aperçu exhaustif sur l'ouvrage existant.

### I.1 DESCRIPTION ET CONNAISSANCE DE L'OUVRAGE

#### I.1.1 Historique de l'étude

- *Etudes d'avantprojet*

Les études préliminaires ont été réalisées par le bureau d'études HYDRO-PROJETS EST (ex. S.ET.HY.CO) en 1986 et 1987.

Aucune archive disponible ne permet de déterminer qui a réalisé les études d'Avant-Projet Détaillé, ni quand.

- *Etudes d'exécution et surveillance des travaux*

Les études d'exécution et la surveillance des travaux ont été confiés au bureau d'études HYDROPROJETS EST (ex. S.ET.HY.CO).

- *Historique des travaux*

Les travaux ont été confiés aux entreprises HYDRO-PROJETS EST (ex. S.ET.HY.CO) et HYDROTRANSFERT.

Les travaux ont commencé en 1991 et se sont terminés a priori en 1996.

- *Historique de la mise en eau*

# ETAT DE SITUATION DE L'AMÉNAGEMENT

## CHAPITRE I

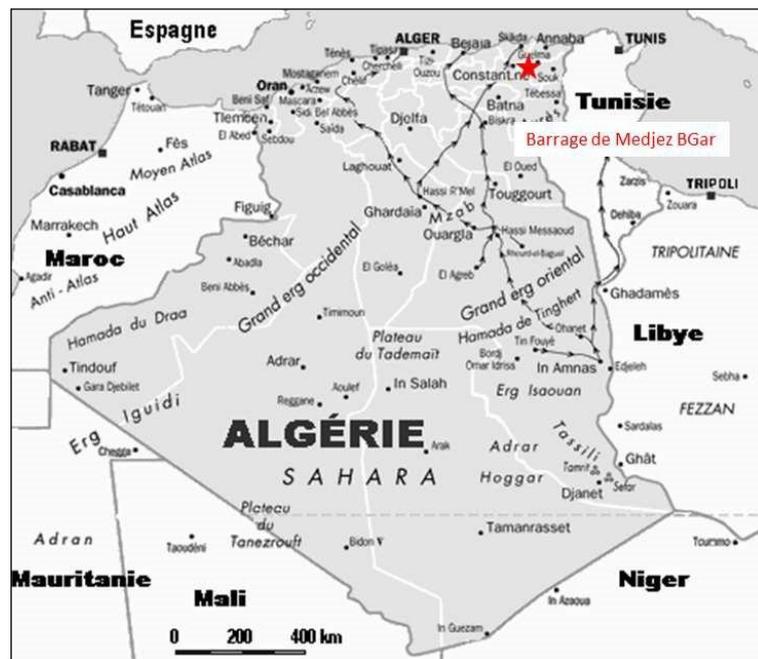
Le remplissage de la retenue a probablement commencé dès la fin des travaux en 1996.

Aucun document ne permet de savoir quand la cote de retenue normale (671,20 m NGA) a été atteinte pour la première fois (ISL, 2015).

## I.2 PRESENTATION DU MILIEUX PHYSIQUE

### I.2.1 LOCALISATION GEOGRAPHIQUE

L'aménagement du barrage de MEDJEZ B'GAR est situé dans la Wilaya de Guelma à proximité des villes de Guelma et de Constantine à environ 400 kilomètres à l'est de la ville d'Alger. Il est situé dans la chaîne du Tell et qui, avec le Rif Marocain, borde la côte méditerranéenne du Maghreb Fig1



**Figure I.1 :** Carte de localisation du barrage de MEDJEZ B'GAR en Algérie (ISL, 2015)

La fonction principale du barrage sur l'oued MEDJEZ B'GAR est l'irrigation des terres situées à un niveau supérieur à celui de la retenue normale (environ 300 ha).

# ETAT DE SITUATION DE L'AMÉNAGEMENT

## CHAPITRE I

Le barrage est accessible par la nationale N°81 puis par une piste depuis AinMakhlouf (ville la plus proche située à environ 05 kilomètres au nord-ouest du site) (ISL, 2015).

### 1.3SYNTHESE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE

Des campagnes géotechniques ont été réalisées durant les études et les travaux de construction du barrage de MEDJEZ B'GAR.

Les principales investigations réalisées sont insérées de façon chronologique dans le tableau I.1.

**Tableau I.1** : Synthèse des travaux de reconnaissance réalisées (ISL, 2015)

Années	Phase	Objet	Reconnaisances
1987	Faisabilité	Géologie du site Prospection des zones d'emprunt	4 sondages carottés (AMS) 16 puits à la pelle mécanique (AM)
1991	Avant-ProjetDétailé	Lithologie et caractéristiques mécaniques de la fondation de la digue	2 sondages (SC)
1993	Travaux	Prospection de zones d'emprunt pour les matériaux du remblai	7 puits à la pelle mécanique
1994	Travaux	Prospection de zones d'emprunt pour les matériaux du remblai	21 puits à la pelle mécanique dont 11 avec prélèvement d'échantillons pour essais au laboratoire
1995	Travaux	Prospection de zones d'emprunt pour les matériaux de filtre, transition et enrochements	6 puits à la pelle mécanique et 2 échantillons d'enrochements
1996	Travaux	Prospection de carrière pour les matériaux de Rip-rap	3 échantillons de blocs rocheux

Les premières campagnes de reconnaissance ont été réalisées durant les phases de faisabilité (1986-1987) puis d'avant-projet détaillé (1991) de construction du barrage de MEDJEZ B'GAR. Les investigations réalisées dans le cadre de ces études par l'entreprise

## ETAT DE SITUATION DE L'AMÉNAGEMENT

---

### CHAPITRE I

HYDRO-PROJET EST (H.P.E. – ex SETHYCO) sont les suivantes (HYDRO-PROJET EST, 1986 in ISL ,2015)

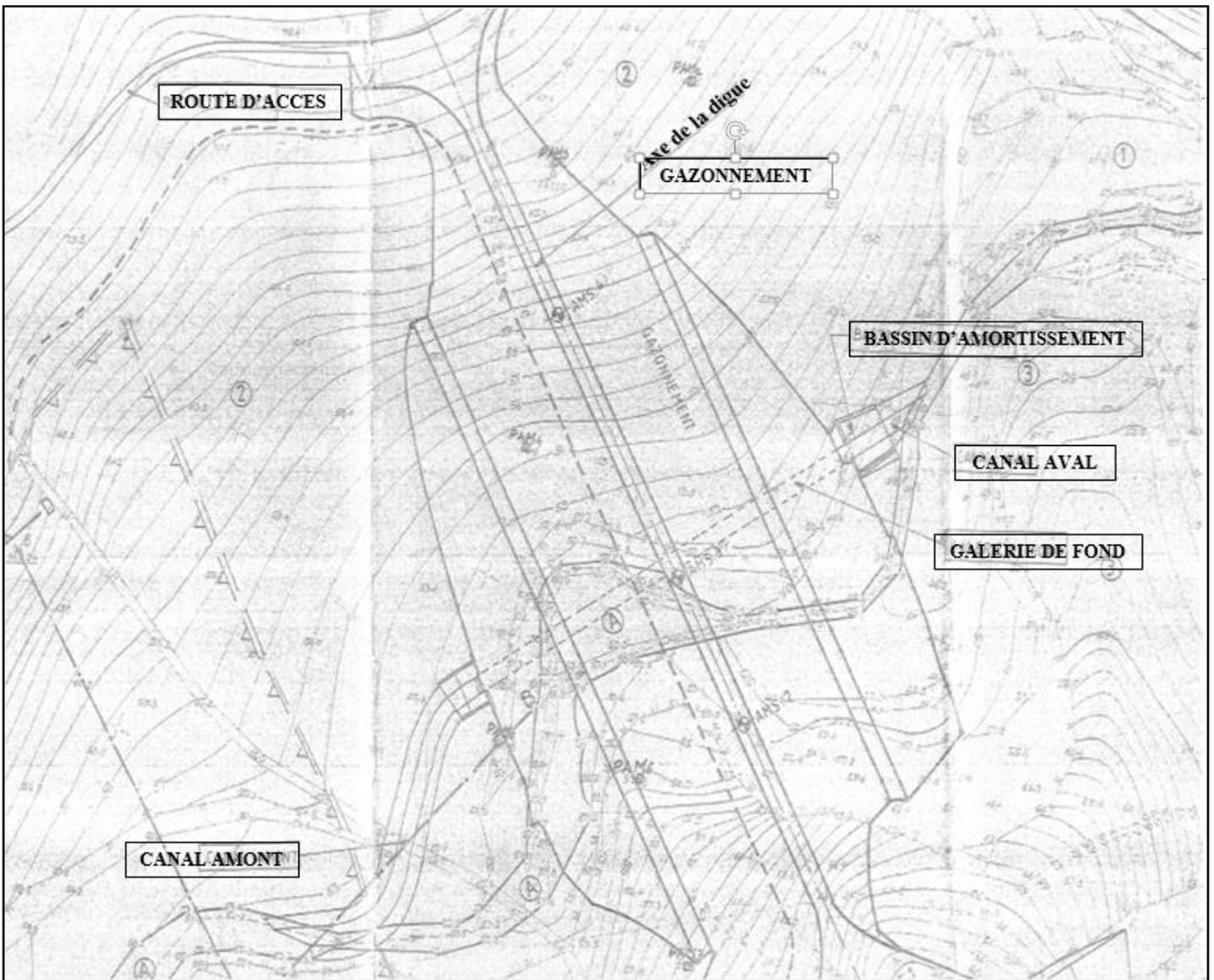
- Etude de faisabilité (1987):
  - 4 Sondages carottés (AMS1 à AMS4) avec essais Lugeon.
  - 16 puits à la pelle mécanique (AM1 à AM16).
- Etude d'APD (1991) :
  - Sondages carottés SC1 et SC2.

Les essais de laboratoire sur les échantillons prélevés au cours de ces travaux ont été réalisés par le Laboratoire des Travaux Publics de l'Est (L.T.P.E.) (ISL, 2015)

Les résultats de ces travaux sont présentés dans la note de synthèse des études géologiques et géotechniques (H.P.E. – 1987 in ISL 2015c).

La localisation des sondages et des puits au niveau du site pour la phase d'étude de faisabilité est présentée Fig I.2.

**ETAT DE SITUATION DE L'AMÉNAGEMENT**  
**CHAPITRE I**



**Figure I.2** : Plan d'implantation des puits et sondages sur l'axe de la digue (SETHYCO – MEDJEZ B'GAR – 1987)

### 1.3.1 INTERPRETATIONS DES RESULTATS

- ***Horizons rencontrés dans le bassin versant de l'oued MEDJEZ B'GAR:***

Les principaux horizons géologiques rencontrés lors des premières campagnes de reconnaissances géotechniques durant les phases de faisabilité et d'avant-projet détaillé sont les suivants (du plus récent au plus ancien): (HYDRO-PROJET EST, 1986 in ISL ,2015).

Le quaternaire, représenté par les terrains sédimentaires ci-dessous :

- Alluvions actuelles du fond des vallées composées d'argiles, de limons-sables, de graviers et de galets.
- Alluvions des basses terrasses alluviales.
- Le miocène, représenté par les étages:
  - Pontien, composé par une alternance de grès et de marnes.
  - Lattorfien, constitué de grès.
- L'éocène, avec les étages suivants :
  - Lutétien, constitué de calcaires et marnes grises.
  - Yprésien : marno-calcaires à silex.
  - Dano-montien : marnes noires et éboulis de marnes.
- Le crétacé, représenté par l'étage du Maastrichien, composé de marnes schisteuses friables en surface et marno-calcaires très durs en profondeur.

### 1.3.2 GEOLOGIE DE LA RETENUE ET DU SITE

Les investigations effectuées par Laboratoire National de l'Habitat et de la Construction dans la cuvette de la retenue et au niveau de l'axe de la digue ont permis de mettre en évidence la lithologie de la retenue de bas en haut :

## ETAT DE SITUATION DE L'AMÉNAGEMENT

---

### CHAPITRE I

- Le terrain de fond de la retenue est constitué par une formation marneuse grise, friable en surface et qui devient très compacte à partir de 6 m de profondeur.
- La formation marneuse est surmontée par une couche altérée marno-argileuse ou argilo-marneuse de couleur gris-jaune et d'épaisseur variable (de 2 à 3 m).
- Au-dessus des couches marneuses se sont déposées des alluvions quaternaires provenant de l'altération des marnes et des apports solides :
  - Une couche d'argile plastique de couleur brun-jaunâtre ou gris-jaunâtre, de 2 à 4 m de profondeur,
  - Une couche d'argile à débris (argile contenant des galets et graviers) de faible épaisseur (3m).
- La couverture du terrain naturel est composée d'argile limoneuse avec des débris (galets et gravier avec ciments argileux).

Sur les versants la couverture argileuse de surface présente deux zones :

- La zone superficielle, limoneuse, parfois sableuse, peu humifère, d'épaisseur 0,5 à 1 m. Pratiquement imperméable,  $k = 10^{-7}$  m/s.
- En dessous se trouve la zone d'argile assez compacte et plastique de couleur brune à noire. Imperméable,  $k = 10^{-9}$  m/s.

# ETAT DE SITUATION DE L'AMÉNAGEMENT

## CHAPITRE I

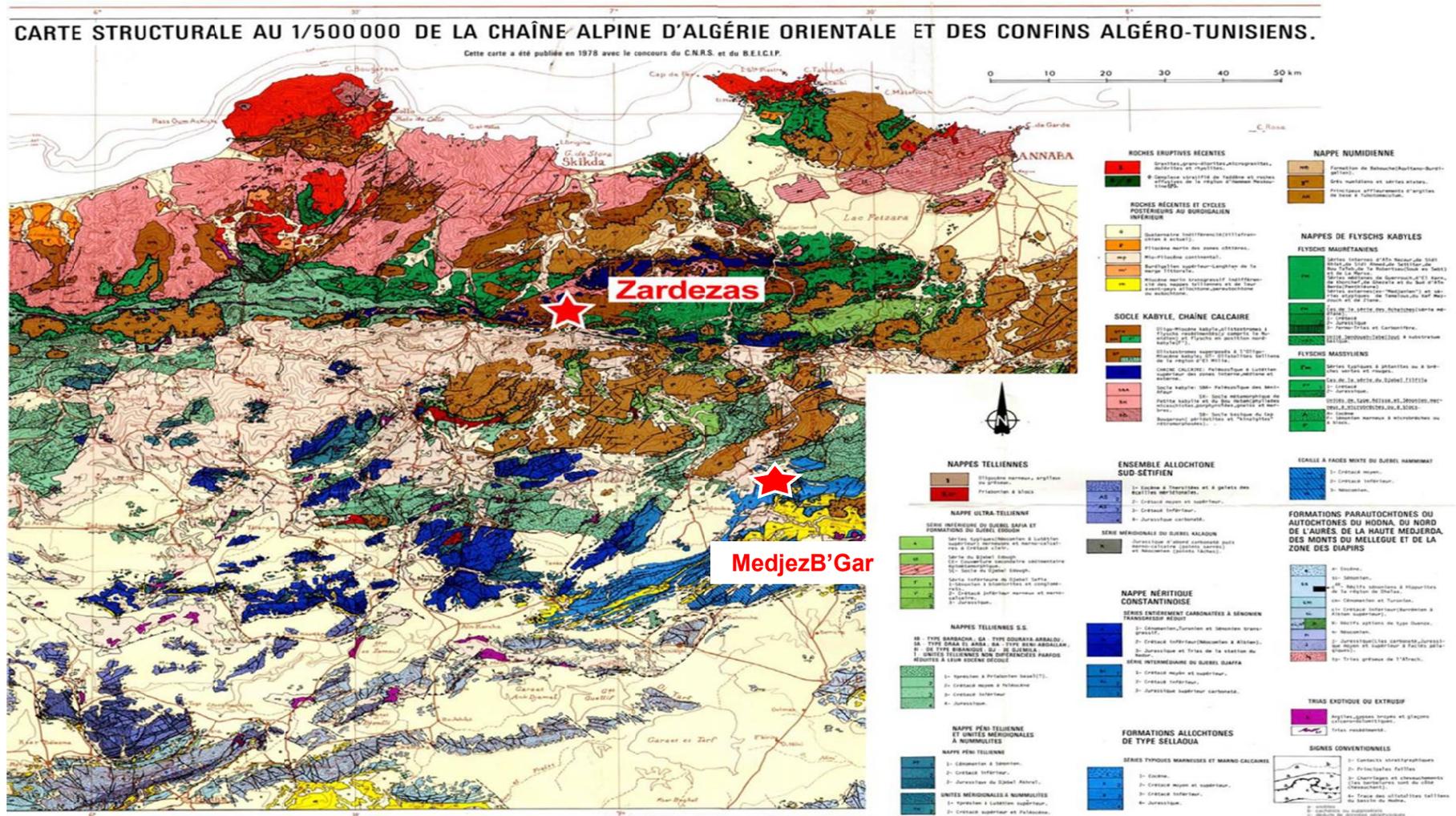


Figure I.3 : Carte géologique de la région du barrage (modifié d'après Vila,

### **I.3.4 LITHOLOGIE**

Pour chaque sondage SC1 et SC2, une description de la lithologie a été effectuée, qui confirme les résultats de la précédente campagne de reconnaissances. Les descriptions sont données dans le tableau 2.

**Tableau I.2:** Lithologie du terrain au droit des sondages carottés SC1 et SC2  
(Laboratoire National de l'Habitat et de la Construction - Rapport d'étude de sol – 1991)

<b>Profondeur (m)</b>	<b>Description lithologique (SC1)</b>
0.00-0.30	-terre végétale (argile limoneuse brune).
0.30-1.50	-argile brune grisatre peu sableuse et limons.
1.50-3.50	- argile brune grisatre fossilifères.
3.50-4.00	-limon sableux jaunatre.
4.00-6.30	-marne argileuse grise a bleuté peu altérée.
6.30-8.50	- marne argileuse grise.
8.50-15.0	-marne schisteuse grise compacte.
<b>Profondeur (m)</b>	<b>Description lithologique (SC2)</b>
0.00-0.80	-argile avec debris de roches,galets et graviers à matrice argileuse.
0.80-2.50	-argile limono-sableusegrisatre et debris divers.
2.50-4.00	-argile brune grisatre peu sableuse.
4.00-8.50	-marneargileusegrisatre

### **1.3.5 PERMEABILITE DES FORMATIONS**

L'étude de faisabilité H.P.E.en 1987 à mis en exergue la perméabilité des terrains du bassin versant étudié.

Le bassin versant est constitué en majeure partie de couches imperméables et qui sont des marnes, argiles et marno-calcaires.

# ETAT DE SITUATION DE L'AMÉNAGEMENT

## CHAPITRE I

Au fond des vallées, il existe quelques sources de débits assez importants et prenant naissance à la faveur des limites perméables des couches

- les grès du bassin versant sont perméable ou peu perméables selon la fissuration,
- les marnes grises feuilletées-friables localisées sur l'axe de la digue sont pratiquement imperméables,
- les argiles brunes noires sont imperméables avec un coefficient de perméabilité K estimé à  $10^{-9}$ m/s,
- les limons sont pratiquement imperméables,  $K=10^{-7}$ m/s,
- le sable du fond de la vallée est perméable= $10^{-4}$ m/s,

Les alluvions du fond de la vallée sont constituées de galets,cailloux,graviers perméables avec  $K=10^{-3}$ m/s .De ce fait pour conforter les fondations de l'ouvrage, ces couches devraient être imperméabilisées.

H.P.E a effectué des essais Lugeon dans les sondages réalisés dont les résultats sont insérés dans le tableau I.3.

**Tableau I.3:** Tableau de synthèse des résultats de perméabilité (essais Lugeon)

(Source : Hydroprojet Est - Etude géologique et géotechnique – 1987)

N° SONDAGE	NATURE DE TERAIN	TRANCHE D'ESSAI	PRESSION BARS	DEBIT Q m <sup>3</sup> /s	ABS UNIT BARS	PERMIABILITE m/s
ANS 1	Marne compacte	13-15	2	5	1,25	$2,5 \cdot 10^{-6}$
		15,2-17,20	2	1,6	0,8	$4,17 \cdot 10^{-7}$
ANS 2	Marne trèscompacte	7,20-9,20	4	0,2	0,025	$9,38 \cdot 10^{-9}$
		12,2-14,2	6	0,2	0,0017	$3,44 \cdot 10^{-9}$
		15,2-17,2	1	0,16	0,04	$4,17 \cdot 10^{-6}$
ANS 3	Marne compacte	20-22	2	0,07	0,035	$3,75 \cdot 10^{-7}$
		21-23	2	0,40	0,2	$2,09 \cdot 10^{-7}$
ANS 4	Marne compacte	15-17	4	0,20	0,05	$1,01 \cdot 10^{-7}$
		14-16	2	0,4	0,2	$2,09 \cdot 10^{-7}$

Les perméabilités des matériaux de fondation sont comprises entre  $10^{-6}$  et  $10^{-9}$  m/s. Les matériaux sont donc globalement imperméables.

# ETAT DE SITUATION DE L'AMÉNAGEMENT

## CHAPITRE I

### 1.3.6 ESSAIS DE LABORATOIRE

Le tableau suivant regroupe les résultats des essais de laboratoire faits par L.T.P.E. sur les matériaux rencontrés au niveau des fondations du site (ISL 2015).

**Tableau I.4:** Données géotechniques des matériaux rencontrés dans les terrains de fondation (source :Hydro-projet Est - Etude géologique et géotechnique – 1987)

Nature des essais	Argilebrune	Limon sableux
Identification :		
Teneur en eau W%	19.1-23.6	11.5-19.4
Densité sèche $\gamma_d$ (KN/m <sup>3</sup> )	14.8-15.8	16
Densité humide $\gamma_h$ (KN/m <sup>3</sup> )	17.7-19.6	19.1
Limites d'atterberg :		
Limites de liquidité WL%	41-59	30-35
Indice de plasticité IP WL%	20-32	12-15
Indice de consistance Ic	0.95-1.17	0.85-1.5
Essai mécanique :		
Cohesion $C_{uu}$ (KN/m <sup>2</sup> )	30-60	
Angle de frottement $\phi^\circ$	12-22	
Perméabilité (m/s) :	$10^{-9}$	
Essai de compression :		
Pression de consolidation (KN/m <sup>2</sup> )	179-181	130
Coefficient du tassement $C_t$	0.230-0.314	0.199
Coefficient de gonflement $C_g$	0.03-0.09	0.042
Essai proctor :		
Teneur en eau optimum $W_{opt}\%$	12-14	10
Densité proctor $\gamma_{dmax}$ (KN/m <sup>3</sup> )	15.1-17.4	18

## ETAT DE SITUATION DE L'AMÉNAGEMENT

### CHAPITRE I

Pour apporter plus de détail, nous avons fait appel aux résultats des essais de laboratoire sur effectués sur les échantillons des sondages SC1 et SC2 au niveau du Laboratoire National de l'Habitat et de la Construction (L.N.H.C.) en 1987.

Ces essais ont mis en évidence les propriétés physiques et mécaniques des formations en place tableau I.5.

**Tableau I.5:** Caractéristiques mécaniques retenues pour les calculs de stabilité (Hydro-projet Est - Etude géologique et géotechnique – 1987)

Intitulé	Valeur
Densité sèche	$\gamma_a=15,5 \text{ kN/m}^3$
Densité humide	$\gamma_h=18,9 \text{ kN/m}^3$
Densité à l'optimum Proctor	$\gamma_{d \text{ max}}=16,5 \text{ kN/m}^3$
Teneur en eau à l'optimum Proctor	$W_{\text{opt}}=13,3 \%$
Densité à la construction	$\gamma_{\text{construction}}=17,76 \text{ kN/m}^3$
Densité saturée	$\gamma_{\text{sat}}=19,8 \text{ kN/m}^3$
Cohésion	$c=44 \text{ kPa}$
Angle de frottement	$\Phi=22^\circ$

Les calculs de stabilité du barrage effectués dans le projet Hydro-projet Esten 1987 se sont basés sur les données tableau.

### 1.3.7 TECTONIQUE

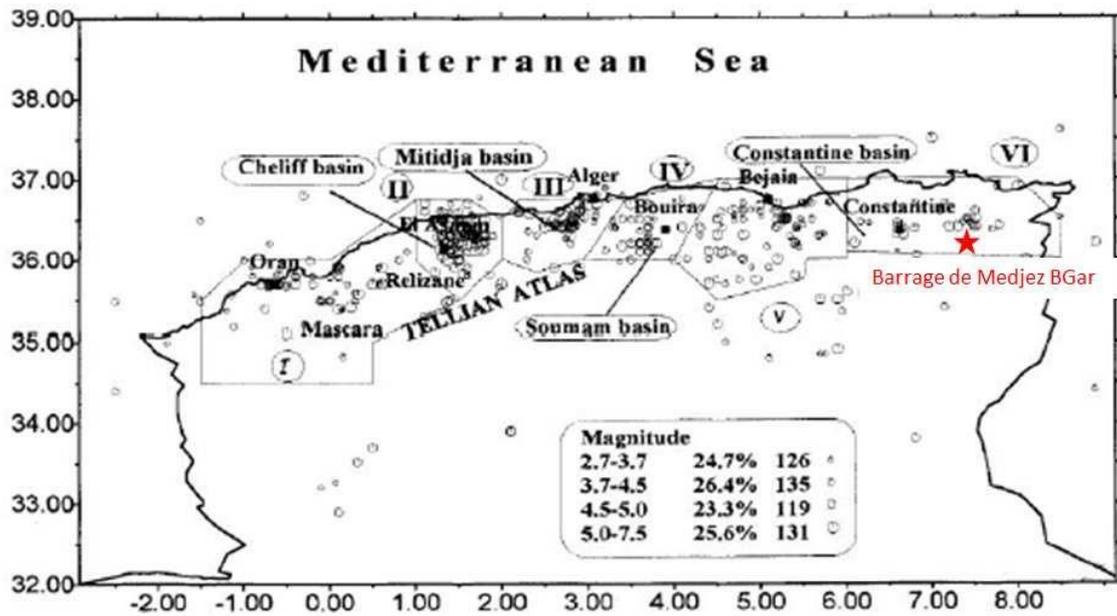
La direction tectonique principale de la vallée de l'oued MEDJEZ B'GAR est SW-NE. La partie NE du bassin versant apparaît fortement plissée et faillée avec des fractures et diaclases. Une première ligne de charriage de direction SW-NE arrive jusqu'à Bordj Bou Rougaa, au sud du site du barrage. Une deuxième ligne perpendiculaire à la première se situe à l'aval du site.

### 1.3.8 SISMICITE DU SITE

La sismicité instrumentale en Algérie est concentrée dans la moitié nord du pays et correspond aux déformations liées à la convergence entre l'Afrique et l'Europe. La zone de convergence étant de type continent-continent, elle n'implique pas de plan de subduction et tous les séismes sont des événements crustaux. Même en considérant une croûte continentale épaissie, les profondeurs hypocentrales sont inférieures à 70 km pour tous les événements et inférieures à la trentaine de kilomètres pour la plupart d'entre eux Figure I.5.

L'observation de cartes de la Figure I.5 permet de relever les points suivants (ISL 2015) :

- La plus grande partie des séismes importants est située dans la partie NO du pays, où ont été observés les plus forts événements (El Asnam-Chlef, 10 octobre 1980) ;
- Le barrage de MEDJEZ B'GAR se trouve dans la ceinture de sismicité correspondant à la zone d'accommodation de la convergence Afrique-Europe, dans un segment où la sismicité historique et instrumentale est modérée.
- Les séismes se regroupent principalement selon les zones décrites par la carte de Hamdache (Figure I.5). Le barrage de MEDJEZ B'GAR est en zone VI. La sismicité y est surtout groupée autour de Constantine, ainsi que légèrement au Nord du barrage.



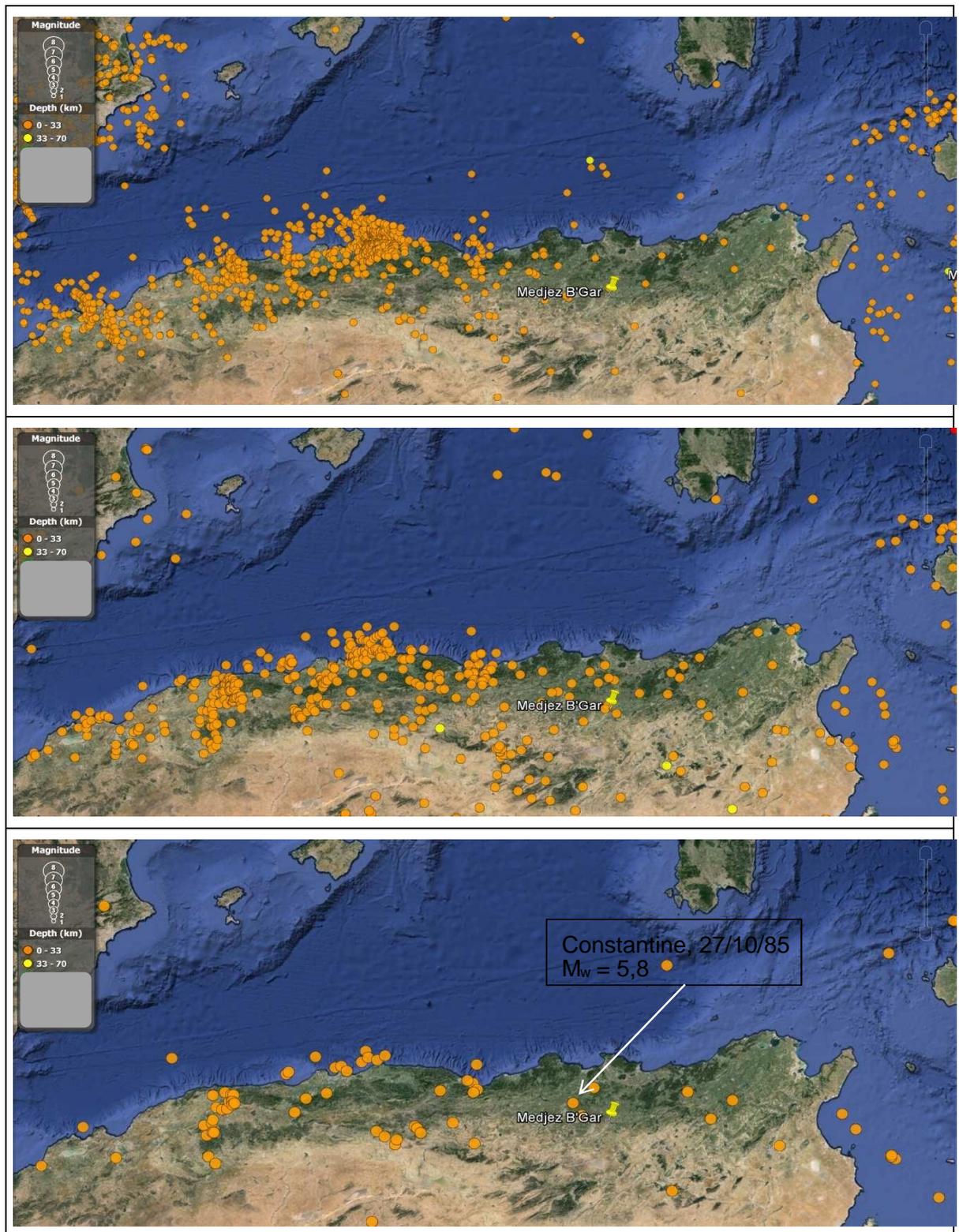
Spatial distribution of earthquake epicenters. Delineation of the six proposed seismogenic zones. Respectively from west to east. I, seismogenic zone 1: Oranie II, seismogenic zone 2: El Asnam III, seismogenic zone 3: Algiers IV, seismogenic zone 4: Bouira V, seismogenic zone 5: Bejaia. VI, seismogenic zone 6: Constantine.

**Figure I.5 :** Zonage sismique du Nord de l'Algérie et caractéristiques sismiques des zones, Hamdache (1998)

La consultation de la base de données de l'USGS, plus précisément autour du barrage, montre que la sismicité est toujours groupée en essais, eux-mêmes diffus. Quelques séismes de magnitudes modérées sont à noter à proximité immédiate du barrage.

La figure suivante présente les foyers de séismes recensés par l'USGS. Chaque carte correspond à une magnitude, entre 2 (première carte) et 7 (dernière carte).

ETAT DE SITUATION DE L'AMÉNAGEMENT  
CHAPITRE I



**Figure I.6:** Localisation et profondeur de la sismicité instrumentale dans la région  
Du Maghreb USGS/NEIC (PDE) 1973 –30/09/214

# ETAT DE SITUATION DE L'AMÉNAGEMENT

## CHAPITRE I

La région d'Ain Makhlouf se situe dans la zone II. Le coefficient sismique K, soit la fraction de l'accélération de la pesanteur utilisée dans l'étude de faisabilité du barrage soumis à des tremblements de terre, est déterminée par la formule suivante :  $K = 2/3 * A$  où A est l'accélération maximale horizontale due aux mouvements sismiques.

En prenant  $A = 0,25$ , cela donne  $K = 2/3 * 0,25 = 0,17$ .

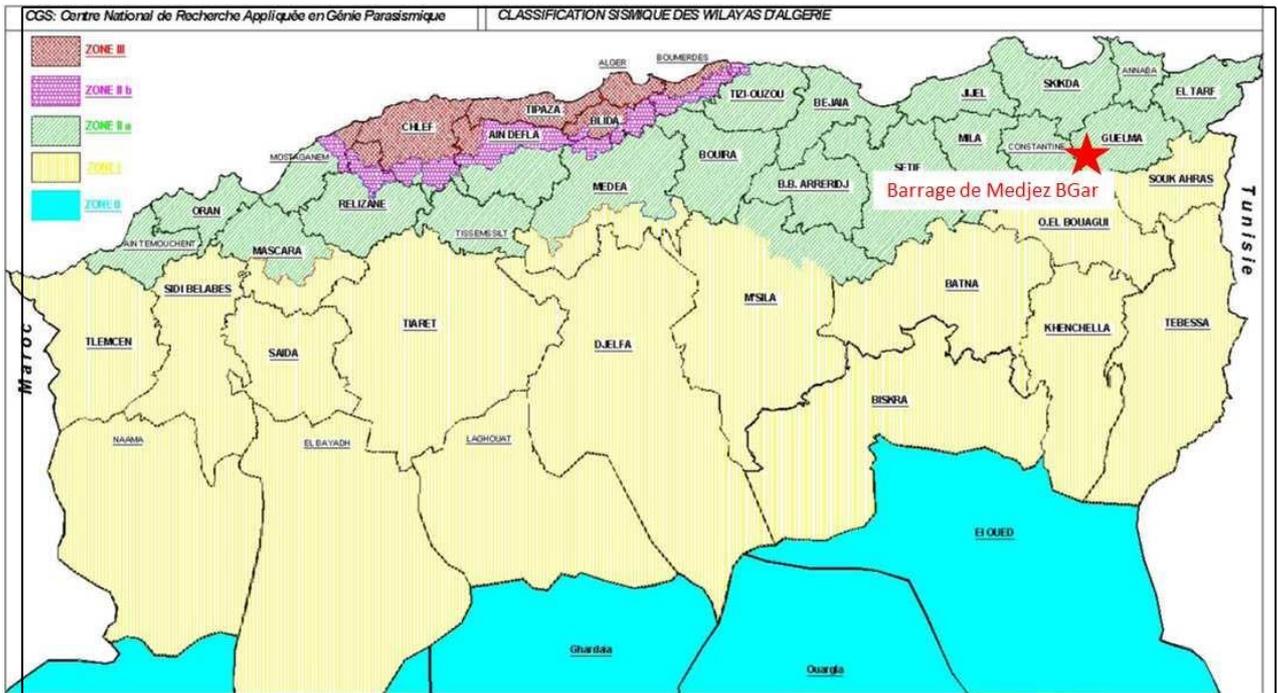


Figure I.7: Classification de la Wilaya de Guelma (ISL 2015)

**I.4 Caractéristiques principales du barrage MEDJEZ B'GAR**

**Tableau I.6 : Caractéristiques de la digue**

<b>CARACTERISTIQUES DE LA DIGUE PRINCIPALE</b>	
<b>Type du barrage</b>	Barrage en remblai homogène, drain cheminée central avec tapis drainant sous la recharge aval
<b>Matériaux</b>	Remblai en matériau argileux
<b>Terrain de fondation</b>	Formation marneuse surmontée d'une couche altérée de marne argileuse ou d'argile marneuse.
<b>Traitement de la fondation</b>	Cléd'ancrage
<b>Hauteur au-dessus du lit de l'oued</b>	24,5 m
<b>Hauteur au-dessus de la fondation</b>	27,5 m
<b>Longueur en crête</b>	340 m
<b>Largeur en crête</b>	6,5 m
<b>Largeur maximale au niveau du terrain naturel</b>	120 m
<b>Fruit du parement amont</b>	3
<b>Fruit du parement aval</b>	2,5
<b>Cote de retenue normale</b>	671,20 m NGA
<b>Cote des plus hautes eaux de projet (PHE 100 ans)</b>	672,90 m NGA
<b>Altitude de la crête du barrage</b>	674,50 m NGA
<b>Altitude de la crête du parapet</b>	Pas de parapet.
<b>Galeries</b>	Pas de galerie de contrôle Pas de galerie de vidange / prise d'eau

### I.4.1 LA DIGUE

- *Description générale*

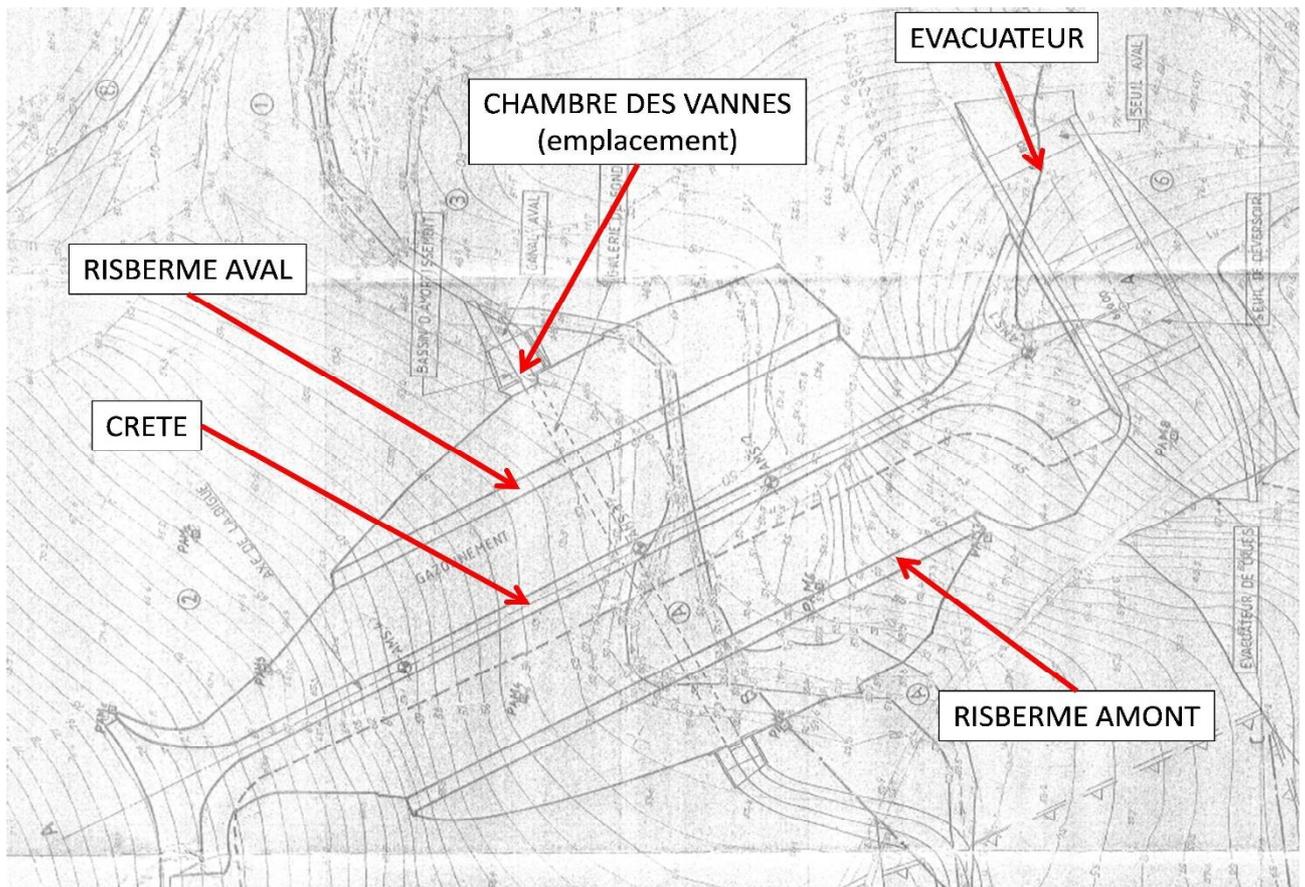
La digue principale de hauteur 27,5 m sur la fondation est de type remblai homogène en argile avec un tapis drainant prolongé d'une cheminée centrale et une clé d'ancrage étanche.

La cote de retenue normale est à 671,20 m NGA, la cote des plus hautes eaux, qui résulte du passage de la crue de période de retour 100 ans est fixée à 672,90 m NGA. La crête d'une largeur de 6,5 m, est à la cote 674,50 m NGA soit 1,60 m au-dessus des PHE.

Le talus amont présente une risberme à 661,80 m NGA de 6 m de largeur. Le parement amont est penté à 3H/1V.

Le talus aval présente une risberme à 661,80 m NGA de 6 m de largeur munie d'une rigole. Le parement aval est penté à 2,5H/1V (ISL 2015).

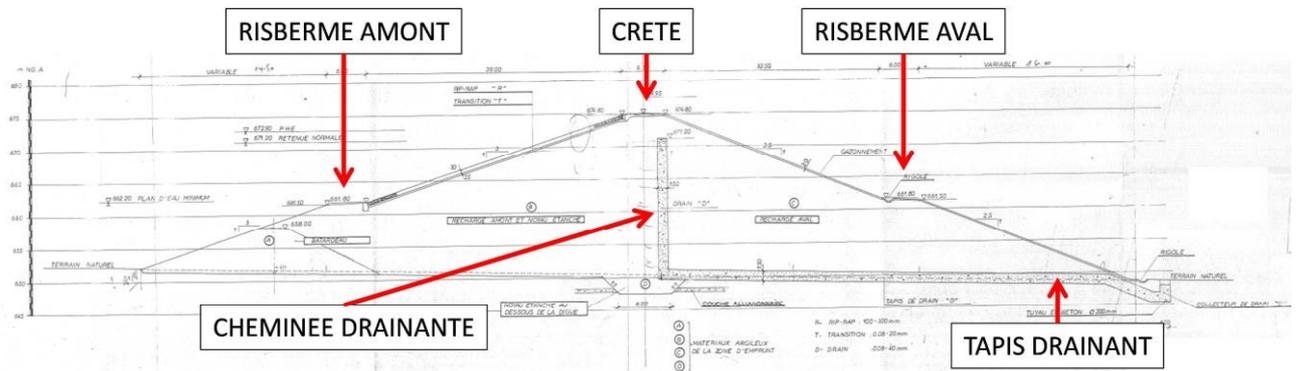
**Remarque:** d'après levé topographique d'aout 2016, la partie basse du parement amont a une pente de 2,5H/1V.



**Figure I.8:** Vue en plan de la digue (HYDRO-PROJET EST, 1986 in ISL ,2015)

# ETAT DE SITUATION DE L'AMÉNAGEMENT

## CHAPITRE I



**Figure I.9 :** Coupe type de la digue (HYDRO-PROJET EST, 1986 in ISL ,2015)

Le parement amont est protégé par des enrochements, alors que le talus aval a été engazonné.

- **Drain**

Le drainage du corps du barrage est assuré par un drain central vertical (cheminée) d'épaisseur égale à 1,5 m et constitué de matériau de carrière.

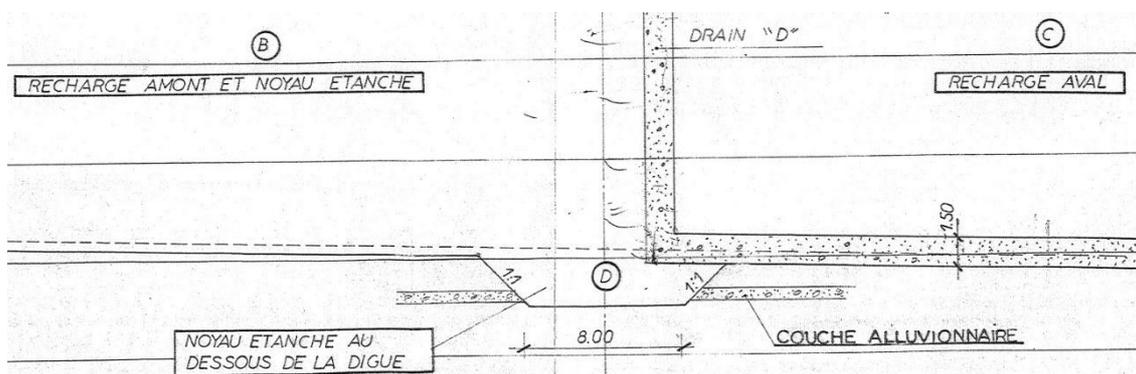
Il est réalisé entre la cote 650 m NGA environ (TN) et la cote 671,20 m NGA (RN). Il se prolonge par un tapis filtrant longitudinal de même épaisseur permettant d'acheminer les percolations ainsi interceptées jusqu'à un collecteur rejoignant pour chaque rive le bassin d'amortissement. L'ensemble est équipé de 11 puits de décompression munis de regards (au lieu des 13 puits indiqués sur le plan de coffrage en phase d'exécution).

L'étanchéité de la fondation a été réalisée par une clé d'ancrage à l'axe du barrage. Son profil trapézoïdale, penté à 1H/1V, s'encastre sur environ 2 m de hauteur dans le TN et intercepte la couche alluvionnaire en place. Elle a une largeur de 8 m en fond de fouille et une longueur suivant l'axe de l'ouvrage d'environ 90 m.

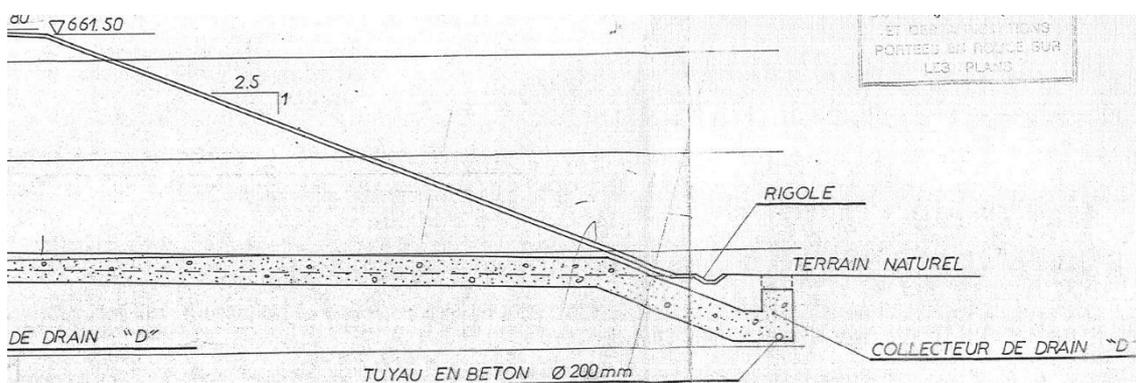
Les extraits de plan qui suivent permettent d'illustrer ces éléments :

# ETAT DE SITUATION DE L'AMÉNAGEMENT

## CHAPITRE I



**Figure I.10 :** Profil du drainage et de la clé d'ancrage (HYDRO-PROJET EST, 1986 in ISL, 2015)



**Figure I.11 :** Profil du drainage et du collecteur (HYDRO-PROJET EST, 1986 in ISL, 2015)

**I.5 L'EVACUATEUR DE CRUES**

**Tableau I.7:** Caractéristiques de l'évacuateur

<b>CARACTERISTIQUES DE L'EVACUATEUR</b>	
<b>Type d'évacuateur</b>	Evacuateur à surface libre en rive droite, suivi d'un coursier et débouchant sur un chenal aval
<b>Matériaux</b>	Gabions revêtus partiellement de béton. Les plans disponibles ne sont pas conformes à ce qui a été réalisé.
<b>Terrain de fondation</b>	Marnes et marno-calcaires
<b>Cote de la RN</b>	671,20 m NGA
<b>Cote des PHE</b>	PHE 100 ans : 672,90 m NGA PHE 1000 ans : 673,44 m NGA
<b>Cote du seuil du déversoir</b>	671,20 m NGA
<b>Hauteur du seuil</b>	0,50 m
<b>Longueur déversante</b>	32 m
<b>Capacité sous PHE</b>	Débit crue 100 ans = 153 m <sup>3</sup> /s (débit laminé) Débit crue 1000 ans = 232 m <sup>3</sup> /s
<b>Equipement hydromécanique</b>	Pas d'équipement

- *Description générale*

L'évacuateur de crues a été dimensionné pour une crue centennale ( $153 \text{ m}^3/\text{s}$ ) sans tenir compte du laminage (hypothèse conservatrice). De plus, il a été vérifié que la crue millénaire ( $232 \text{ m}^3/\text{s}$ ) n'induirait pas de débordement.

Il s'agit d'un déversoir à surface libre situé en rive droite à la cote d'arase de 671,20 m NGA (RN). Il est alimenté par un chenal d'amenée d'environ 40 m. La longueur du seuil est de 32 m pour une hauteur de 0,5 m (pelle amont). Il est suivi d'un coursier de même largeur et de 70 m de longueur, qui est barré par une rangée de redans de 0,5 m de haut à environ 15 m du seuil. Contrairement aux plans existants, la partie aval du coursier n'est pas formée d'une pente à 4H/3V mais de marches d'escaliers qui semblent suivre celles prévues pour le bajoyer (ISL 2015).



**Figure I.12:** Profil en long de l'évacuateur de crues (HYDRO-PROJET EST, 1986 in ISL, 2015)

# ETAT DE SITUATION DE L'AMÉNAGEMENT

## CHAPITRE I

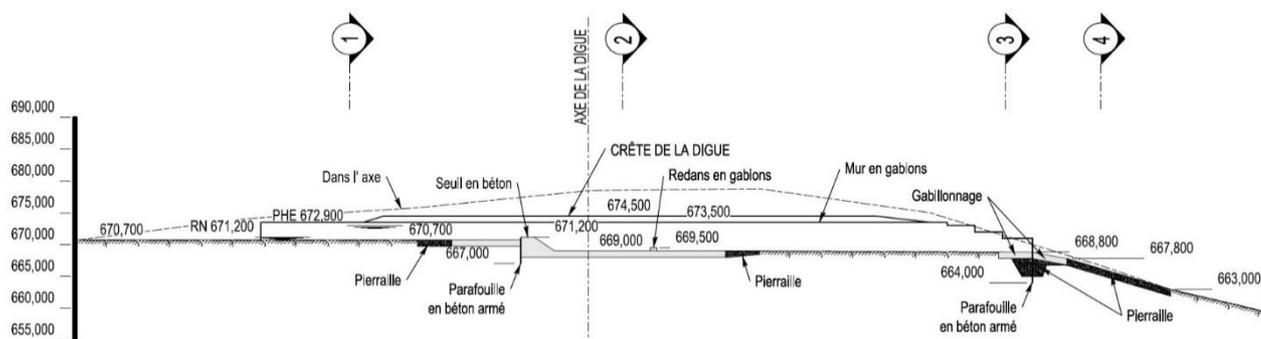


Figure I.13 : Photo de l'évacuateur de crues réalisé (ANBT-2008)

### I.5 DESCRIPTION DES OUVRAGES ANNEXES



Figure I.14 : Vue aérienne de l'aménagement (ISL 2015)

#### I.5.1 CARACTERISTIQUES DES OUVRAGES ANNEXES

- *Chambre de manœuvre*

Située au pied aval. Structure béton armé (6 m x 8 m).

## ETAT DE SITUATION DE L'AMÉNAGEMENT

---

### CHAPITRE I

- ***Vidange de fond***

La vidange de fond dont le seuil est calé à la cote 652 m NGA, est équipée de l'amont vers l'aval de 2 vannes DN 500 à opercule.

La conduite est coulée dans le béton sur toute sa partie traversant le corps de digue.

Le débit de vidange sous la cote de RN est égal à 2 m<sup>3</sup>/s.

- ***Prise d'eau***

La prise d'eau dont le seuil est à la cote 658 m NGA est équipée de l'amont vers l'aval :

- d'une crépine DN 800 sur 0,75 m de hauteur
- de 2 vannes DN 500 à opercule sur la partie pouvant s'écouler dans l'oued,
- d'un branchement en Té inséré entre les deux vannes ci-dessus pour alimenter la conduite d'irrigation,
- d'une vanne DN 500 sur la conduite d'irrigation suivie d'un piquage DN 200 équipé d'une vanne de même diamètre.

La conduite est coulée dans le béton sur toute sa partie traversant le corps de digue.

Le débit de prise d'eau sous la cote de RN est égal à 2 m<sup>3</sup>/s (et de 0,4 m<sup>3</sup>/s pour le piquage DN 200).

- ***Chenal aval***

Canal de fuite protégé par des gabions,

Dimensionné pour la dérivation provisoire.

## I.6 ETANCHEITE

### I.6.1 ETANCHEITE DE LA CUVETTE

La dominante argilo-marneuse constituant le fond de la retenue assure une bonne étanchéité.

### **I.7.1 ETANCHEITE DU SITE**

Les quelques éléments disponibles (sondages, essais de laboratoire) attestent a priori du caractère étanche du site.

La présence d'une couche superficielle d'alluvions a été traitée par la mise en place d'une clé en argile ancrée dans le substratum étanche (constitué d'argiles et de marnes) afin d'assurer l'étanchéité du site au droit de la digue.

## **I.7 EROSION**

### **I.7.1 EROSION INTERNE DE LA FONDATION**

Le caractère imperméable de la fondation, formée d'argile et de marnes, ainsi que la présence de la clé d'ancrage, limite les circulations d'eau et le risque d'érosion interne de celle-ci.

### **I.7.2 EROSION INTERNE DE LA DIGUE**

Aucun suintement n'est observé sur le talus aval, de plus les écoulements collectés en pied aval ne montrent pas de transport solide et donc d'entraînement de fines.

Si le drainage n'est pas suffisant ou inefficace, la piézométrie peut être élevée dans le corps de la digue : en l'absence de mesures piézométriques, le risque d'érosion interne ne peut pas être évalué.

## **I.6. CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DE LA RETENUE**

**Tableau I.8:** Caractéristiques principales de la retenue (ISL 2015)

<b>Altitude de la retenue en exploitation normale (RN)</b>	671,20 m NGA
<b>Altitude de la retenue en crue de projet (PHE 100 ans)</b>	672,90 m NGA
<b>Aire de la retenue au niveau normale</b>	28,6 ha
<b>Capacité à retenue normale</b>	2,351 hm <sup>3</sup>
<b>Capacité à retenue maximale (PHE 100 ans)</b>	2,861 hm <sup>3</sup>

**CONCLUSION**

Après la synthèse et l'examen des données collectées à partir de l'enquête sur site et la lecture des documents établit par les bureaux d'études suscités pour le compte du maitre de l'ouvrage l'Agence Nationale des Barrages et Transferts,

Le barrage de MEDJEZ B'GAR est constitué d'une digue homogène en terre argileuse qui comporte une cheminée drainante verticale et un tapis drainant sous l'ensemble de la recharge aval.

Le barrage est fondé sur une première couche d'argile plastique de couleur brune-grise, sous la couche d'argile plastique se trouve une couche d'argile marneuse grise-jaunâtre d'environ 2 m d'épaisseur et la fondation profonde est constituée de marne grise.

Dans le cadre notre étude il est nécessaire de déterminer l'état actuelle de l'aménagement ce volet fera l'objet du chapitre suivant qui consiste à l'établissement d'un diagnostic exhaustif du barrage et des équipements hydromécanique sur la base d'une analyse des résultats des appareils de mesures d'auscultation du barrage depuis sa mise en eau.



# CHAPITRE II :

## INVENTAIRE DES DESORDRES DE L'AMENAGEMENT



## **INVENTAIRE DES DESORDRES DE L'AMENAGEMENT**

### **II. Introduction**

Un Confortement veut dire le renforcement d'un ouvrage qui risque de s'effondrer et pour effectuer cette action il est nécessaire d'établir au préalable l'inventaire des dysfonctionnements et désordres survenus au barrage et en basant sur cette analyse on peut déterminer les causes et évaluer les conséquences, établir un plan détaillé pour la réhabilitation ou le confortement.

### **II.1 DECOMPOSITION FONCTIONNELLE DE L'OUVRAGE**

Il est évident que la décomposition fonctionnelle doit être établie à la suite d'une description plus ou moins globale de l'aménagement afin d'appréhender les principaux modes de défaillances susceptibles de mettre en danger ce dernier. Le barrage de MEDJEZ B'GAR est composé des éléments principaux suivants :

- ✓ Une digue principale de hauteur 27,5 m sur la fondation.
- ✓ Un évacuateur de crues type déversoir à surface libre situé en rive droite à la cote d'arase de 671,20 m NGA (RN) qui a été dimensionné pour une crue centennale ( $153 \text{ m}^3/\text{s}$ ) sans tenir compte du laminage (hypothèse conservatrice).
- ✓ Une prise d'eau dont le seuil est à la cote 658 m NGA et Le débit de prise d'eau sous la cote de RN est égal à  $2 \text{ m}^3/\text{s}$  (et de  $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$  pour le piquage DN 200).

Le barrage de MEDJEZ B'GAR a une capacité de  $2,861 \text{ hm}^3$  à la cote de retenue et une capacité de retenue à la cote normale de  $2,351 \text{ hm}^3$ . En sachant que l'ouvrage est destiné à l'irrigation. Il est à noter que la cote de retenue normale est fixée à 671,20 m NGA, la cote des plus hautes eaux (NPHE) est de 672,90 m NGA.

Après consultation des différents rapports d'inspection qui sont indiqués ci-dessous on a pu soulever les différents éléments présentant des anomalies :

- Inspection Du Barrage
- Inspection De L'évacuateur De Crues
- Inspection Des Ouvrages Annexes – Génie Civil

## CHAPITRE II

- Inspection du système d'auscultation
- Inspection des abords du barrage
- Inspection de la retenue

### II.2 LES ELEMENTS A INSPECTER

#### II.2.1 Inspection de la digue principale

Le Barrage est en remblai homogène de matériau argileux avec un drain cheminé central et un tapis drainant sous la recharge aval.

Fondation est de Formation marneuse surmontée d'une couche altérée de marne argileuse ou d'argile marneuse telle que le traitement de la fondation est fait avec une Clé d'ancrage.

La vidange au niveau de barrage MEDJEZ B'GAR se fait à l'aide d'un prise d'eau.

Les différentes cotes de barrage sont représentées dans le tableau ci-dessous :

**Tableau II.1:** les différentes cote de barrage MEDJEZ B'GAR

<b>Hauteur au-dessus du lit de l'oued</b>	24,5 m
<b>Hauteur au-dessus de la fondation</b>	27,5 m
<b>Longueur en crête</b>	340 m
<b>Largeur en crête</b>	6,5 m
<b>Largeur maximale au niveau duterrain naturel</b>	120 m
<b>Fruit du parement amont</b>	3 H / 1 V
<b>Fruit du parement aval</b>	2,5 H / 1 V
<b>Cote de retenue normale</b>	671,20
<b>Cote des plus hautes eaux de projet</b>	672,90
<b>Altitude de la crête du barrage</b>	674,50

**II.2.1.1 inspection de la digue**

- *Parementamont*

Un Rip rap de protection en enrochements de 0,75 m d'épaisseur selon les plans (Deux couches transition et Rip-rap avec une épaisseur de 0,25 et 0,50 m).

Une végétation sur le parement amont (broussailles, arbustes et arbres entre RN et crête) avec une absence de Glissements, Fissures, Erosion, trous, tassements, déplacements et Débris.

La Cote du plan d'eau supérieure à la RN alors le Talus est peu visible.

➤ Au finale L'état de Parement amont est globalement satisfaisant.



**Figure II.1** : Parement amont rive gauche (ISL, 2015)



**Figure II.2:** Zone à enrochements différents en haut de talus RG (ISL, 2015)

- **La Crête**

Le Couronnement de barrage MEDJEZ B'GAR est constitué de tout venant avec bitume à l'origine, limité côté amont par une longrine en béton grossier de largeur 40 cm ou la partie visible de la longrine amont en béton est très érodée.

Une végétation présente au niveau des bords amont et aval de la crête (broussailles et petits arbustes).

Un tassement léger visible à l'œil nu avec fissure ouverte (1 à 2 cm) entre la longrine amont et le revêtement de la crête.

- Etat globalement satisfaisant de la crête avec absence de signe d'instabilité d'ensemble (tassements, fissures) et à noter, l'absence de bordures alors que la crête est circulaire et elle n'est pas éclairée.



**Figure II.3 :** Crête du barrage vue de la RG(ISL, 2015)



**Figure II.4 :** Bordure amont (ISL, 2015)

- *Parement aval*

Présence des caniveaux sur la risberme (cote 661,8 m NGA ; largeur 6 m) et au pied aval permettent de collecter les eaux de ruissellement avec escalier en béton en partie centrale.

Un Talus végétalisé par des broussailles et petits arbustes avec absence de glissement, fissuration, Fuites, suintements et de mouvement.

Un Tassements légers visibles au droit des caniveaux et des escaliers.

Présence des ravines dues au ruissellement certaines ont été traitées en tête par des enrochements.

- Le parement aval est dans un état satisfaisant. En revanche sa pérennité à long terme peut être remise en cause compte-tenu des risques d'érosion et du manque d'entretien des caniveaux.



**Figure II.5 :** Parement aval du barrage (ISL, 2015)



**Figure II.6:** Caniveau pied de talus (ISL, 2015)



**Figure II.7:** Escaliers et caniveau talus aval (ISL, 2015)



**Figure II.8:** Ravine sur talus aval (ISL, 2015)

- **Drain**

Le drainage du corps du barrage est assuré par un drain central vertical (cheminée) d'épaisseur égale à 1,5 m et constitué de matériau de carrière.

Il est réalisé entre la cote 650 m NGA environ (TN) et la cote 671,20 m NGA (RN). Il se prolonge par un tapis filtrant longitudinal de même épaisseur permettant d'acheminer les percolations ainsi interceptées jusqu'à un collecteur rejoignant pour chaque rive le bassin d'amortissement. L'ensemble est équipé de 11 puits de décompression munis de regards (au lieu des 13 puits indiqués sur le plan de coffrage en phase d'exécution).

L'étanchéité de la fondation a été réalisée par une clé d'ancrage à l'axe du barrage. Son profil trapézoïdale, penté à 1H/1V, s'encastre sur environ 2 m de hauteur dans le TN et intercepte la couche alluvionnaire en place. Elle a une largeur de 8 m en fond de fouille et une longueur suivant l'axe de l'ouvrage d'environ 90 m.

**Remarque**

Les reconnaissances géotechniques ont mis en évidence l'absence de tapis drainant dans le corps du barrage. Le drainage est assuré par l'horizon de galets et graviers. Le dispositif de drainage actuel est à renforcer.

**II.2.2 INSPECTION DE L'EVACUATEUR DE CRUES**

- **Caractéristiques de l'évacuateur**

Le barrage de MEDJEZ B'GAR contient un Evacuateur à surface libre en rive droite, suivi d'un coursier et débouchant sur un chenal aval construit avec un Gabions revêtus partiellement de béton.

La fondation de l'évacuateur de crue est construite en Marnes et marno-calcaires avec absence d'Equipement hydromécanique.

Les différentes cotes de barrage sont représentées dans le tableau II.2:

**Tableau II.2** : les différentes cote de l'évacuateur de cru MEDJEZ B'GAR

<b>Cote de la RN</b>	671,20 m NGA
<b>Cote des PHE</b>	PHE 100 ans : 672,90 m NGA PHE 1000 ans : 673,44 m NGA
<b>Cote du seuil du déversoir</b>	671,20 m NGA
<b>Hauteur du seuil</b>	0,50 m
<b>Longueur déversante</b>	32 m
<b>Capacité sous PHE</b>	Débit crue 100 ans = 153 m <sup>3</sup> /s (débit laminé) Débit crue 1000 ans = 232 m <sup>3</sup> /s

### II.2.2.1 INSPECTION DE L'EVACUATEUR

- *Entonnement*

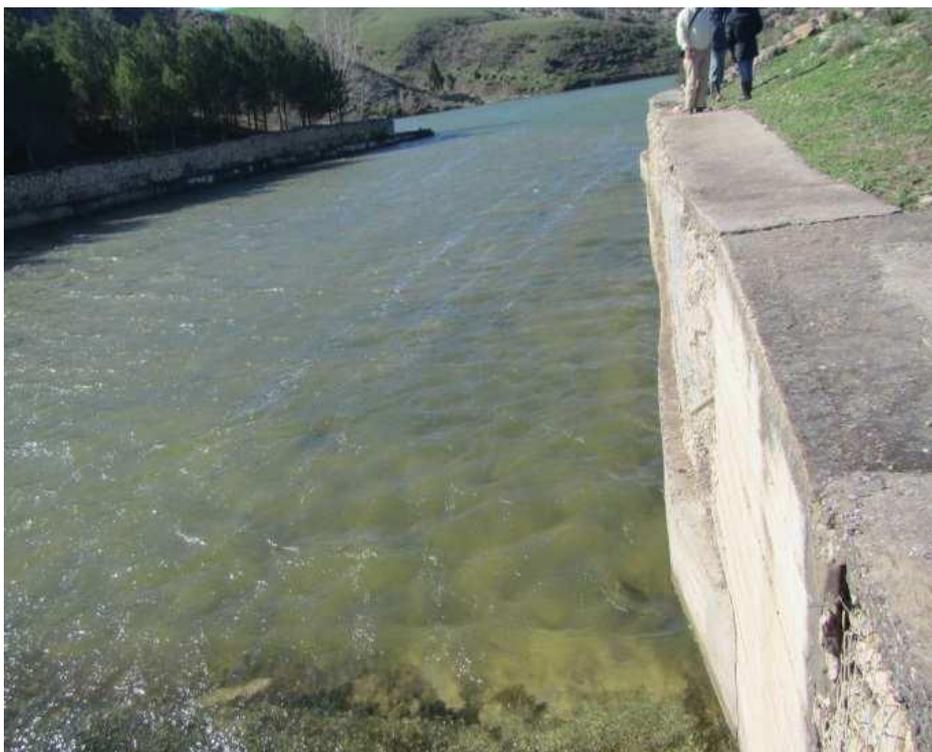
L'évacuateur de crue est construit d'un Chenal excavé au rocher (cote 670,70 m NGA) dans les marnes et marno-calcaires telle que la Partie amont protégée par des enrochements et un Radier constitué d'une mince couche de béton avec treillis soudé.

Les Murs Bajoyers sont en gabions partiellement revêtus de béton (partie basse et sommet) avec une légère déformation pour les bajoyers amont.

Au finale La cote supérieure des bajoyers est inférieure à la cote de la crête (remarque valable pour l'ensemble de l'évacuateur) et Le revêtement en béton des bajoyers est limité à environ 50 cm au-dessus de la cote de RN avec un manque de fermeture du bajoyer RD sur le TN.



**Figure II.9:** Escaliers et caniveau talus aval(ISL, 2015)



**Figure II.10:** Escaliers et caniveau talus aval (ISL, 2015)

- *Seuil*

L'ouvrage est a priori en béton armé constitué d'un seuil rectiligne de 32 m de longueur (calé à la cote 671,20 m NGA). La pelle amont est de 50 cm. La hauteur du seuil par rapport au coursier à l'aval est d'environ 2 m.

Présence de plusieurs fissures horizontales au niveau de seuil avec absence des Traces de mouvements, tassements, Erosion – trous et débris telle que les joints sont en bonne état et les parois / talus sont stable.

- L'ouvrage est en bon état général. Les déversements sont fréquents depuis que la retenue n'est plus utilisée pour l'irrigation. Au niveau de la crête du seuil, les bajoyers sont revêtus de béton sur toute leur hauteur. On note dans la continuité du seuil des murs para fouille en béton sur les deux rives.

## CHAPITRE II



**Figure II.11** :Seuil (ISL, 2015)



**Figure II.12** : Murs para fouille sur les rives de l'évacuateur (ISL, 2015)

- **Coursier**

La structure du coursier est similaire à celle du chenal amont. Présence de 12 blocs en béton de forme cubique pour dissiper l'énergie.

Le coursier de l'évacuateur de crue présente plusieurs fissures sont visibles au niveau du radier qui est déformé ou le béton du radier est éclaté telle que les joints sont en bonne état.

Un Tassements et fontis au contact bajoyers / remblai et la partie aval du coursier a été détruite par les crues.

On constate que Les dégâts sur l'évacuateur risquent de s'aggraver en cas de fort déversement.



Figure II.13 : Coursier (ISL, 2015)



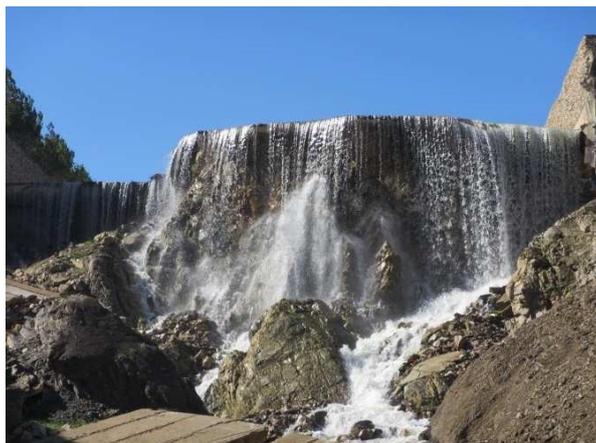
Figure II.14: Extrémité aval du coursier (ISL, 2015)

- *Chenal de restitution*

Le Chenal est naturel non protégé avec présence d’Affouillements, érosion des dégâts importants dus aux crues successives.

Les talus sont érodés et instables en particulier talus à l’aval immédiat RG.

Le substratum rocheux (marno-calcaire) a été mis à nu .On note un changement de pendage à l’aval immédiat du coursier encore en place et Présence d’un talweg en RD fortement érodé.



**Figure II.15 :** Chenal évacuateur de crues vu de l'aval (ISL, 2015)



**Figure II.16 :** vu de l'amont (ISL, 2015)



**Figure II.17 :** Eléments du coursier détruit (ISL, 2015)



**Figure II.18:** Substratum RG (ISL, 2015)

- *Chambre de manœuvre*

Aspect médiocre des bétons de chambre de manœuvre mais peu dégradés.

Traces des Tassement des remblais adjacents avec Présence d'eau en partie basse (une dizaine de centimètres).

- La chambre est dans un état médiocre telle que L'accès est libre (porte métallique non cadénassée) se fait par l'aval dans le chenal de restitution (inondable).



**Figure II.19:**Chambre de manœuvre aval(ISL, 2015)



Figure II.20: Tassement remblai autour de la chambre (ISL, 2015)



Figure II.21: Dallettes préfabriquées (ISL, 2015)



Figure II.22: Vidange de fond et prise d'eau (ISL, 2015)



**Figure II.23:** Départ conduite prise d'eau RG chambre (ISL, 2015)

### II.2.3 INSPECTION DES ORGANES MECANIQUES

- *Vidange de fond et Prise d'eau*

Corrosion généralisée des conduites et des corps de vannes.

La Position des vannes amont indéterminée avec un seul volant de manœuvre disponible pour les quatre vannes, et conduites peintes uniquement à l'extérieur de la chambre.



**Figure II.24:** Vannes de garde (ISL, 2015)



Figure II.25: Vannes de réglage (ISL, 2015)

- *Chenal aval*

Le Chenal revêtu par des gabions avec un glissement sur talus RD du chenal de restitution et une Végétation dense (roseaux, arbustes, arbres).

Un piquage avec une vanne DN 200 mm a été installé sur la conduite de prise d'eau RG et débite dans le chenal.



Figure II.26: Piquage DN 200 mm (ISL, 2015)



**Figure II.27:**Chenal aval(ISL, 2015)



**Figure II.28:**Extrémité conduite prise d'eau(ISL, 2015)

**II.2.4 INSPECTION DU SYSTEME D'AUSCULTATION**

**Tableau II.3 : Les caractéristique des dispositifs d'auscultation**

<b>Suivi de l'exploitation</b>	
Station météo	Aucune station à proximité immédiate.
Sismicité	Aucun dispositif de mesure au niveau du barrage.
Cote de retenue	Pas d'échelle limnimétrique
<b>Suivi des déformations</b>	
Planimétrie / Nivellement	Piliers de visée sur les rives et 8 repères situés coté amont de la crête, mais aucune donnée disponible.
<b>Suivi du comportement hydraulique</b>	
Piézométrie	Aucun dispositif visible.
Fuites	11 puits de collecte des eaux de drainage au pied aval de la digue (6 en RD et 5 en RG).
<b>Organisation de l'auscultation</b>	
Système de collecte des données	Aucun suivi par le gestionnaire (DRE de Guelma).
Fréquence des mesures	Aucune mesure ni visite d'inspection.

- ***Etat des collecteurs des eaux de fuite***

Les 11 puits collecteurs inspectés présentent un état satisfaisant. Chaque puits est équipé d'une échelle.

Constatations lors de l'inspection des puits collecteurs :

- Collecteurs RG : écoulement devenant faible à très faible en remontant sur la rive
- Collecteurs RD : léger écoulement.

Le débit total de fuites RG mesuré au niveau du rejet dans le canal de la vidange de fond est actuellement de 0,1 l/s.

Le rejet des fuites RD n'a pas été retrouvé (végétation dense).

- ***Etat des piliers et repères***

Pas de repères sur la risberme aval, la chambre aval et l'évacuateur de crues.

- **Remarques état général**

Les appareils encore opérationnels paraissent dans un état satisfaisant.

Le dispositif d'auscultation est fortement réduit. Les mesures ne sont pas effectuées.



**Figure II.29 :** Repère topographique en crête (ISL, 2015)



**Figure II.30:** Pilier RG (ISL, 2015)



Figure II.31 : Puits de décharge pied aval (ISL, 2015)



Figure II.32: Collecteur principal RG (ISL, 2015)

### II.3 HISTORIQUE ET INCIDENTS

#### II.3.1 CONSTRUCTION DE L'AMENAGEMENT

- *Les intervenants*

Maître de l'ouvrage : Ministère de l'Hydraulique de l'Environnement et des Forêts

Maître de l'œuvre : Entreprise Nationale des Projets Hydrauliques de l'Est.

- *Entreprises*

Génie-civil : HYDRO-PROJETS EST (ex. S.ET.HY.CO)

**CHAPITRE II**

Equipements hydromécaniques : HYDRO-TRANSFERT

Bureau d'Etudes (APD) : -

Bureau d'études (Exécution) :HYDRO-PROJETS EST (ex. S.ET.HY.CO)

Bureau de suivi et de contrôle : CTH Agence Régionale Est

### **II.3.2 HISTORIQUE DES ÉTUDES**

- ***Etudes d'avant-projet***

Les études préliminaires ont été réalisées par le bureau d'études HYDRO-PROJETS EST (ex. S.ET.HY.CO) en 1986 et 1987.

Aucune archive disponible ne permet de déterminer qui a réalisé les études d'Avant-Projet Détaillé, ni quand.

- ***Etudes d'exécution et surveillance des travaux***

Les études d'exécution et la surveillance des travaux ont été confiés au bureau d'études HYDROPROJETS EST (ex. S.ET.HY.CO).

- ***Historique des travaux***

Les travaux ont été confiés aux entreprises HYDRO-PROJETS EST (ex. S.ET.HY.CO) et HYDROTRANSFERT.

Les travaux ont commencé en 1991 et se sont terminés a priori en 1996

- ***Historique de la mise en eau***

Le remplissage de la retenue a probablement commencé dès la fin des travaux en 1996.

Aucun document ne permet de savoir quand la cote de retenue normale (671,20 m NGA) a été atteinte pour la première fois.

### **II.3.2 INCIDENTS CONSTATÉS**

- ***Axe de la digue***

Lors des reconnaissances géologiques et géotechniques, la présence de calcaires plissés et fissurés au niveau du verrou a amené à décaler l'axe du barrage d'environ 100 m vers l'amont.

## CHAPITRE II

- *l'évacuateur de crues*

Des désordres apparus sur l'évacuateur de crues :

- Premiers dégâts sur la partie aval constatés au cours de la saison agricole 2002-2003.
- Partie aval du coursier détruite par la crue de 2012.

## CONCLUSION

Suite à l'inspection détaillée du barrage de MEDJEZ B'GAR et de ses abords les éléments principaux suivants sont mis en évidence :

Au droit du barrage et de ses équipements :

- La digue est dans un état assez satisfaisant, sans signe apparent d'instabilité (talus et crête).
- L'évacuateur de crues a connu des dégâts importants, la partie aval du coursier a été détruite.
- Les équipements hydromécaniques sont hors d'usage.
- Les appareils d'auscultation sont jugés insuffisants pour le suivi du comportement des ouvrages.
- Les reconnaissances géotechniques ont mis en évidence l'absence de tapis drainant dans le corps du barrage. Le drainage est assuré par l'horizon de galets et graviers. Le dispositif de drainage actuel est à renforcer.

Les rives à proximité du barrage ne présentent pas de signes d'instabilité.



# CHAPITRE III :

DIAGNOSTIC ET ETUDE TECHNIQUE  
DU BARRAGE MEDJEZ B'GAR



**DIAGNOSTIC ET ETUDE TECHNIQUE DU BARRAGE MEDJEZ  
B'GAR**

**III. INTRODUCTION**

Le présent chapitre résume la connaissance actuelle des différentes données naturelles de l'aménagement de, basé sur l'analyses spécifiques menées dans le cadre de la présente étude, il comprendra les volets suivants :

- ✓ Analyse des dispositifs d'auscultation.
- ✓ Révision des données naturelles.
- ✓ Étude de la stabilité.

**III.1 L'AUSCULTATION**

La présente partie a pour but de faire la synthèse du dispositif d'auscultation mis en place pour l'aménagement. Malheureusement aucun rapport d'auscultation n'est disponible .De ce fait nous allons tout de même synthétiser les différentes étapes à suivre pour ce faire.

**III.1.2 DISPOSITIFS D'AUSCULTATION**

**III.1.2.1 Mesure des déplacements**

Les déplacements verticaux et horizontaux sont mesurés à partir de plusieurs piliers de contrôle implantés sur les rives. Ils permettent de viser les 8 repères situés sur le bord amont de la crête de la digue.

**III.1.2.2 Comportement hydraulique**

- *Niveau d'eau dans la retenue*

Aucune échelle limnimétrique n'est installée.

- *Piézométrie*

Aucun dispositif piézométrique n'est visible.

- *Fuites*

Il existe 11 puits de collecte des eaux de drainage au pied aval de la digue (6 en RD et 5 en RG).

La mesure du débit total des fuites de chaque rive peut être effectuée à l'aval du barrage de part et d'autre de la chambre des vannes.

- *Accélérographes*

Aucun accélérographe n'est installé à proximité ou sur l'ouvrage.

### **III.2 CONSIGNES DE SUIVI DE L'OUVRAGE**

Aucun document n'existe afin de rassembler les instructions pour l'exploitation, le fonctionnement et la maintenance des ouvrages.

Aucune mesure d'auscultation n'est réalisée.

### **III.3 REVISIONS DES DONNEES NATURELLES**

La révision des données hydrologiques et l'étude des crues fait partie intégrante des volets qu'il faut inspecter et revoir dans le cadre d'une étude de confortement notamment dans le cadre de celle-ci, il en ressort au premier abord que ;

- Les crues paraissent sous évaluées.
- La sécurité du barrage repose sur une conduite de vidange de fond et une conduite de prise d'eau.
- L'évacuateur de crues a connu des dégâts importants, la partie aval du coursier a été détruite.

Il est possible que la question des crues devienne la question la plus lourde de conséquence sur l'étude de confortement, l'objet de cette révision hydrologique étant de réévaluer les crues rares au droit du barrage, la crue de projet et les crues de différentes périodes de retour pour le barrage MEDEZ B'GAR sur la base des données disponibles actuellement.

Elle comprend :

- L'analyse du bassin versant
- L'analyse des précipitations
- L'étude des crues
- Synthèse des apports liquides et solides Afin de s'assurer du bon fonctionnement des organes d'évacuation et si besoin de proposer des aménagements pour accroître la capacité de ces derniers.

III.3.1 LE BASSIN VERSANT

Le barrage de MEDJEZ B'GAR contrôle un bassin versant d'une superficie de 61.31 km<sup>2</sup> avec une altitude moyenne de 850 m (altitude entre 650 et 1148 m).

Le couvert végétal estimé dans le cadre de l'étude de faisabilité de 1996, est : 80% céréaliculture, 10% de pâturage et 10% de terrains nus

L'objectif du barrage de MEDJEZ B'GAR est de régulariser les apports de l'oued en vue de l'irrigation.

L'apport annuel médian de l'oued MEDJEZ B'GAR est estimé à 7,6 hm<sup>3</sup>.

La carte suivante présente le bassin versant et les stations pluviométriques:

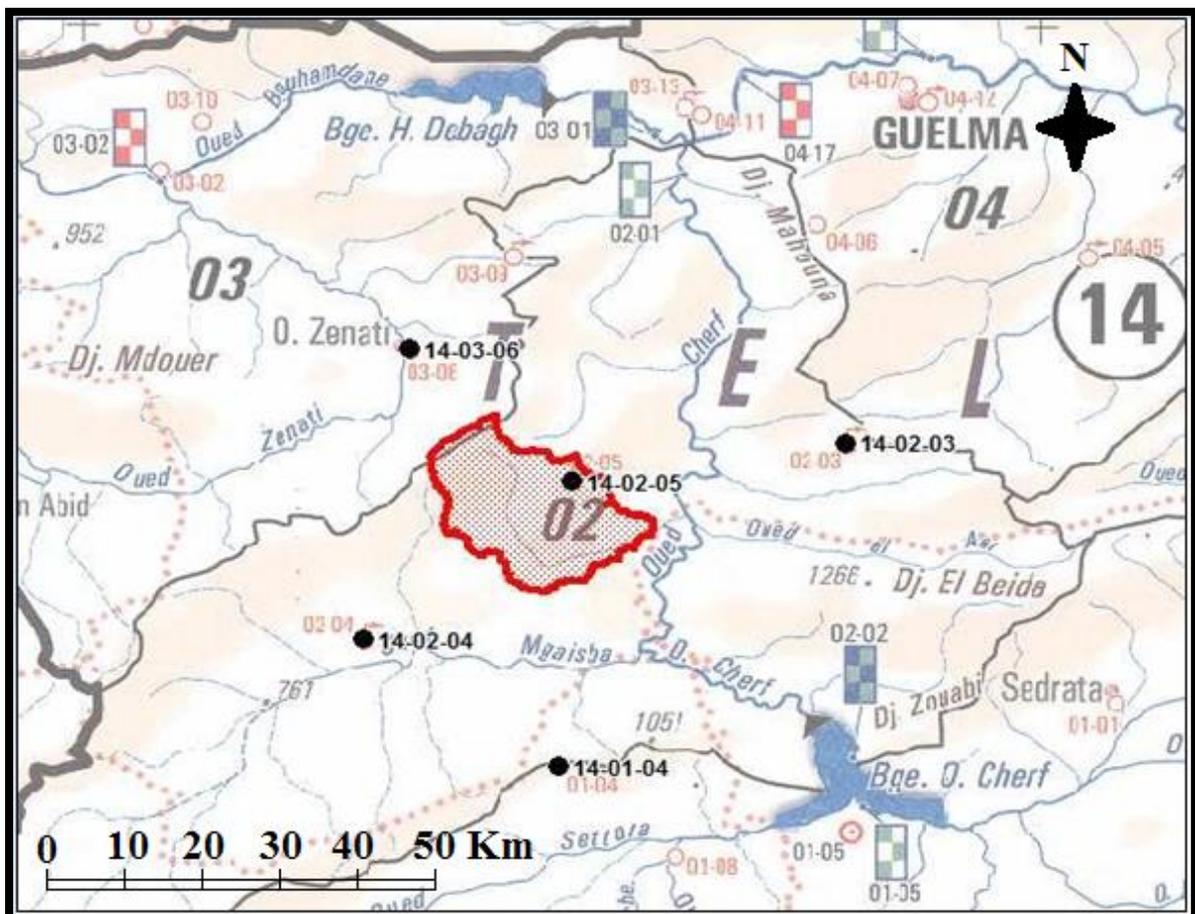


Figure III.1 : Situation géographique du bassin versant du barrage MEDJEZ B'GAR(ANRH)

BASSIN VERSANT DE BARRAGE MEDJEZ B'GAR

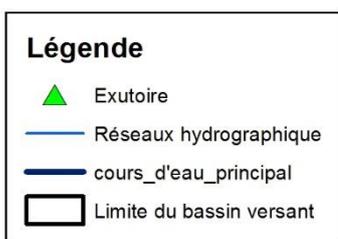
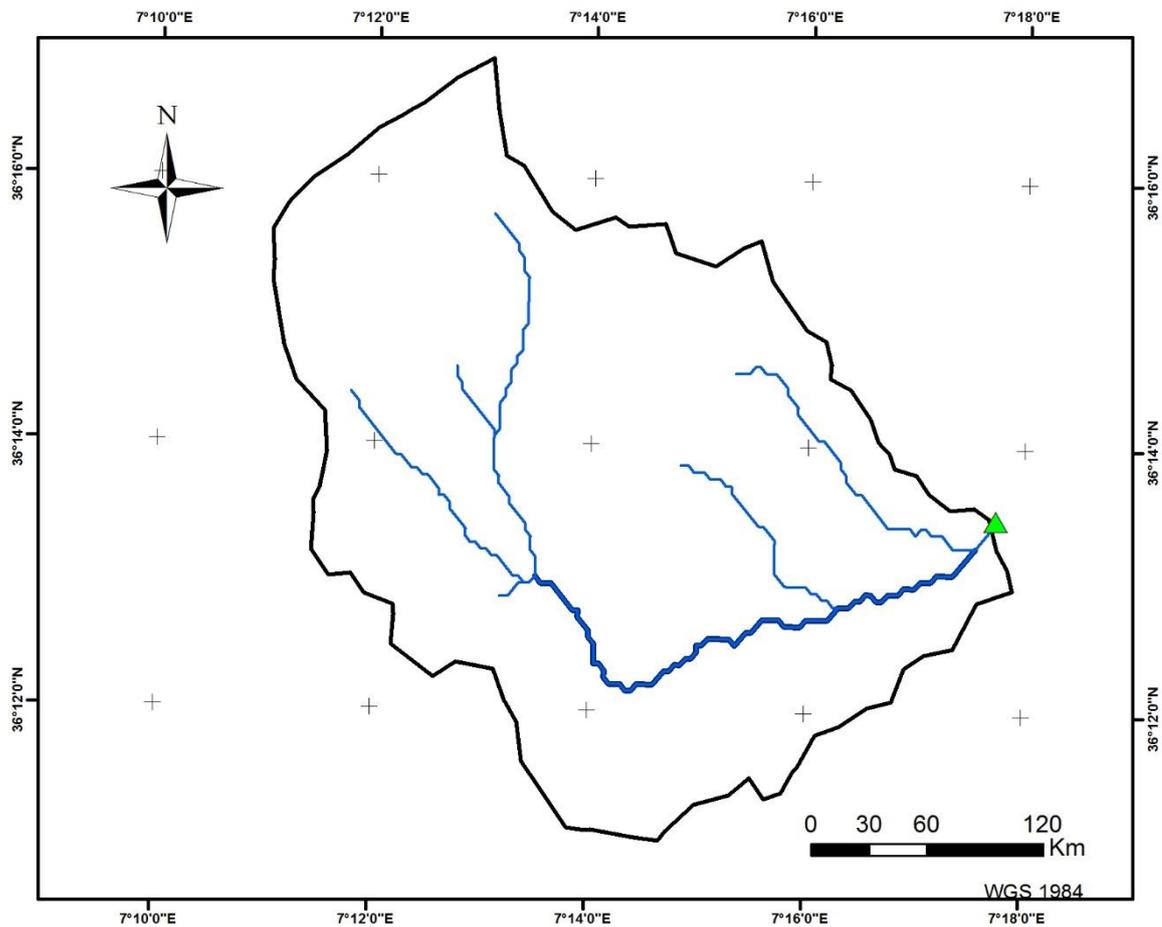


Figure III.2: Délimitation du bassin versant de barrage MEDJEZ B'GAR

**A- Indice de compacité de Gravelius**

Indice de Gravelius «  $K_c$  », appelé aussi indice de forme, est un indice qui caractérise la forme du bassin, il nous permet de faire une transformation purement géométrique en un rectangle de dimension «  $L$  » et «  $l$  » ayant la même surface que le bassin versant.

La forme d'un bassin versant a une influence sur l'écoulement et surtout sur l'allure de l'hydrogramme de crue, ainsi un bassin très allongé ne réagira pas de la même façon qu'un bassin de forme ramassée à conditions égales.

On exprime cette caractéristique par les différents indices, dont l'indice de compacité qui est défini comme le rapport du périmètre stylisé du bassin au périmètre d'un cercle ayant la même surface. Plus cet indice est proche de 1, plus le bassin aura une surface ramassée et plus le temps de concentration de l'eau sera court

$$K_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{S}} \tag{III.1}$$

$K_c$  : indice de Gravelius

$PBV$  : Périmètre du bassin versant en km.

$$PBV = 2(L+l) \tag{III.2}$$

$SBV$  : Surface du bassin versant en  $km^2$ .

$$SBV = L \times l \tag{III-3}$$

Si  $K_c \leq 1,28 \Rightarrow$  bassin ramassé

Si  $K_c > 1,28 \Rightarrow$  bassin allongé

**$K_c = 1.27$**

Le résultat du calcul montre que le bassin versant de barrage MEDJEZ B'GAR présente une forme plus au moins ramassée.

**B- Coefficient d'allongement**

Ce coefficient est obtenu par la relation :

$$C_a = L^2/S \tag{III.4}$$

$L$  : la longueur du talweg principal (Km)

$S$  : la superficie du bassin versant ( $Km^2$ )

**$C_a = 4.18$**

**C- Rectangle équivalent**

C'est la transformation purement géométrique en un rectangle de dimension L et l'ayant la même surface que le bassin versant. Il permet de comparer les bassins versants entre eux du point de vue de l'écoulement. Les courbes de niveau sont des droites parallèles aux petits côtés du rectangle et l'exutoire est l'un de ces petits côtés (Touaibia, 2004).

Le périmètre et la surface du rectangle sont respectivement :

$$P = 2(L + l) \quad \text{Et} \quad S = L \times l$$

La longueur L et la largeur l en Km sont données par la résolution de P et S :

$$L, l = K_c \frac{\sqrt{S}}{1.128} \left( 1 \pm \sqrt{1 - \left( \frac{1.128}{K_c} \right)^2} \right) \quad (\text{III.05})$$

AN :

$$L = 1.27 \frac{\sqrt{61,31}}{1.128} \left( 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1.128}{1.27} \right)^2} \right) = 14,43 \text{ Km}$$

$$l = 1.252 \frac{\sqrt{61,31}}{1.128} \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1.128}{1.27} \right)^2} \right) = 5.41 \text{ Km}$$

On obtient : **L = 14.43 km** et **l = 5.41 km**

**D- Hypsométrie du bassin versant**

La courbe hypsométrique fournit une vue synthétique de la pente du bassin, donc du relief. Cette courbe représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude (Touaibia, 2004). Elle porte en abscisse la surface (ou le pourcentage de surface) du bassin qui se trouve au-dessus de l'altitude représentée en ordonnée. La détermination de notre courbe hypsométrique a été réalisée à l'aide d'un logiciel de SIG. Elle exprime ainsi la superficie du bassin ou le pourcentage de superficie, au-delà d'une certaine altitude. Cette dernière, a été identifiée à partir des résultats des calculs de la répartition du bassin versant par tranches d'altitudes. Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau III.1 et la figure III.03.

COURBE HYSOMETRIQUE

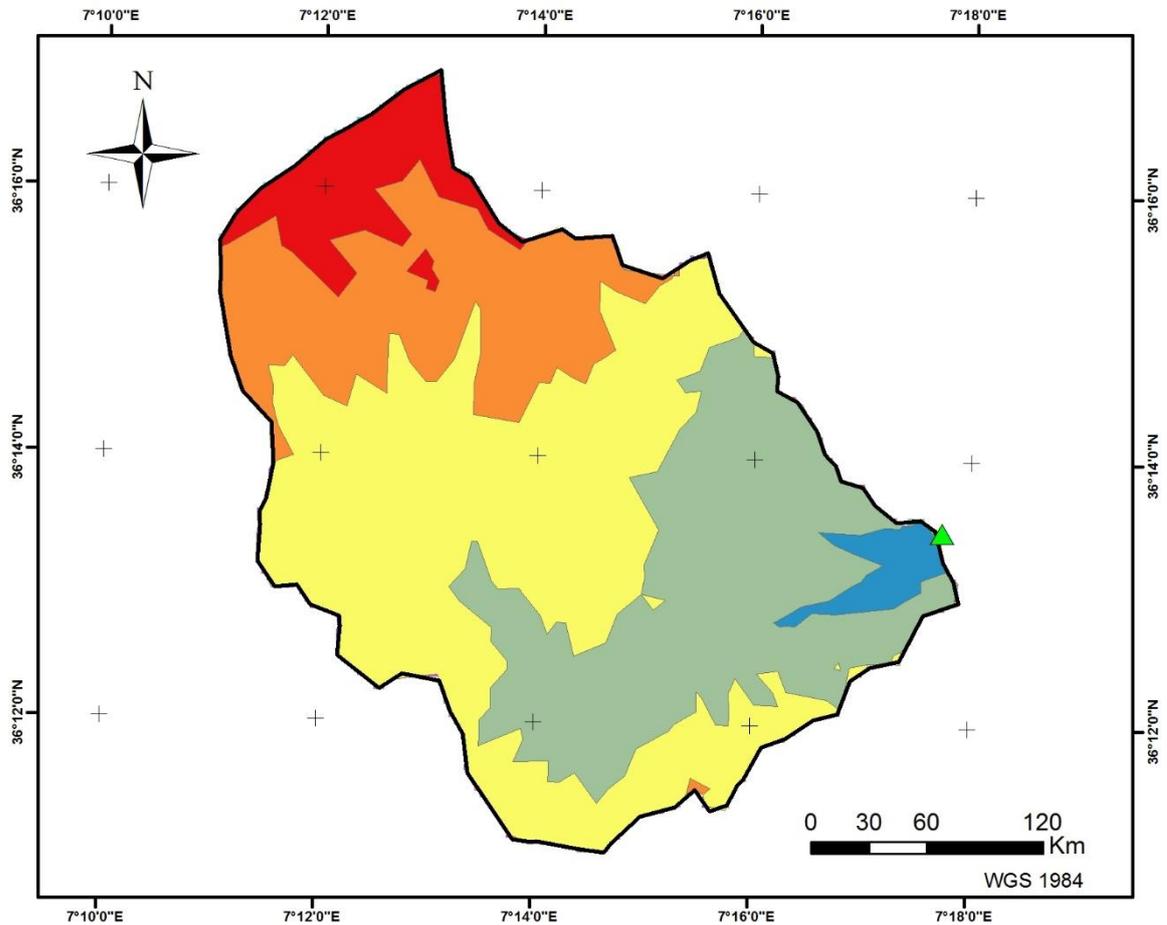
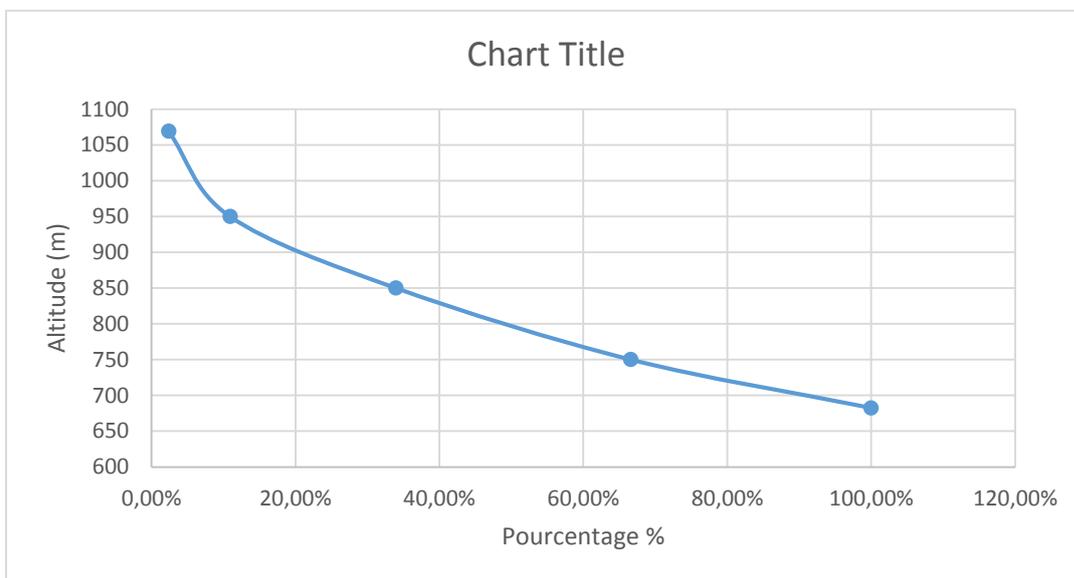


Figure III.3 : Carte hypsométrique du bassin versant de barrage MEDJEZ B'GAR

**Tableau III.01** Coordonnées de la courbe hypsométrique

Elévation (m NGA)		Elévation	Surface		Cumul		Hi.Si
			S (km2)	%	S (km2)	%	
Altitude(m)		Moyenne (m NGA)					
1000	1138	1069	4.418951	7.21	4.418951	7.21	4723.859
900	1000	950	11.334719	18.49	15.75367	18.49	10767.98
800	900	850	26.388048	43.06	42.141718	43.06	22429.84
700	800	750	17.752472	28.97	59.89419	28.97	13314.35
665	700	682.5	1.393609	2.27	61.287799	2.27	951.1381



**Figure III.4 :** Courbe hypsométrique du bassin versant de barrage MEDJEZ B'GAR.

- **Altitude médiane**

L'altitude médiane correspond à celle lue au point d'abscisse 50% de la surface totale du bassin, sur la courbe hypsométrique. Cette grandeur se rapproche de l'altitude moyenne dans le cas où la courbe hypsométrique du bassin concerné présente une pente régulière, d'après la courbe hypsométrique on a :

$$H_{med} = H_{50\%} = 786.19375m$$

- **Altitude moyenne**

L'altitude moyenne  $H_m$  est calculée par la formule suivante :

$$H_{moy} = \frac{\sum S_i H_i}{S} \quad (III.06)$$

$$\text{Avec : } H_i = \frac{H_{i-1} + H_i}{2} \quad (III.07)$$

$S_i$  : surface partielle entre deux courbes de niveau ( $Km^2$ )

$H_i$  : altitude moyenne entre deux courbes de niveau successive (m)

$S$  : Superficie du bassin versant ( $Km^2$ )

$$H_{moy} = 851.202m$$

Avec :

- $H_{5\%} = 1028.469m$ .
- $H_{95\%} = 698.1929m$ .

### E- Temps de concentration

Le temps de concentration TC des eaux sur un bassin versant se définit comme le maximum de durée nécessaire à une goutte d'eau pour parcourir le chemin hydrologique entre un point du bassin et l'exutoire de ce dernier, le temps de concentration est estimé à l'aide des formules le plus souvent empiriques

#### a- Formule de GIANDOTTI

Le temps de concentration est calculé comme suit :

**CHAPITRE III**

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1,5L_p}{0,8\sqrt{H_{MOY} - H_{MIN}}} \quad (III.8)$$

Avec :

$T_c$  : Temps de concentration (h).

$L_p$  : Longueur du talweg principal (Km).

$S$  : Surface du bassin versant ( $Km^2$ ).

$H_{MOY}$ : Altitude moyenne du bassin versant (m).

$H_{MIN}$ : Altitude minimale du bassin versant (m).

**b- La formule de KIRPLICH**

Le temps de concentration est calculé comme suit :

$$T_c = 0.01947 \times L^{0.77} \times I^{-0.385} \quad (III.9)$$

Avec :

$T_c$  : le temps de concentration (min).

$L$  : la longueur du Talweg (m).

$I$  : la pente moyenne du talweg principal (m/m).

- Conformément aux recommandations de l'USBR, un coefficient majorateur doit être appliqué au résultat de la formule de Kirpich pour tenir compte du couvert végétal (entre 1,4 et 2,2).

**c- La formule de TURRAZZA**

Le temps de concentration est calculé en se basant sur la formule suivante :

$$T_c = 1.662 \times S^{0.5} \quad (III.10)$$

Avec :

$T_c$  : le temps de concentration (min).

$S$  : la surface du bassin versant (Ha).

**d- La Formule ESPAGNOLE**

Le temps de concentration est calculé comme suit :

$$T_c = 0.126 * 60 * \left(\frac{L_{cp}}{I_{cp}^{0.25}}\right)^{0.76} \quad (III.11)$$

Avec :

$T_c$  : Temps de concentration (h).

$I_{cp}$  : Pente moyenne du cours d'eau principal (m/m).

$L_{cp}$  : longueur du cours d'eau principal (km).

**e- La Formule de VENTURA**

Le temps de concentration est calculé comme suit :

$$T_c = 0.1272 * \left(\frac{S}{I}\right)^{1/2} \quad (III.12)$$

Avec :

$T_c$  : le temps de concentration (h).

$S$  : la surface du bassin versant (Ha).

$I$  : la pente moyenne du talweg principal (m/m)

**f- La formule de JOHNSTONE ET CROSS (1949)**

Le temps de concentration est calculé comme suit :

$$T_c = 5.66 * \frac{L^{0.5}}{\sqrt{1000 * I}} \quad (III.13)$$

Avec :

$T_c$  : Temps de concentration (h).

$L$  : la longueur du talweg principale (m).

$I$  : la pente moyenne du talweg principal (m/m).

**g- La formule de BRANSBY**

Le temps de concentration est calculé comme suit :

$$T_c = \frac{0.243 * L}{I^{0.2} * S^{0.1}} \quad (III.11)$$

Avec :

$T_c$  : le temps de concentration (h).

L : la longueur du talweg principale (m).

I : la pente moyenne du talweg principal (m/m).

S : la surface du bassin versant (Ha).

**h- La formule de PASSINI – TURRAZA**

$$T_c = \frac{0.10 * \sqrt[3]{S * L}}{\sqrt{I}} \quad (III.11)$$

Avec :

$T_c$  : le temps de concentration (h).

L : la longueur du talweg principale (m).

I : la pente moyenne du talweg principal (m/m).

S : la surface du bassin versant (Ha).

**Tableau III.2:** Tableau Récapitulatif des temps de concentration

<b>Formule</b>	<b>Tc (heure)</b>
GIANDOTTI	<b>5.08</b>
KIRPLICH	3.03- <b>4.75</b>
TURRAZZA	2.17
ESPAGNOLE	36.72
VENTURA	<b>5.75</b>

Formule	Tc (heure)
BRANSBY	<b>5.19</b>
PASSINI – TURRAZA	<b>5.74</b>

- On note que les valeurs obtenues par les différentes formules sont dispersées alors on va prendre la médiane des valeurs qui se rapproche.

**Tc=5.14 heure**

**Tableau III.3 :** Tableau Récapitulatif des caractéristiques du bassin versant

Désignation		Symbole	Unité	Valeur
Exutoire	X	/	km	346.827
	Y	/	km	4010.19
	Z	/	m NGA	662
Superficie		S	km <sup>2</sup>	61.31
Périmètre		P	km	35,15
Pente moyenne		Icp	(m/m)	0.03
Longueur du cours d'eau principale		Lcp	km	16
Altitudes	Max	Hmax	m	1148
	Min	Hmin	m	665
	Moyenne	Hmoy	m	850
	Médiane	H50%	m	884.59
	5%	H5%	m	1091.57
	95%	H95%	m	744.45
Rectangle équivalent	Longueur	L	km	14.43
	Largeur	l	km	5.41
Indice de compacité		Ic	/	1,27
Coefficient d'allongement		Ca	/	4.18
Temps de concentration		Tc	h	5,14

### III.3.2 CARACTÉRISTIQUES CLIMATIQUES

La climatologie est une l'étude du climat dans une région particulière, elle entraîne des observations et des relevés d'un maximum de paramètres possibles comme la :

Les facteurs sur lesquels portera l'étude sont :

- Les précipitations.
- Les températures.
- L'humidité relative de l'aire.
- Les vents.

#### III.3.2.1 Température

Relevés mensuelles moyens des températures sur une période de 19 ans sont insérés dans le tableau III.4 suivant :

**Tableau III.4 :** Distribution mensuelle de la température de l'air au niveau de la station de Guelma (1985-2004).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moyenne
T <sub>max</sub> (C°)	31,5	26,3	20,3	15,7	14,5	16,5	18,0	21,0	25,2	30,9	35,1	35,5	24,2
T <sub>min</sub> (C°)	17,1	14,0	9,6	6,8	5,2	5,5	6,4	9,5	12,1	15,5	19,3	19,4	11,7
T <sub>moy</sub> (C°)	24,3	20,2	14,9	11,3	9,9	11,0	12,5	15,2	18,6	23,7	27,2	27,5	18,0

**Source :** (ONM) Alger

Le tableau III.4 montre que :

- La température moyenne annuelle est de 17,97°C.
- Le mois de janvier est le plus froid avec 5,18 °C contrairement au mois d'Aout qui est le plus chaud avec 35,54 °C.

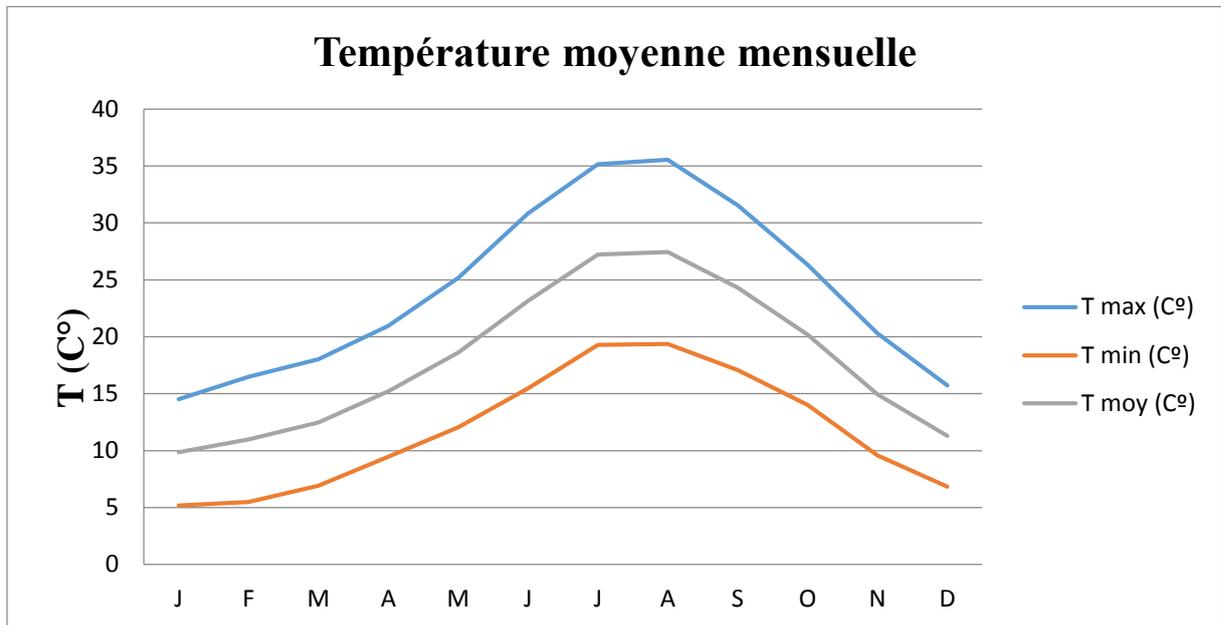


Figure III.5 : Graphique de la température moyenne mensuelle. (1985-2004)

### III.3.2.2 L'humidité relative de l'air

L'humidité relative moyenne mensuelle est représentée dans le tableau III.5:

Tableau III.5 : Humidités moyennes mensuelles (1985-2004).

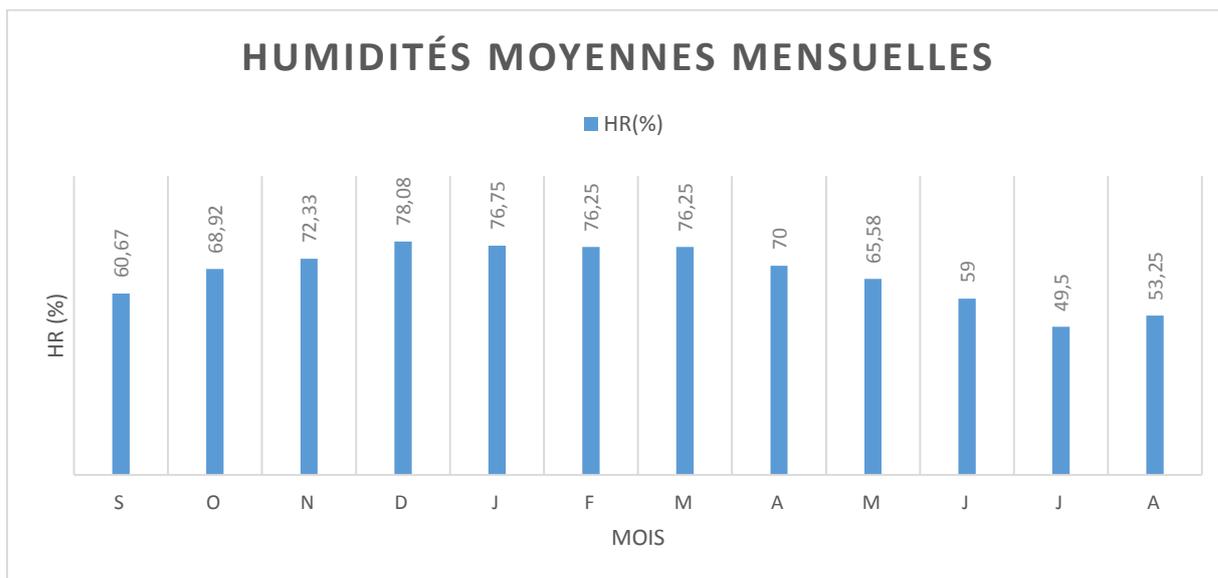
Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
HR(%)	60,7	68,9	72,3	78,1	76,8	76,3	76,3	70	65,6	59	49,5	53,3	67,2

Source : (ONM) Alger

Nous remarquons d'après les données ci-dessus que :

- Le minima est enregistré pendant le mois de Juillet (49,5 %).
- Le maxima en Décembre (78,08 %).

Donc, L'humidité relative est moyenne en été et relativement forte en hiver.



**Figure III.6:** Graphique de l'humidité moyenne. (1985-2004)

**III.3.2.3 Les vents**

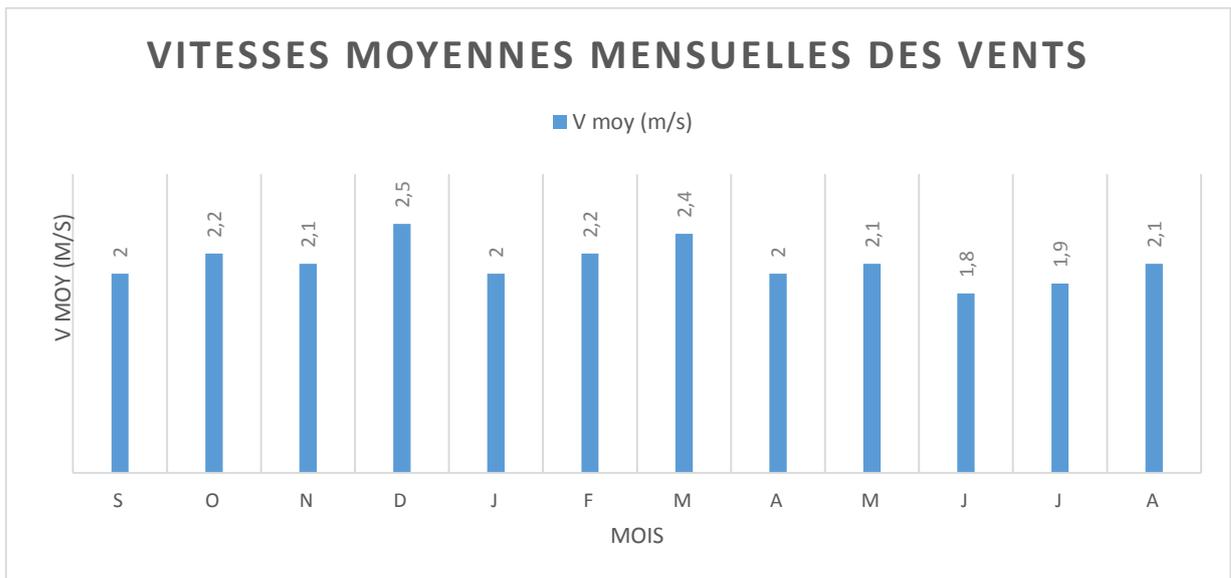
Le vent est un paramètre très important, il est caractérisé par sa direction et sa vitesse ; le tableau suivant représente les valeurs moyennes mensuelles de la vitesse de vent (m/s).

**Tableau III.6 :** Vitesses moyennes mensuelles des vents (1985-2004).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
V <sub>moy</sub> (m/s)	2	2,2	2,1	2,5	2	2,2	2,4	2	2,1	1,8	1,9	2,1	2,1

**Source :** (ONM) Alger

- Selon la nomenclature climatologique, les vitesses du vent enregistrées sont d'ordres légers tout au long de l'année, ce qui ne nécessite pas l'installation de brise vent



**Figure III.7:** Graphique des vitesses moyennes du vent.

### III.3.3 ÉTUDE DES PRÉCIPITATIONS

#### III.2.3.1 Équipements du bassin versant

La figure suivante localise les stations pluviométriques les plus intéressantes utilisées dans le cadre de cette étude présentes sur ou à proximité du bassin versant de barrage MEDJEZ B'GAR dont les chroniques sont disponibles au sein de l'ANRH. Ces stations ont fait l'objet d'un choix particulier en fonction de leur chronique (nombre d'années, localisation et leur recoupement).

Toutes les stations fournissent les pluies cumulées journalières. Les informations portant sur les données des chroniques disponibles sont insérées dans le tableau III.6, suivant :

**Tableau III.7:** Stations pluviométriques.

Station	Chronique	Nom de la station	Coordonnées	Nombre d'années
14-02-05	1957 - 2007	AIN MAKHLOUF	X=908.8 m Y=337.4 m Z=830 m NGA	54
14-02-04	1949-1979 et 2004 - 2011	TAMLOUKA	X= 899.45m Y= 326.7 m Z=740 m NGA	39

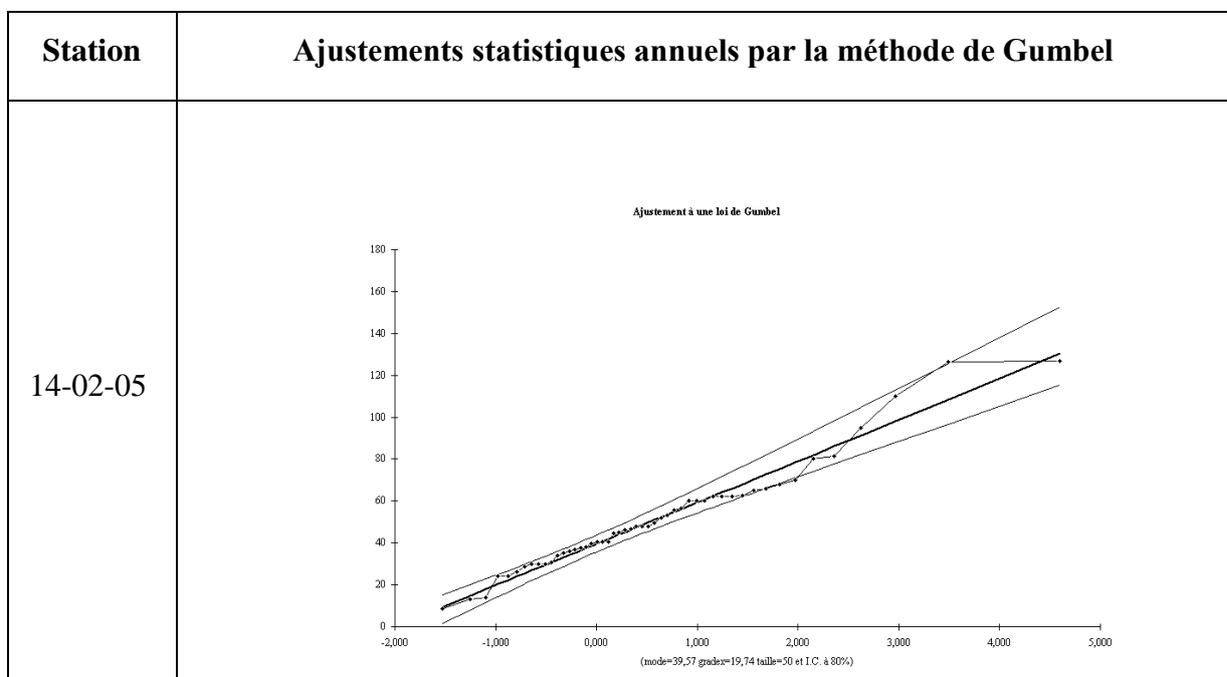
**DIAGNOSTIC ET ETUDE TECHNIQUE DU BARRAGE MEDJEZ B'GAR**

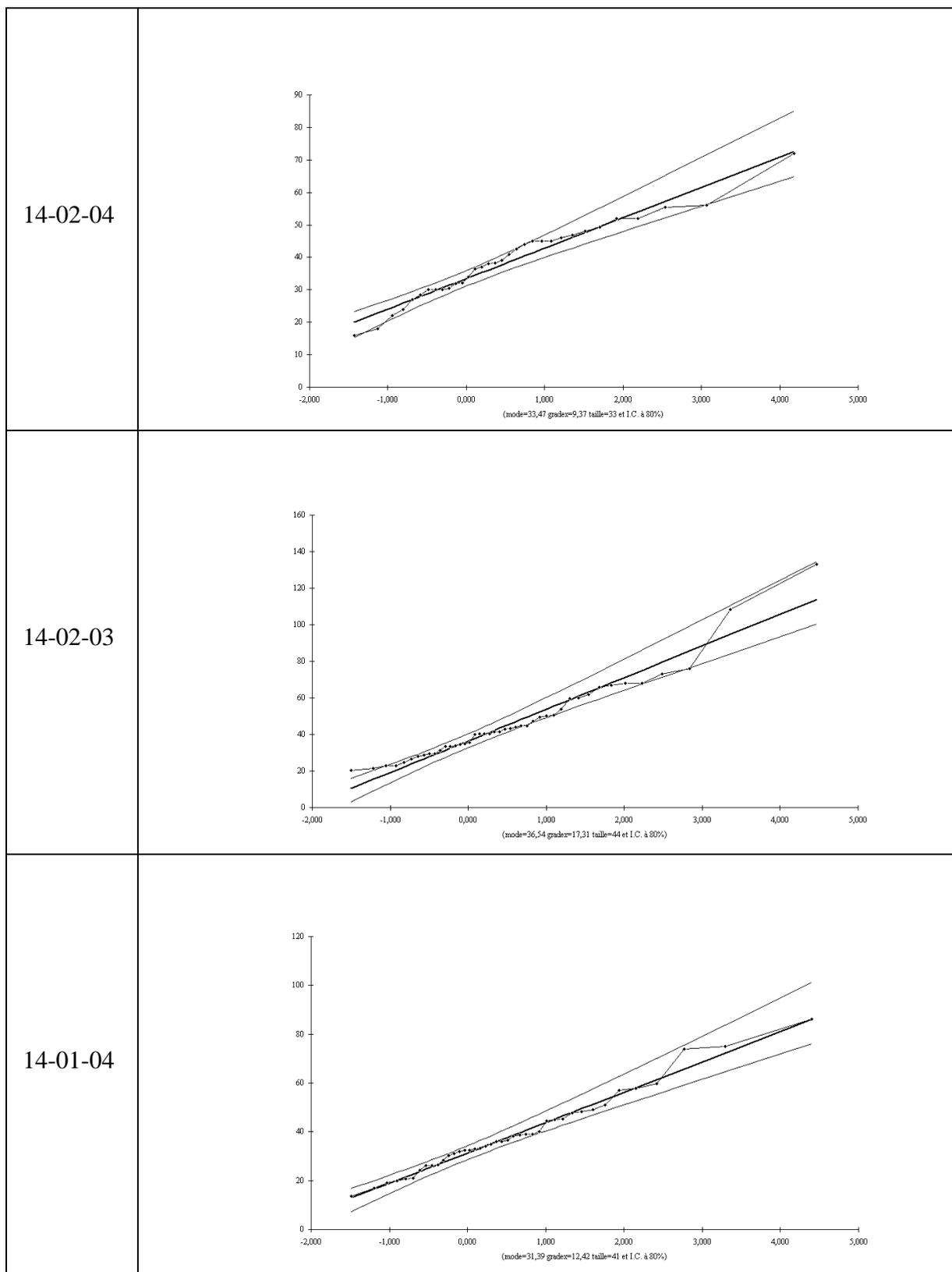
**CHAPITRE III**

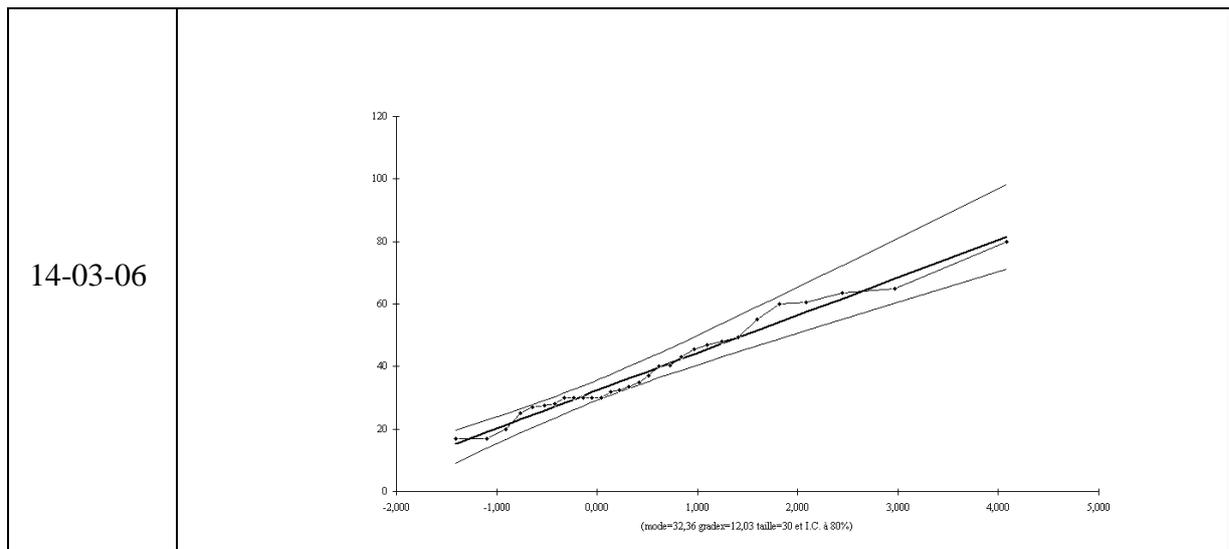
14-02-03	1913- 1954 et 1968 - 1980	ABDI MABROUK	X= 921.95 m Y= 339.8 m Z= 950 m NGA	52
14-01-04	1932 -1951 et 1970 - 1998	KSAR SBAHI	X= 910.5 m Y= 319 m Z= 860 m NGA	41
14-03-06	1913-1914 et 1947 - 1975	OUED ZENATI	X= 901 m Y= 344.5 m Z= 640 m NGA	31

- Analyse des stations pluviométriques**

Les précipitations journalières maximales annuelles situées à proximité du bassin versant du barrage de MEDJEZ B'GAR ont fait l'objet d'un ajustement statistique annuel par la méthode de Gumbel avec un logiciel d'ajustement développé par bureau d'étude ISL.







**Figure III.8 :** Ajustements statistiques annuels par la méthode de Gumbel

Les ajustements de Gumbel des stations pluviométriques pour différents période de retour donnent les précipitations maximales journalières annuelles suivantes :

**Tableau III.8:** Précipitations maximales journalières annuelles

<b>Station</b>	<b>14-02-05</b>	<b>14-02-04</b>	<b>14-02-03</b>	<b>14-01-04</b>	<b>14-03-06</b>
Pluie période de retour 10 ans	77,4	54,5	75,5	59,3	59,4
Pluie période de retour 100 ans	117	76,57	102,1	88,5	87,78

L'objectif de l'ajustement statistique sur les stations voisines est de vérifier qu'il n'existe pas une pluviométrie particulière sur une vallée voisine qui pourrait de manière exceptionnelle impacter le bassin étudié.

Les résultats obtenus sont cohérents avec la carte pluviométrique ANRH réalisée en 1993 :

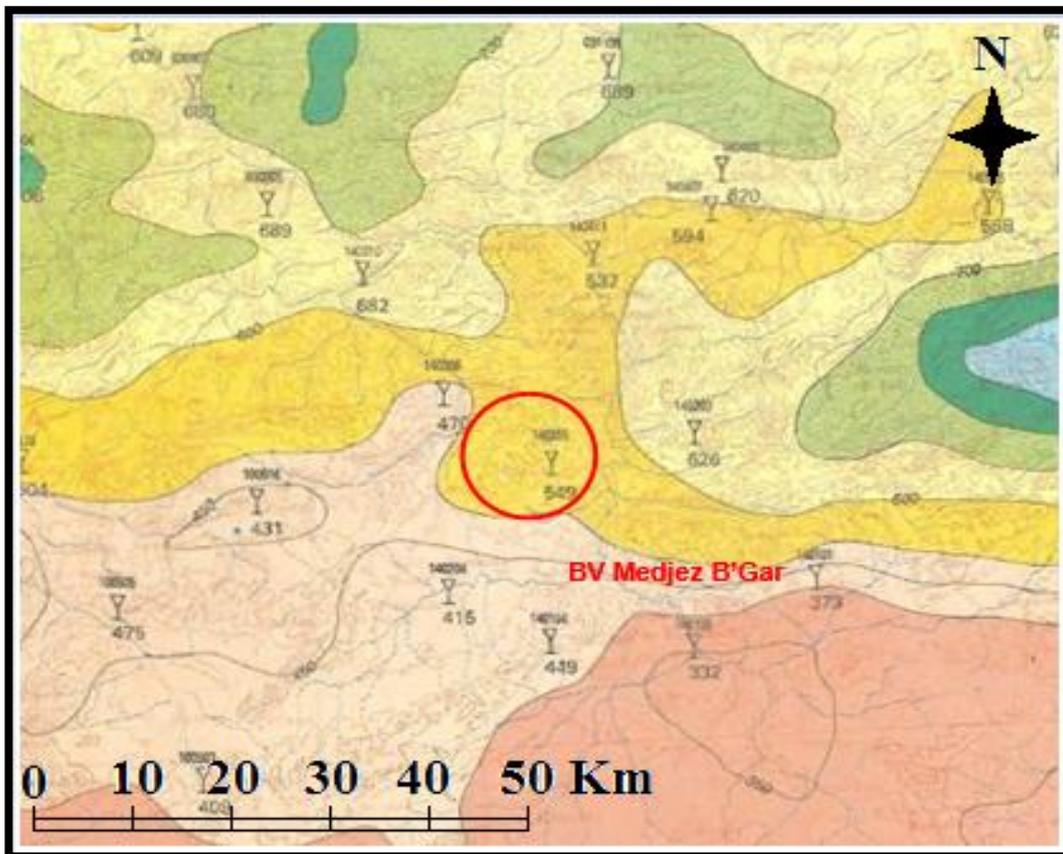


Figure III.9 : Extrait de la carte pluviométrique de l'Algérie – 1993 (A.N.R.H)

- Les pluies caractéristiques du bassin versant du barrage de MEDJEZ B'GAR seront donc issues uniquement de la station 14-02-05, qui semble être bien représentative sur l'ensemble du bassin.

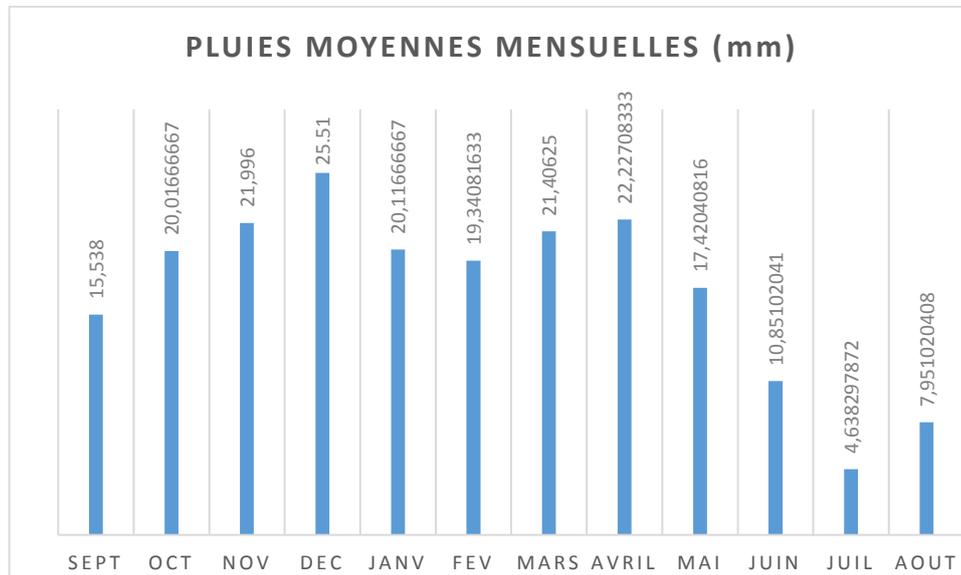
Tableau III.9 Répartition des pluies moyennes mensuelles à plusieurs périodes

Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Total
<b>P<sub>m</sub> (mm)</b>	15.53	20.01	21.99	25.52	20.12	19.34	21.41	22.23	17.42	10.85	4.64	7.95	207.02
<b>Pluie (%)</b>	7.5	9.7	10.6	12.3	9.7	9.3	10.3	10.7	8.4	5.2	2.2	3.8	100

Source : ANRH

Notons une pointe au mois de décembre estimé à 25.515 mm, et un minimum au mois de juillet avec une précipitation de 4.64 mm, et une moyenne mensuelle de 49.99 mm.

La répartition mensuelle des précipitations est présentée dans la figure III.8:



**Figure III.10** : Répartition des pluies moyennes mensuelles

**III.2.3.2 La pluviométrie maximale journalière annuelle**

Sont des pluies souvent génératrices des crues d'importants débits, contre lesquels il faut protéger l'ouvrage.

Le tableau suivant donne la pluviométrie maximale annuelle de la station de AIN MAKHLOUF (14-02-05.)

**Tableau III.10** : pluviométrie maximale annuelle de la station de AIN MAKHLOUF

ANNEE	P <sub>jmax</sub>	ANNEE	P <sub>jmax</sub>
<b>1957</b>	51	<b>1985</b>	24
<b>1958</b>	60	<b>1986</b>	40.5
<b>1959</b>	62	<b>1987</b>	30
<b>1960</b>	44.5	<b>1988</b>	34
<b>1961</b>	40.5	<b>1989</b>	37
<b>1962</b>	48	<b>1990</b>	30
<b>1963</b>	48	<b>1991</b>	48
<b>1964</b>	64	<b>1992</b>	81.5

ANNEE	P <sub>jmax</sub>	ANNEE	P <sub>jmax</sub>
1965	65	1993	66
1966	45	1994	62
1967	60	1995	13.2
1968	49.6	1996	8.6
1969	95	1997	55.5
1970	36	1998	62.5
1971	62	1999	40.5
1972	53	2000	42.336
1973	24	2001	37.046
1974	70	2002	35.166
1975	30	2003	47.359
1976	68	2004	14
1977	46.8	2005	46.1
1978	56.4	2006	80.1
1979	28.6	2007	38.1
1980	37.5	2008	39.5
1981	26	2009	51.9
1982	30.5	2010	126.5
1983	39	2011	127
1984	110		

**Source : ANRH**

**A. Test d'homogénéité**

Pour vérifier l'homogénéité de la série pluviométrique on procède au Test de Wilcoxon (Touaibia, 2004).

On divise la série complète en deux sous séries X et Y tel que:

N1 et N2 représentant respectivement les tailles de ces deux sous séries considérant généralement  $N2 > N1$ .

On constitue par la suite, la série X unions Y après avoir classé la série de pluie d'origine par ordre croissant .A ce stade, on attribue à chaque valeur de la série pluviométrique classée, son rang tout en précisant à quelle sous série s'appartient elle.

La série est homogène avec une probabilité de 95%, si la relation ci-dessous est vérifiée.  
Avec

$$W_{\min} < W_x < W_{\max}$$

**Avec :**  $W_x$ : Somme des rangs de  $X = \sum \text{Rang } X$ .

$$W_{\min} = \frac{(N_1 + N_2 + 1)N_1 - 1}{2} - U_{1-\alpha/2} \sqrt{\frac{N_1 N_2 (N_1 + N_2 + 1)}{12}} \quad (\text{III.12})$$

$$W_{\max} = (N_1 + N_2 + 1)N_1 - W_{\min} \quad (\text{III.13})$$

On applique le test d'homogénéité de Wilcoxon sur la série de AIN MAKHLOUF (14-02-05.) qui est considérée comme la série pluviométrique la plus représentative dans le cadre de notre étude, et ce pour différentes considérations, la série de donnée complète, longue, sans lacunes, fiabilité des mesures et le bon fonctionnement de la station qui est adapté à notre bassin versant

Le détail de calcul est donné en ANNEXE III.

**Tableau III.11 :** Résultat de test de Wilcoxon

Code de station	$N_1$	$N_2$	$W_{\min}$	$W_x$	$W_{\max}$	Observation
14-02-05	31	24	752.01	837	983.99	Homogène

- La condition du test ( $W_{\min} < W_x < W_{\max}$ ) est vérifiée. La série pluviométrique de la zone d'étude est donc homogène.

### **B .Ajustement des pluies maximales journalières**

L'ajustement des pluies maximales journalières sera effectué à l'aide du logiciel "Hyfran".

- *Ajustement comparatif avec "Hyfran"*

On a effectué l'ajustement de la série des pluies maximales journalières à la loi de Gumbel (doublement exponentielle), Galton (log normale) et à l'aide de logiciel Hyfran, avec une comparaison des graphes des droites de régression obtenues par les ajustements.

Les caractéristiques des échantillons, les tests d'adéquation des deux lois sont calculés directement à partir du logiciel.

**1. Ajustement de la série pluviométrique à la loi de Gumbel**

Cette loi a une fonction de répartition qui s'exprime selon la formule suivante :

$$F(x_i) = e^{-e^{\frac{(x-x_0)}{\alpha}}} \quad (\text{III.14})$$

Avec :

$1/\alpha$  : la pente de la droite de GUMEL

x : précipitation maximale journalière (mm)

$x_0$  : paramètre de position (mode)

Y : variable réduite de GUMBEL

On peut écrire :  $y = -\ln(-\ln(F(x)))$

*Avant de procéder à l'ajustement, il faut suivre les étapes suivantes :*

- ✓ Classer les valeurs des précipitations par ordre croissant avec attribution d'un rang 1, 2, 3...n.
- ✓ Calculer, pour chaque valeur de précipitation, la fréquence expérimentale par la formule de HAZEN.

$$F(x) = \frac{m - 0,5}{n} \quad (\text{III.15})$$

m : rang de précipitation.

n : nombre d'observations (51).

- ✓ Calculer la variable réduite de GUMBEL donnée par la formule suivante :

$$y = -\ln(-\ln(F(x)))$$

- ✓ Calculer les paramètres d'ajustement «  $\alpha$  » et «  $x_0$  ».
- ✓ Représenter graphiquement les couples  $(x_i, y_i)$  sur papier GUMBEL.
- ✓ Calcul des paramètres de l'ajustement de la loi de GUMBEL :

La droite de GUMBEL est donnée par la formule :

$$x = (1/\alpha) y + x_0 \quad \text{(III.16)}$$

Avec :

$(1 / \alpha)$  : la pente de la droite de GUMBEL

Les résultats de l'ajustement par la loi de « GUMBEL » sont résumés dans les tableaux III.12 et III.13 suivant :

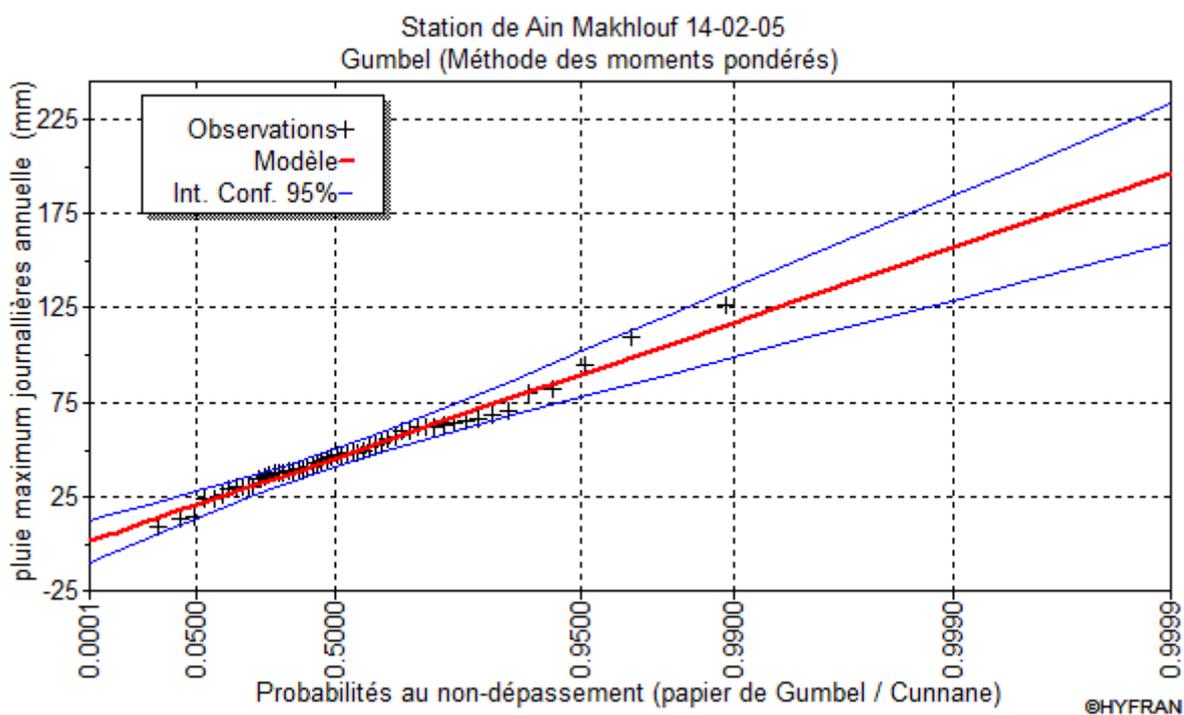
**Tableau III.12 : Paramètres de la loi GUMBEL**

<b>Nombre d'observations</b>	N=50	
<b>Paramètres</b>	U=39.056	Alpha=17.042
<b>Quantiles</b>	q = F(X) probabilité au non-dépassement	T = 1/ (1-q) période de retour

**Tableau III.13 : Résultats de l'ajustement par la loi de GUMBEL**

<b>Période de retour T</b>	<b>Probabilité de fréquence q</b>	<b>XT (mm)</b>	<b>Ecart-type</b>	<b>Intervalle de confiance (95%)</b>
10000.0	0.9999	196	18.9	159-233
3000.0	0.9997	176	16.4	144-208
2000.0	0.9995	169	15.5	138-199
1000.0	0.9990	157	14.1	129-184
200.0	0.9950	129	10.8	108-150

Période de retour T	Probabilité de fréquence q	XT (mm)	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)
100.0	0.9900	117	9.38	99.1-136
50.0	0.9800	106	7.97	89.9-121
20.0	0.9500	89.7	6.14	77.6-102
10.0	0.9000	77.4	4.78	68.0-86.8
5.0	0.8000	64.6	3.51	57.7-71.5
3.0	0.6667	54.4	2.73	49.1-59.8
2.0	0.5000	45.3	2.39	40.6-50.0



**Figure III.11:** Ajustement à la loi de Gumbel (méthode des moments pondérés).

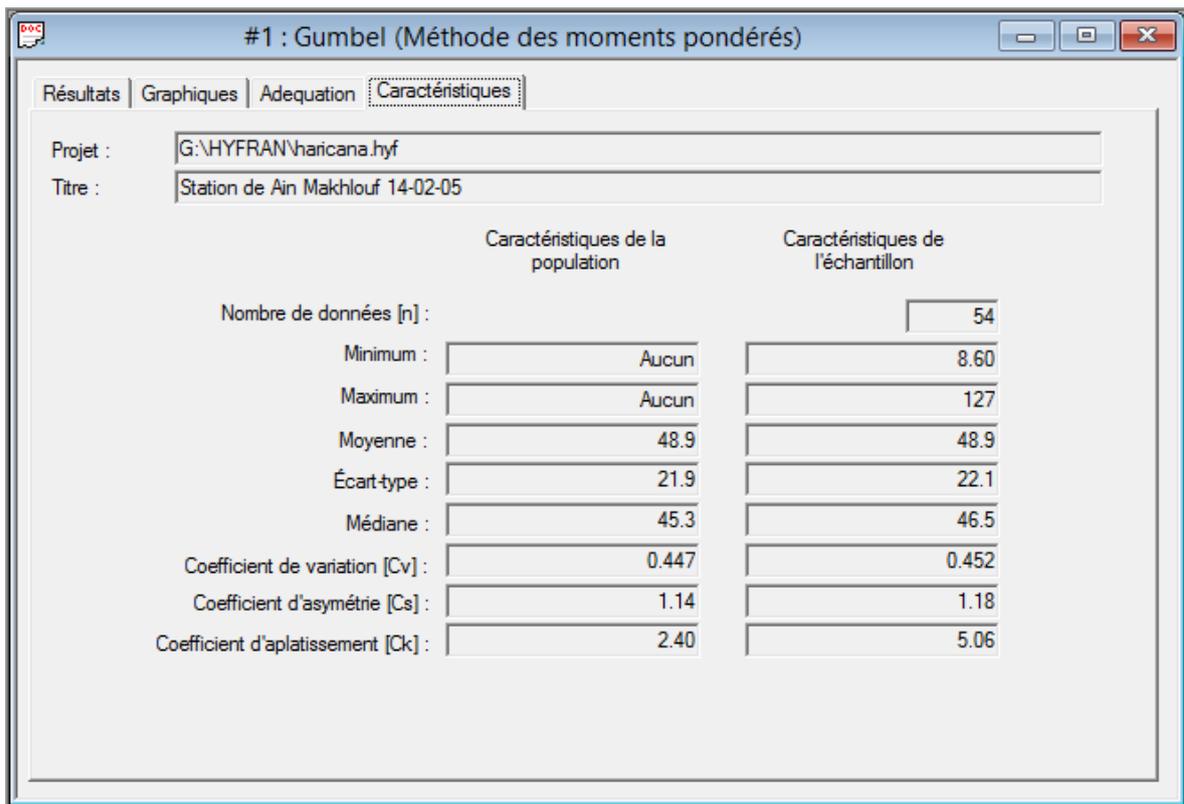


Figure III.12 : caractéristiques de l'échantillon

## 2. Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GALTON (log-normale) :

Le procédé d'ajustement est identique à celui établi pour la loi de Gumbel, seul la représentation graphique change ou elle est faite sur papier log-normale, comme le montre la figure (III.11).

La loi de GALTON a une fonction de répartition qui s'exprime selon la formule suivante :

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_u^{+\infty} e^{-\frac{1}{2}u^2} du \quad (\text{III.17})$$

D'où :  $u = \frac{\ln X - \overline{\ln X}}{\sigma_{\ln X}}$

u : variable réduite.

L'équation de la droite de GALTON est la suivante :

$$\log X_{p\%} = \log X + \sigma \log u_{p\%}$$

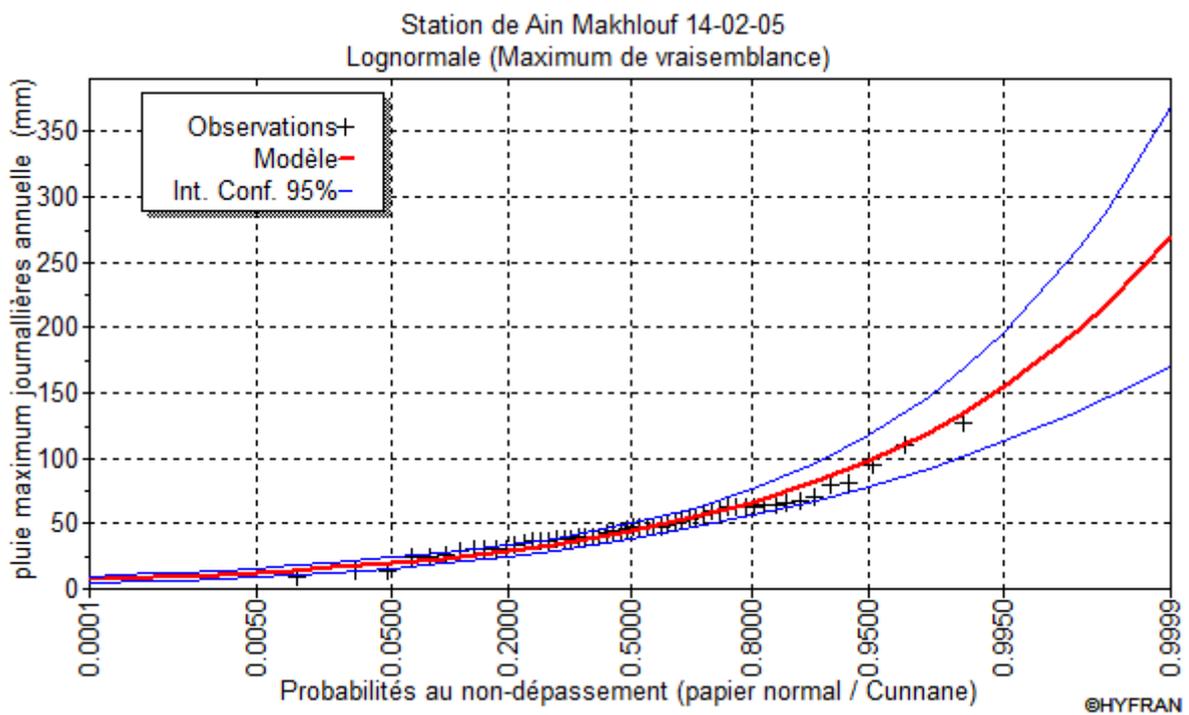
$$\text{Log } x = \frac{\sum_{i=1}^{38} \text{Log } x_i}{N} \quad (\text{III.18})$$

Les résultats de l'ajustement par la loi de Log- Normale « Galton » sont résumés dans le tableau III.14 :

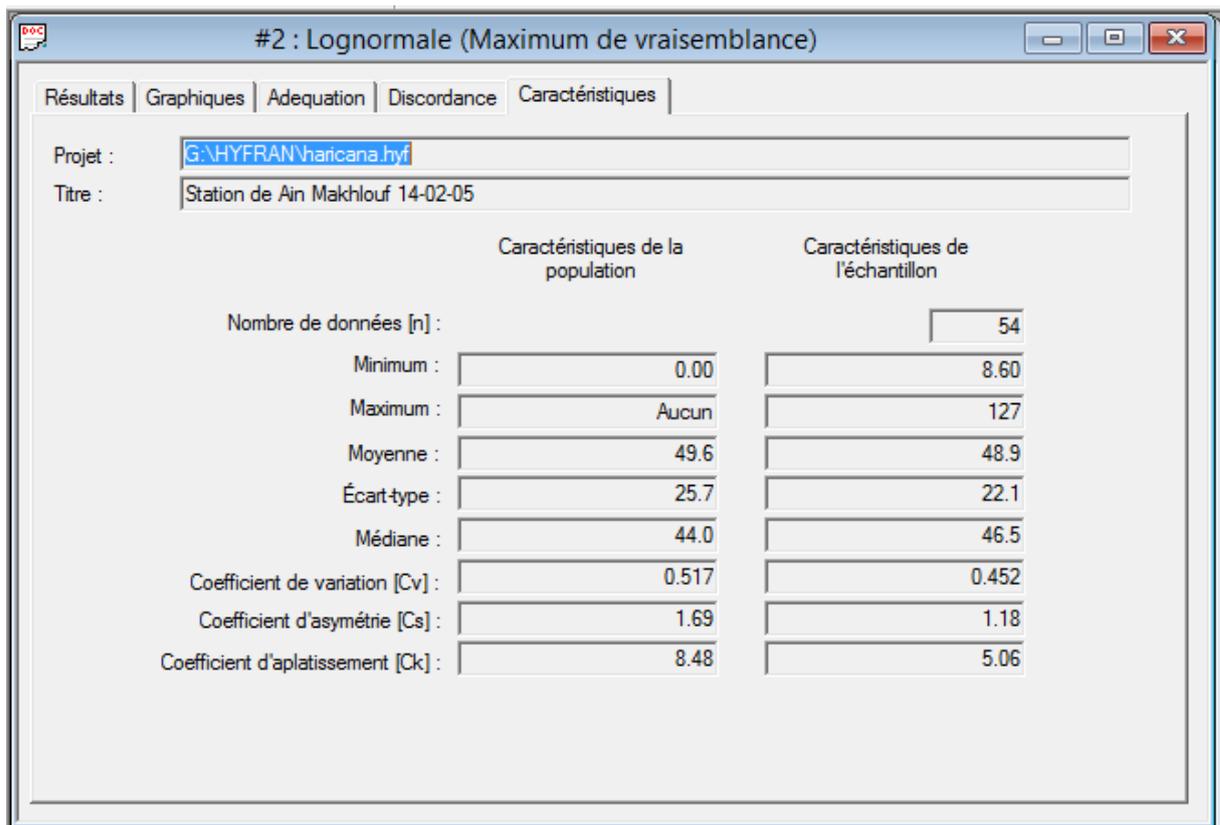
**Tableau III.14 : Résultats de l'ajustement par la loi LOG NORMALE**

Période de retour T	Probabilité de fréquence q	XT (mm)	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)
10000.0	0.9999	270	50.7	170-369
30000	0.9997	235	41.3	154-316
2000.0	0.9995	219	37.0	146-291
1000.0	0.9990	198	31.9	136-261
200.0	0.9950	154	21.4	112-196
100.0	0.9900	137	17.6	102-171
50.0	0.9800	120	14.1	92.2-147
20.0	0.9500	98.2	10.0	78.5-118
10.0	0.9000	82.2	7.39	67.7-96.7

Période de retour T	Probabilité de fréquence q	XT (mm)	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)
5.0	0.8000	66.4	5.13	56.3-76.4
3.0	0.6667	54.3	3.77	46.9-61.7
2.0	0.5000	44.0	2.92	38.3-49.8



**Figure III.13** : Ajustement à la loi log normale (maximum des vraisemblances)



**Figure III.14 : caractéristiques de l'échantillon**

### 3. Test de validité de l'ajustement (Test de Khi carrée)

On détermine le  $\chi^2$  calculé et le nombre de degré de liberté  $\gamma$  à l'aide du logiciel HYFRAN et sont donnés ci dessous :

- On détermine  $\chi^2$  théorique sur la table de khi 2 (voir tableau dans L'ANNEXE III)

Avec :  $\chi^2$  théorique =  $g(\gamma, \alpha)$

La loi est adéquate pour une erreur  $\alpha = 0.05$  si et seulement si :  $\chi^2$  calculé  $<$   $\chi^2$  théorique.

Les résultats du test pour les deux lois d'après le logiciel HYFRAN sont donnés dans le tableau suivant :

CHAPITRE III

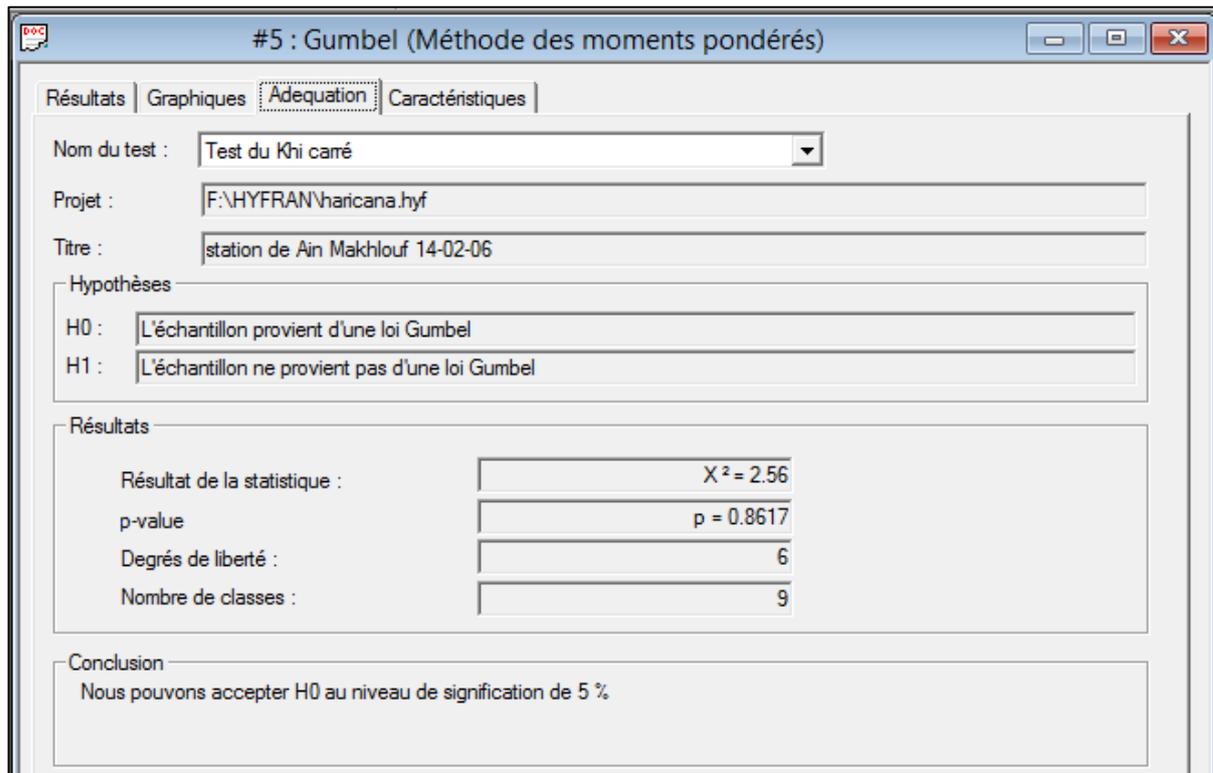


Figure III.15 : Résultat du test de khi carré pour l'ajustement à la loi Gumbel

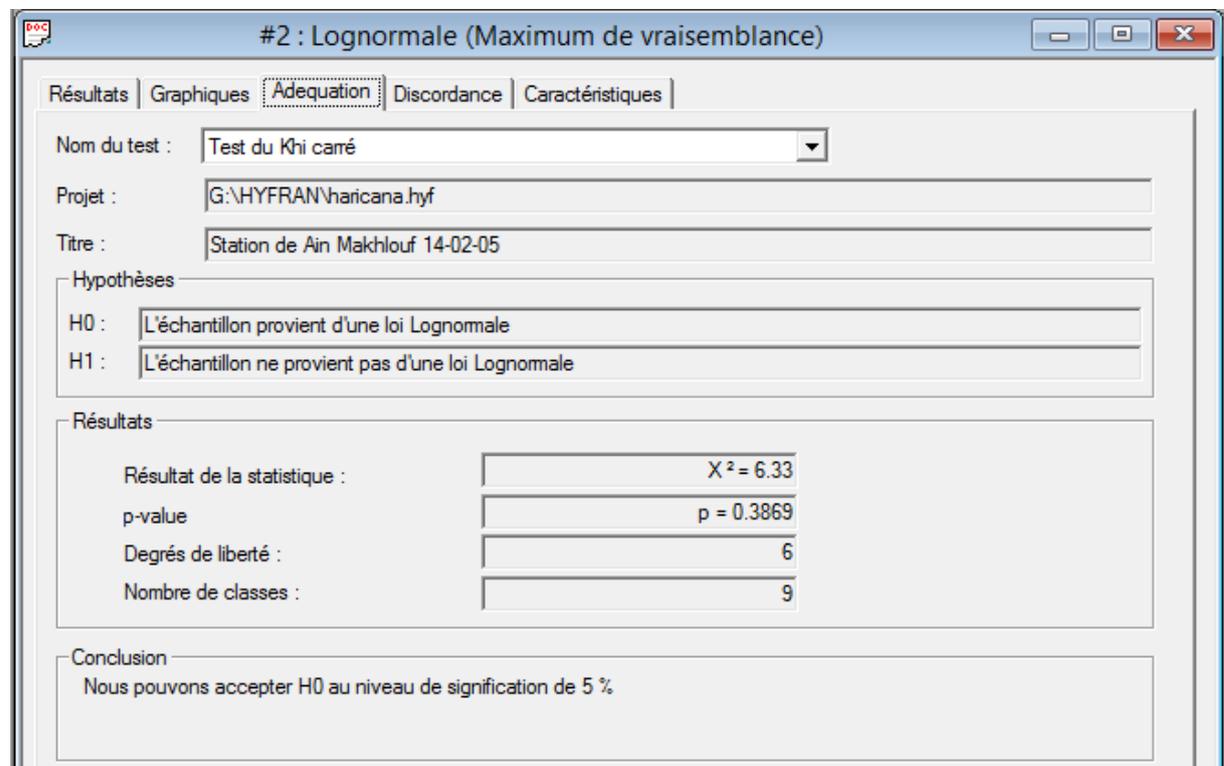


Figure III.16 : Résultat du test de khi carré pour l'ajustement à la loi Log Normal

Tableau III.15 : comparaison des résultats du test de Khi deux pour les deux lois

Distribution statistique	Nombre de classe	degrés de liberté	Khi <sup>2</sup> calculé
GUMBEL	9	6	2.56
LOG NORMALE	9	6	6.33

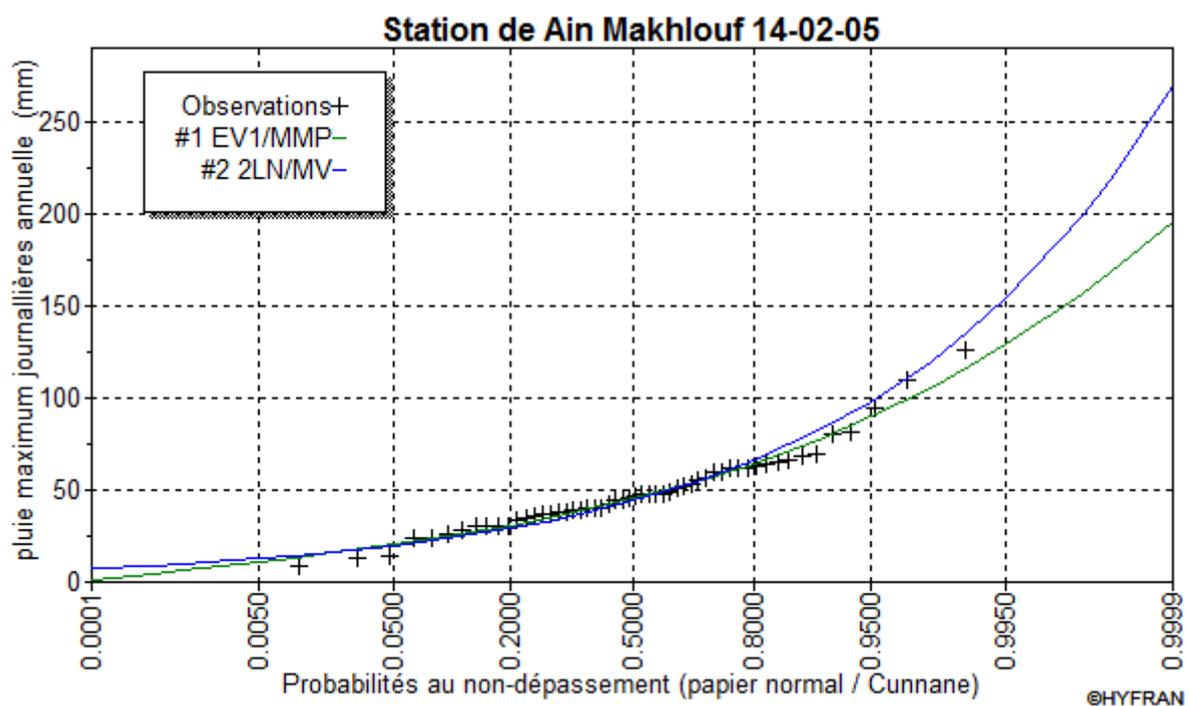


Figure III.17: Comparaison entre les deux graphiques d'ajustement

- Les chroniques de pluies journalières maximales annuelles ont fait l'objet d'un ajustement statistique par la loi log-normale et la loi de Gumbel et le test du  $\chi^2$ . Les résultats obtenus de la comparaison entre les deux lois, on remarque une meilleur ajustement des points par rapport à la droite de Gumbel et d'après les résultats analytiques du  $\chi^2$  et de la loi de Gumbel (plus faible que celui de l'ajustement à la loi Log-normale donc l'écart entre les valeurs observées des pluies maximales et les valeurs théoriques de la loi est plus réduit.

**4. Pluies de courtes durées de différentes fréquences et leurs intensités :**

Les pluies de courte durée ont été calculées sur la base des données relatives aux pluies journalières maximales en utilisant la loi régionale intensité durée fréquence, qui s'exprime par la relation :

$$P_{cr} = P_{jmax} \left( \frac{t}{24} \right)^b \text{(III.19)}$$

$P_{cr}$  : Pluie de courte durée de même fréquence que  $P_{max j}$  % (mm).

$P_{max, j}$  : Pluie maximale journalière pour une fréquence donnée (mm).

T: Temps en heures.

b : Exposant climatique (donnée)

- Cet exposant climatique dépend de la position géographique, on prendra pour notre site  $b=0,42$  (Donnée ANRH)

$$I_0 = \left( \frac{P_{max}}{24} \right) \times \left( \frac{t}{24} \right)^{b-1} \text{(III.20)}$$

$I_0$ : Intensité de pluie(mm/h)

**Tableau III.16 : Précipitations maximales journalières pour chaque fréquence**

<b>Période</b>	10000	3000	1000	100	50	20	10	5
<b>Fréquence (%)</b>	0,01	0.03	0,1	1	2	5	10	20
<b><math>P_{max j p(\%)}</math></b>	102.61	92.14	82.19	61.25	55.49	46.96	40.52	33.82

Les valeurs des pluies de courtes durées (inférieur à 24 heures) sur le bassin versant d'Oued MEDJEZ B'GAR sont présentées dans l'annexe I.

Tableau III.17 : Pluies fréquentielles en mm de durée (tc)

Période de retour (ans)	Valeurs (mm)
5	35.55
10	44.39
20	53.40
50	65.44
100	75.38
1000	237.05
3000	207.56
10000	375.47

### III.3.3 ETUDE DES CRUES

Les crues sont des écoulements variables dans lesquelles les débits atteignent des valeurs importantes. Attention la police d'écriture doit être homogène dans tout le mémoire.

Écoulement d'un cours d'eau, elles dépendent essentiellement de l'abondance et de l'intensité de la pluie, de plus le rôle physique du bassin versant. De ce fait, l'évolution de la crue obéit principalement à la puissance et l'intensité de l'averse, sa vitesse et largement influencée par le couvert végétal, la lithologie, les paramètres morpho métriques du bassin, par la pente des thalwegs, la forme du lit, la largeur de la vallée (Touibia, 2004).

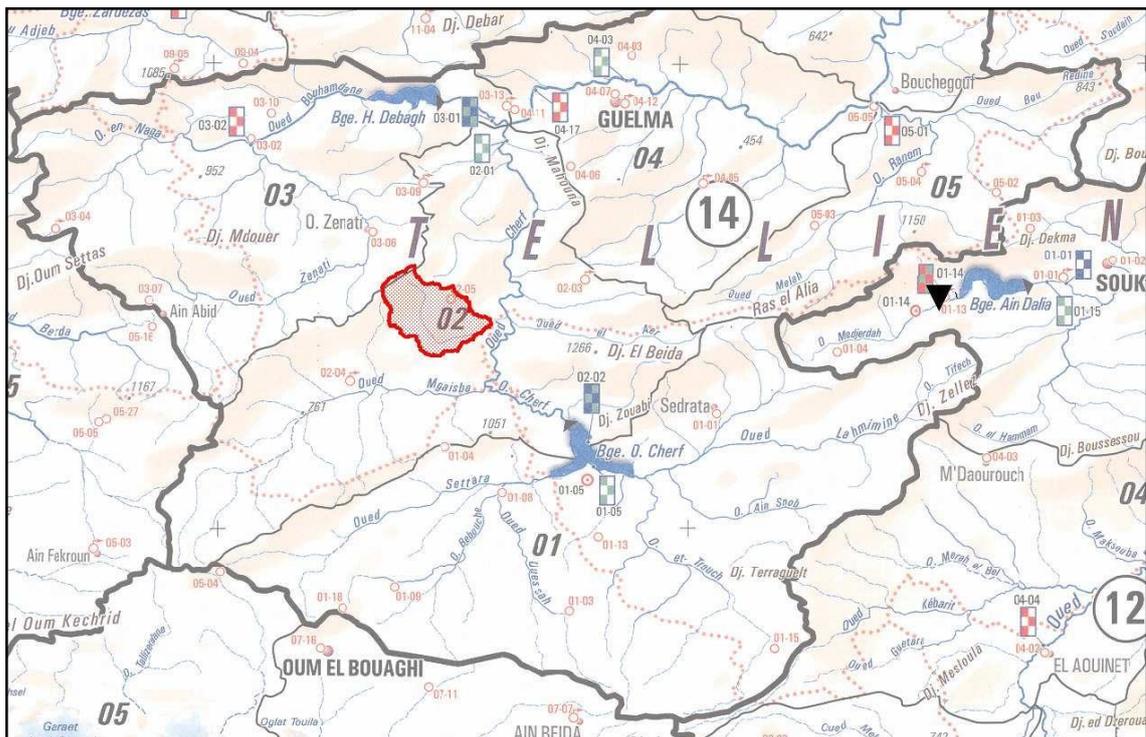
Les paramètres définissant une crue sont :

- 1- Le débit maximum de la crue (débit de pointe).
- 2- Le volume de la crue.
- 3- La forme de la crue (Hydrogramme de crues).
- 4- Le temps de base.

#### III.2.3.1 DETERMINATION DES DEBITS MAXIMAUX FREQUENTIELS

- *Données disponibles*

Aucune station hydrométrique n'est présente dans la zone d'étude. L'étude des crues doit donc se baser sur une station hydrométrique proche ayant des caractéristiques similaires.



**Figure III.18 :** Localisation des stations AIN hydrométriques (fond : carte du réseau hydroclimatique et de la surveillance de la qualité des eaux ANRH 2005 – Coordonnées des stations données par l’ANRH)

La station d’Ain Dalia 12-01-14 est retenue. Ces caractéristiques sont les suivantes:

**Tableau III.18 :** Caractéristiques de la station d’Ain Dalia

Code station	Altitude	Données disponibles
12-01-14	690 m	1989 à 2011 (17 ans)

Compte tenu de la qualité des données, seule une dizaine d’années de mesures peuvent être exploitées.

- ✓ Alors en manque des données pour les débits maximums, afin de déterminer des débits de pointe, nous allons procéder à l’utilisation des formules empiriques puis l’application de la méthode De GRADEX

**A. Formule de Maillet et Gauthier**

$$Q_{\max,p\%} = 2 \times K \times \log(1 + A \times P) \frac{S}{\sqrt{L}} \sqrt{1 + 4 \log T - \log S} \quad \text{(III.21)}$$

Avec :

T : Période de retour en année,

K et A : Coefficients topographiques 1 et 20,

S : Superficie du bassin versant en Km<sup>2</sup>;

L : Longueur du thalweg principale en Km;

P : Précipitations moyennes annuelles en mm

**Tableau III.19:** Débit maximum de crue pour différents périodes de retour (Formule de MALLET-GAUTHIER)

<b>T (années)</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>1000</b>	<b>3000</b>	<b>10000</b>
<b>Q (m3/s)</b>	260.67	329.68	386.56	450.87	493.99	615.93	666.29	717.43

**B. Formule de SOKOLOVSKY**

Selon cet auteur, la crue est considérée comme un débit max généré par une averse (une pluie) de courte durée correspondant au temps de concentration. Le temps de montée de la crue est donc pris égal au temps de concentration.

$$Q_{max, \%} = \frac{0.28(P_{tc} - H_0)\alpha.F.S}{T_c} \quad \text{(III.22)}$$

Avec :

$P_{tc}$  : Précipitation de probabilité P% correspondant au temps de concentration (mm).

S : Superficie du bassin (Km<sup>2</sup>).

Tc: Temps de concentration (heures).

$H_0$  : Perte d'eau initiale, au Nord algérien  $H_0 = 7 \text{ mm}$ .

F : Coefficient de forme de la crue .

$$\left[ F = \frac{12}{4 + 3\gamma} \right] \quad \text{(III.23)}$$

**Tableau III.20:** valeur de  $\gamma$  en fonction de bassin versant.

Condition	$\gamma$
Surface du B.V compris entre 1 et 50 km <sup>2</sup>	$\gamma = 2$
Pour un bassin boisé avec un sol peut perméable	$2 \leq \gamma \leq 2.5$
Pour un bassin boisé	$3 \leq \gamma \leq 4.$

- On prend  $\gamma=2,25$  ; d'où :  $F= 1.12$ .

$\alpha$  : Coefficient de ruissellement de la crue pour une période donnée.

$$\alpha_p = \frac{\sqrt{X_p} - \sqrt{H_0}}{\sqrt{X_p} + \sqrt{H_0}} \quad \text{(III.24)}$$

Avec :

$X_p$  : précipitation de fréquence donnée qui correspond au temps de concentration.

$H_0$  : perte d'eau initiale.

**Tableau III.21:** Débit maximum de crue pour différents périodes de retour (Formule De SOKOLOVSKY)

<b>T</b>	5	10	20	50	100	1000	3000	10000
<b><math>\alpha</math> %</b>	0.57	0.37	0.41	0.44	0.48	0.49	0.55	0.59
<b>Q (m<sup>3</sup>/s)</b>	56.78	46.82	61.5	80.07	96.24	138.68	174	208.82

**C. Formule de POSSENTI**

$$Q_{max, p\%} = \frac{\mu \cdot P_{max, p\%} \cdot S}{L} \quad \text{(III.25)}$$

Avec :

$P_{max, \%}$  : Pluie maximale journalière correspondante à la période de retour donnée (m).

S : Superficie du bassin versant (km<sup>2</sup>).

: Coefficient  $700 < \mu < 800$ , on prend  $\mu=750$ .

L : Longueur du cours d'eau principal (Km).

**Tableau III.22:** Débit maximum de crue pour différents périodes de retour (Formule de POSSENTI)

<b>T (années)</b>	5	10	20	50	100	1000	3000	10000
<b>Q (m<sup>3</sup>/s)</b>	97.20	116.45	134.96	159.47	176.03	236.21	264.80	294.89

**D. Formule de TURAZZA**

$$Q_{max, p\%} = \frac{C \cdot I_{tc} \cdot S}{3.6} \quad \text{(III.26)}$$

**CHAPITRE III**

Avec :

S : Superficie du bassin versant (Km<sup>2</sup>).

C : Coefficient de ruissellement en fonction de la période de retour donnée.

I<sub>ct</sub> : Intensité des pluies pour une fréquence donnée correspondant au temps de concentration (mm/h).

**Tableau III.23:** Coefficient de ruissellement en fonction de la période de retour donnée

Fréquence (%)	20	10	5	2	1	0.1
C	0.50	0.55	0,60	0,65	0,70	0,80

**Tableau III.24:** Débit maximum de crue pour différents périodes de retour (Formule de TURAZZA)

T (années)	5	10	20	50	100	1000	3000	10000
Q (m3/s)	57.78	76.15	96.27	123.25	146.50	72.55	90.48	91.42

**E. Formule de GIANDOTTI**

$$Q_{max, \%} = \frac{C.S.htc.p\% \sqrt{hmoy - hmin}}{4\sqrt{S+1.5L}} \quad (III.27)$$

Avec :

S : Superficie du bassin versant (Km<sup>2</sup>).

L : Longueur du talweg principal (Km).

hmoy: Altitude moyenne (m).

hmin: Altitude minimale (m).

htc,% : Lame d'eau précipitée pour une probabilité donnée et d'une durée égale au temps de concentration des eaux (m).

C : Coefficient topographique variant entre 66 et 176. On prend C=121.

**Tableau III.25:** Débit maximum de crue pour différents périodes de retour (Formule de GIANDOTTI)

T (années)	5	10	20	50	100	1000	3000	10000
Q (m3/s)	61.69	73.91	85.65	101.21	111.72	149.91	168.06	187.16

Les résultats de calcul de toutes les formules sont représentés dans le tableau :

**Tableau III.26 : Récapitulatif des débits maxima de crue**

<b>Période de retour (ans)</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>1000</b>	<b>3000</b>	<b>10000</b>
<b>Formule de MALLET-GAUTHIER</b>	260.67	329.68	386.56	450.87	493.99	615.93	666.29	717.43
<b>Formule de SOKOLOVSKY</b>	56.78	46.82	61.5	80.07	96.24	138.68	174	208.82
<b>Formule de POSSENTI</b>	97.20	116.45	134.96	159.47	176.03	236.21	264.80	294.89
<b>Formule de GIANDOTTI</b>	61.69	73.91	85.65	101.21	111.72	149.91	168.06	187.16
<b>Moyenne (m<sup>3</sup>/s)</b>	106.824	128.602	152.988	182.974	204.896	242.656	272.726	299.944

### **III.2.3.2. METHODE GRADEX**

- **Généralités**

La méthode du GRADEX, développée par EDF-France pour la sécurité des grands barrages, est couramment utilisée pour l'estimation des débits de fréquence rare et exceptionnelle. La méthode utilise l'information pluviométrique pour extrapoler la distribution des fréquences de débits. Cette méthode a été utilisée sur de nombreux bassins versants de superficie variant de quelques km<sup>2</sup> à quelques milliers de km<sup>2</sup> (MEDDI & BELHADJ, 2010).

La méthode de GRADEX est une méthode de détermination statistique des crues. Elle fournit une estimation des crues de probabilité donnée. Elle consiste à calculer le ruissellement à partir de la pluie de même période de retour.

Pour appliquer la méthode de GRADEX, il est nécessaire d'évaluer préalablement la crue de période de retour 10 ans du bassin versant (hypothèse du pivot pour une période de retour de 10 ans sécuritaire).

La méthode du GRADEX repose sur trois hypothèses :

#### ***Hypothèses de la méthode***

Cette méthode s'appuie sur les hypothèses suivantes:

1. *les débits maximums recherchés sont provoqués uniquement par des pluies maximales, uniformément réparties sur le bassin. Il n'y a donc pas diverses origines de formation des crues.*
2. *les pluies maximales et les débits correspondants suivent une même loi de distribution statistique, dite des extrême en raison de la nature du phénomène étudié (crues rares). Ceci exprime surtout le fait que le comportement asymptotique des lois de distribution des pluies et des débits est identique. La loi de Gumbel (Gumbel, 1958) est souvent utilisée dans ce but et dans ce cas uniquement, le caractère exponentiel de cette distribution est décrit par la pente de la droite d'ajustement des pluies observées, mesurées sur un diagramme de probabilité adéquat. La pente de cette droite est le gradient de cette distribution exponentielle.*
3. *On admet que la rétention moyenne du bassin versant atteint sa valeur maximale pour une crue décennale  $Q_{10 \text{ ans}}$ .*

**Remarque :**

Ces trois hypothèses sont vérifiées, si on n'a pas d'enregistrements des crues dans le bassin étudié, alors on estime par analogie avec d'autre bassin voisins et de même grandeur le temps de base et le débit décennal.

- ***Etapas de la méthode***
- ✓ Choisir le pas de temps **n heures** (généralement égale à la moyenne des temps de base des hydrogrammes de crues disponibles, Pour la commodité des calculs on retiendra une valeur très arrondie, par exemple 2, 4, 6 ... 48 heures.). Le résultat final, débits de pointe, dépendent peu de h : il suffit de ne pas commettre d'erreur d'ordre de grandeur sur h)
- ✓ Ajuster par la loi de Gumbel des pluies maximales journalières.  
Calculer le GRADEX des précipitations a (pente de la droite de Gumbel).

$$P(\text{mm}) = a \cdot \mu + b \quad (\text{III.28})$$

( $\mu$  : variable réduite de Gumbel).

- ✓ Ajuster de la série des débits observés à la loi de Gumbel et déterminer débit décennal (point pivot de l'extrapolation des débits).

**CHAPITRE III**

Exprimer le débit décennal en lame d'eau équivalente par la formule :

$$R \text{ (mm)} = Q \text{ (m}^3\text{/s)} * 3,6 * n \text{ (heures)} / S \text{ (km}^2\text{)} \quad \text{(III.29)}$$

- ✓ Extrapoler de la distribution des débits au-delà de 0.9 (T=10 ans) par une droite de pente égale au gradex de la pluie.

$$Q_{\mu\%} = a * \mu + b' \quad \text{(III.30)}$$

Avec :

a : le gradex de la pluie

$\mu$  : variable réduite de Gumbel ( $\mu = -\ln(-\ln(F))$ ).

$$b' = Q_{10 \text{ ans}} - a * \mu(T=10 \text{ ans}).$$

Tracer la droite de l'équation (III.30) sur même graphe que l'ajustement des Pjmax.

Tirer les Q pour chaque période de retour (en mm).

Exprimer ces Q en m<sup>3</sup>/s par la formule :

$$Q \text{ (m}^3\text{/s)} = Q \text{ (mm)} * S \text{ (km}^2\text{)} / 3,6 * n \text{ (heures)} \quad \text{(III.31)}$$

- ✓ Calcul des débits de pointe : Calculer sur les hydrogrammes des crues observées le rapport p égal au rapport débit de pointe sur débit moyen :

$$P : \text{coefficient de point} = Q_{\text{max}} / Q_{\text{moy}}$$

$$Q_p \text{ (m}^3\text{/s)} = Q \text{ (m}^3\text{/s)} * P \quad \text{(III.32)}$$

• **Données et application**

1. Ajustement de la série pluviométrique (Pjmax) de la station d'AIN MAKHLOUF

14-02-05 à la loi de Gumbel : En utilisant le logiciel HYFRAN :

**Tableau III.27:** paramètres de la loi GUMBEL

<b>Nombre d'observations</b>	N=54	
<b>Paramètres</b>	U=39.056	Alpha=17.042
<b>Quantiles</b>	q = F(X) probabilité au non-dépassement	T = 1/ (1-q) période de retour

**Tableau III.28 : Résultats de l'ajustement par la loi de GUMBEL**

<b>Période de retour T</b>	<b>Probabilité de fréquence q</b>	<b>XT (mm)</b>	<b>Ecart-type</b>	<b>Intervalle de confiance (95%)</b>
10000.0	0.9999	196	18.9	159-233
3000.0	0.9997	176	16.4	144-208
2000.0	0.9995	169	15.5	138-199
1000.0	0.9990	157	14.1	129-184
200.0	0.9950	129	10.8	108-150
100.0	0.9900	117	9.38	99.1-136
50.0	0.9800	106	7.97	89.9-121
20.0	0.9500	89.7	6.14	77.6-102
10.0	0.9000	77.4	4.78	68.0-86.8
5.0	0.8000	64.6	3.51	57.7-71.5
3.0	0.6667	54.4	2.73	49.1-59.8
2.0	0.5000	45.3	2.39	40.6-50.0

1. Détermination du gradex : l'équation de la droite de Gumbel est :

$$P = 17.02 * \mu + 40 \text{ (III.33)}$$

Le Gradex est donc : **a=17.02 mm**

2. Choix du pas de temps :

Dans le cas présent, la durée de base est prise égale à 24 h. **n=24 heures.**

3. L'ajustement de la série des débits de la station AIN DALIA à la loi de Gumbel nous a donné :

$$Q_{10 \text{ ans}} (\text{AinDaliaazefoune}) = 98.4 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{10 \text{ ans}} (\text{MEDJEZ B'GAR}) = Q_{10 \text{ ans}} (\text{Ain Dalia}) * \text{SMEDJEZ B'GAR} / S_{\text{ bassin de aindalia}}$$

$$= 58.3 * (61.31 / 111)$$

$$= \mathbf{32.20 \text{ m}^3/\text{s}}$$

$$R_{10 \text{ ans}} (\text{mm}) = Q_{10 \text{ ans}} (\text{m}^3/\text{s}) * 3,6 * n (\text{heures}) / S (\text{km}^2) \quad \text{(III.34)}$$

$$= 32.20 * 3,6 * 24 / 61.31$$

$$= 45.38 \text{ mm}$$

4. On fait l'extrapolation des débits au-delà du débit décennal :

$$Q_{\mu\%} = a \cdot \mu + b' \tag{III.35}$$

a : le gradex = 17.02mm.

$\mu$  : variable réduite de Gumbel ( $\mu = -\ln(-\ln(F))$ ).

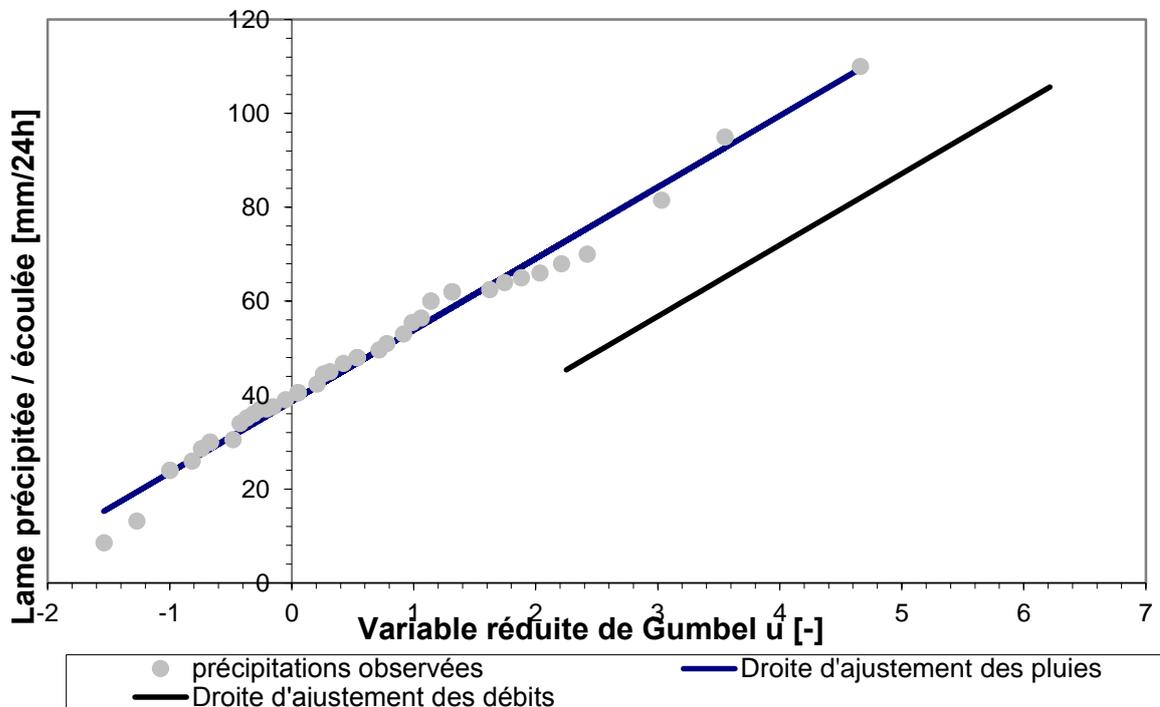


Figure III.19 : Graphe de la méthode de GRADEX

$$b' = Q_{10 \text{ ans}} - a \cdot \mu(T=10 \text{ ans}) \quad \text{avec } F=1-1/10=0,9 \rightarrow \mu = 2,25$$

$$= 45.38 - 17.02 * 2.25 = 7.085$$

Donc : l'équation du débit est :

$$Q_{\text{extrapolé}} (\text{mm}) = 17.02 * \mu + 7.085 \tag{III.36}$$

5. On trace cette équation sur même graphe que celui de l'ajustement des  $P_{jmax}$ , Pour chaque période de retour, on tire le débit en (mm) et on les exprime en ( $m^3/s$ ) en utilisant la formule III.33.

6. Calcul des débits de pointe :

L'analyse des enregistrements des débits de la station hydrométrique de Izeffoune nous a permis d'estimer le coefficient de pointe suivant :

$$P = Q_{max} / Q_{moy} = 3.37$$

Donc on multiplie tous les débits extrapolés par le coefficient P pour obtenir les débits maximums pour chaque période de retour.

Les résultats sont regroupés dans le tableau suivant :

**Tableau III.29:** Débits de pointe par la méthode de GRADEX

<b>T</b> <b>[ans]</b>	<b>F(x)</b> <b>[-]</b>	<b>U</b> <b>[-]</b>	<b>Q<sub>T</sub></b> <b>[mm/24h]</b>	<b>Q<sub>T</sub></b> <b>[m<sup>3</sup>/s]</b>	<b>Q<sub>P</sub></b> <b>[m<sup>3</sup>/s]</b>
10	0,900	2,25	45.4	32	109
20	0.950	2.97	56.3	40	135
50	0,980	3,90	70.5	50	169
100	0,990	4,60	81.8	58	194
1000	0,999	6,91	116.1	82	278
3000	0.9999	9.21	151.1	107	361
10000	0,99996	11.51	186.1	132	445

❖ **Interprétation :**

- ✓ La méthode de GRADEX subit une faible variation de débits entre les différentes périodes de retour, et cela est dû à l'hypothèse de la méthode qui est applicable pour des grandes périodes de retour (1000 et 10 000 ans) ainsi que la faible pente de la droite de Gumbel de l'ajustement des précipitations.
- ✓ On remarque une grande différence entre les valeurs obtenues par les formules empiriques.
- ✓ Les débits calculés par la méthode de GRADEX (pour les grandes périodes de retour surtout) sont plus proches à la moyenne des débits calculés par les

formules empiriques, donc nous optons les valeurs obtenues par la méthode du GRADEX qui semble plus représentative.

**Tableau III.30 :** Les valeurs des débits de pointe optées

<b>Période de retour</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>1000</b>	<b>3000</b>	<b>10000</b>
<b>Méthode de GRADEX (m<sup>3</sup>/s)</b>	109	135	169	194	278	361	445

**Tableau III.31 :** Comparaison des crues de projet et de l'hydrologie révisée.

<b>Période de retour</b>	<b>Valeurs de projet -1986</b>		<b>Hydrologie révisée</b>	
	<b>Débit de pointe m<sup>3</sup>/s</b>	<b>Volume Mm<sup>3</sup></b>	<b>Débit de pointe m<sup>3</sup>/s</b>	<b>Volume Mm<sup>3</sup></b>
10	82	5027.42	109	6682.79
50	-	-	169	10361.39
100	153	9380.43	194	11894.14
1000	232	14223.92	278	17044.18
3000	-	-	361	22132.91
10000	-	-	445	27282.95

❖ **Interprétation :**

D'après le tableau III.27 on remarque que les débits de pointe de l'hydrologie révisée sont beaucoup plus grande que celle de l'étude de faisabilité de 1986 ce qui explique la situation actuelle de l'ouvrage. (la partie aval du coursier a été détruite)

- *Révision de l'hydrologie des crues par la méthode de Sokolovski*

**III.3.3.3 Hydrogrammes de crue**

L'hydrogramme de crue est une identité de la crue, pour tracé l'hydrogramme de crue, nous sommes tenus de suivre la méthode de Sokolovski qui le divise en deux parties non symétriques, calculé à partir des temps de montée et de la décrue (**Touaibia, 2004**).

Cette méthode assimile l'Hydrogramme de crue à deux équations paraboliques l'une pour la montée de la crue et l'autre pour la décrue :

**a) Pour le temps de montée :**

$$Q_m = Q_{\max} \left( \frac{t}{T_m} \right)^2 \quad (\text{III.37})$$

$Q_m$  : Débit instantané de montée ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) ;

$T_m = T_c$  : Temps de montée de la crue en heures.

**b) Pour le temps de décrue :**

$$Q_d = Q_{\max} \left( \frac{T_d - t}{T_d} \right)^3 \quad (\text{III.38})$$

$Q_d$  : Débit instantané de la décrue ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) ;

$T_d$  : Temps de la décrue en heures;

$Q_{\max}$  : Débit maximum de la crue de fréquence considérée en ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

Pour les crues d'averses, c'est à dire les crues engendrées par la pluie, cette méthode prend :

- $T_m = T_c$  (pour les petits bassins versants), avec  $T_c$  qui est le temps de concentration du bassin versant (égale à 5.14 heure).
- $T_d = \delta * T_m$ .

Où  $\delta$  : coefficient de forme de l'hydrogramme de crue.

**Tableau III.32 : Coefficients de forme de l'hydrogramme de crue  $\delta$**

Description du cours d'eau	Valeur de $\delta$
Petits cours d'eau et vallons dans des bassins versants dénudés et faiblement perméables.	2,0 – 2,5
Petits cours d'eau et vallons dans des bassins versants brisés ou perméables, moyens cours d'eau avec terrasses de lit majeur normales.	3,0 – 4,0
Grands et moyens cours d'eau avec des terrasses de débordements étendues.	4,0 – 7,0

On prend  $\delta = 2,25$

$T_d = 2,25 * 5.14 = 11.57$  heures.

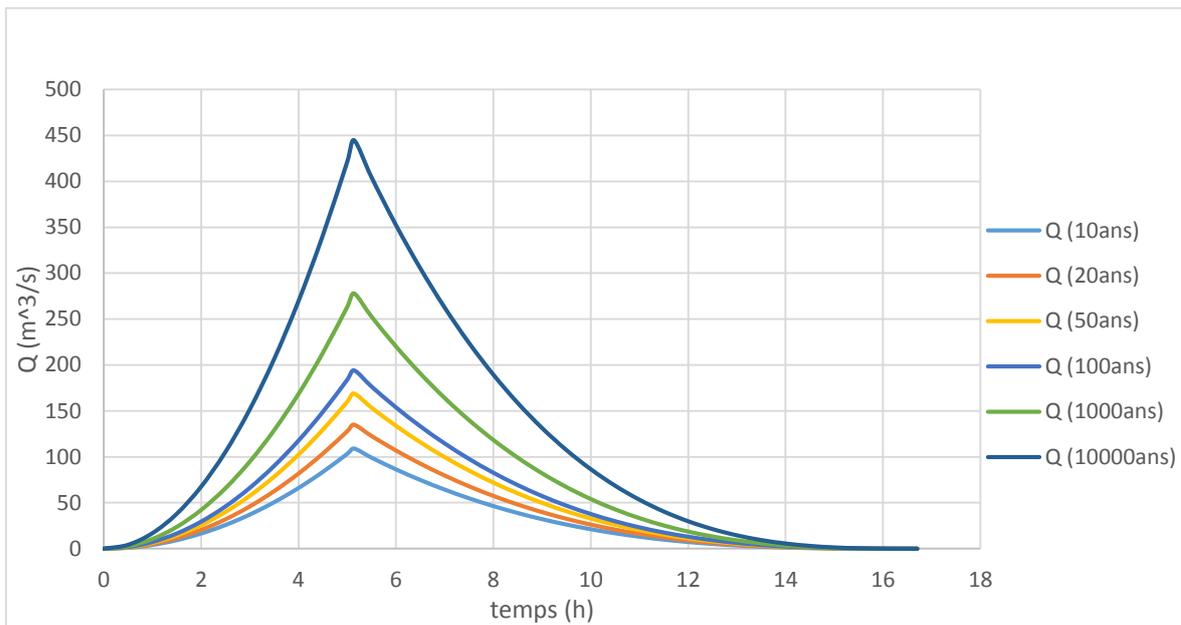
**$T_d = 11.57$  heures**

**DIAGNOSTIC ET ETUDE TECHNIQUE DU BARRAGE MEDJEZ B'GAR**

**CHAPITRE III**

**Tableau III.33: Valeurs des débits de crues en fonction du temps**

Temps (heures)	Période de retour (ans)						
	10	20	50	100	1000	3000	10000
<b>0</b>	0	0	0	0	0	0	0
<b>0.5</b>	1.03143121	1.27746067	1.59919151	1.8357583	2.63062272	3.41602447	4.21088889
<b>1</b>	4.12572484	5.10984269	6.39676604	7.3430332	10.5224909	13.6640979	16.8435555
<b>1.5</b>	9.28288089	11.4971461	14.3927236	16.5218247	23.6756045	30.7442202	37.898
<b>2</b>	16.5028994	20.4393708	25.5870641	29.3721328	42.0899635	54.6563915	67.3742222
<b>2.5</b>	25.7857803	31.9365168	39.9797877	45.8939575	65.765568	85.4006117	105.272222
<b>3</b>	37.1315236	45.9885842	57.5708943	66.0872988	94.7024179	122.976881	151.592
<b>3.5</b>	50.5401293	62.595573	78.360384	89.9521567	128.900513	167.385199	206.333555
<b>4</b>	66.0115975	81.7574831	102.348257	117.488531	168.359854	218.625566	269.496889
<b>4.5</b>	83.545928	103.474315	129.534512	148.696422	213.08044	276.697982	341.082
<b>5</b>	103.143121	127.746067	159.919151	183.57583	263.062272	341.602447	421.088889
<b>5.14</b>	109	135	169	194	278	361	445
<b>5.5</b>	99.1345796	122.78136	153.704073	176.441362	252.838653	328.326452	404.723742
<b>6</b>	86.4469353	107.067305	134.032404	153.859683	220.47934	286.305905	352.925562
<b>6.5</b>	74.8908248	92.7546913	116.115132	133.291927	191.005957	248.032915	305.746945
<b>7</b>	64.4133974	79.778061	99.8703133	114.644028	164.283711	213.332444	262.972127
<b>7.5</b>	54.9618022	68.0719569	85.2160053	97.8219233	140.177808	182.029455	224.385339
<b>8</b>	46.4831887	57.5709218	72.0702651	82.7315469	118.553454	153.94891	189.770816
<b>8.5</b>	38.9247062	48.2094985	60.3511499	69.2788348	99.2758561	128.91577	158.912791
<b>9</b>	32.2335038	39.9222294	49.9767169	57.3697223	82.2102206	106.754999	131.595497
<b>9.5</b>	26.3567309	32.6436575	40.8650231	46.9101449	67.221754	87.2915582	107.603167
<b>10</b>	21.2415367	26.3083253	32.9341258	37.8060379	54.1756625	70.3504107	86.7200353
<b>10.5</b>	16.8350707	20.8507756	26.1020821	29.9633368	42.9371527	55.7565185	68.7303344
<b>11</b>	13.084482	16.2055511	20.2869491	23.2879771	33.3714311	43.3348439	53.4182979
<b>11.5</b>	9.93691988	12.3071943	15.406784	17.6858941	25.3437039	32.9103493	40.5681591
<b>12</b>	7.33953372	9.09024818	11.379644	13.0630233	18.7191777	24.307997	29.9641514
<b>12.5</b>	5.23947276	6.48925526	8.12358621	9.32530015	13.363059	17.3527492	21.3905081
<b>13</b>	3.5838863	4.43875827	5.55666776	6.37866003	9.14055406	11.8695684	14.6314624
<b>13.5</b>	2.31992363	2.87329991	3.59694581	4.12903838	5.91686944	7.68341679	9.47124784
<b>14</b>	1.39473402	1.72742287	2.16247752	2.48237065	3.55721154	4.61925672	5.69409761
<b>14.5</b>	0.75546677	0.93566986	1.17132004	1.34459224	1.92678682	2.50205051	3.08424508
<b>15</b>	0.34927117	0.43258356	0.54153053	0.62163859	0.89080169	1.15676047	1.42592358
<b>15.5</b>	0.12329649	0.15270667	0.19116612	0.21944514	0.31446262	0.40834894	0.50336642
<b>16</b>	0.02469204	0.03058188	0.03828399	0.0439473	0.06297602	0.08177822	0.10080694
<b>16.5</b>	0.00060709	0.0007519	0.00094126	0.0010805	0.00154835	0.00201063	0.00247848
<b>16.705</b>	0	0	0	0	0	0	0



**Figure III.20:** Hydrogrammes des crues probables en fonction du temps (SOKOLOVSKY)

### III.3.4 CHOIX DE LA CRUE DE PROJET

La crue de projet est la crue maximale que l'ouvrage doit être capable d'évacuer pour une probabilité donnée. Alors que le choix de la crue de ce projet dépend, essentiellement, de l'importance de l'ouvrage à réaliser, des conséquences qui peuvent se produire à l'aval et des considérations technico-économiques liées à l'aménagement et à l'environnement.

Souvent, la crue du projet considérée est la crue du débit de point maximal, mais n'est pas toujours certain que cette crue est la plus défavorable pour le calcul de l'évacuateur de crue ; une crue moins importante mais plus étalée pourrait être plus défavorable.

Rappelons qu'une petite submersion d'un barrage en terre peut engendrer la rupture totale de celui-ci, contrairement aux barrages en béton où on peut faire des réparations lors du passage d'une crue exceptionnelle.

L'article R214-112 du Code de l'Environnement, modifié par le Décret n° 2015-526 du 14 mai 2015, définit les classes de barrages selon le tableau suivant :

**Tableau III.34:** Classement des barrages

Classe de l'ouvrage	Caractéristiques géométriques de l'ouvrage
A	$H \geq 20$ et $H^2 \times V^{0.5} \geq 1500$
B	Ouvrage non classé en A et pour lequel : $H^2 \times V^{0.5} \geq 200$ et $H \geq 10$
C	Ouvrage non classé en A ou B et pour lequel : $H^2 \times V^{0.5} \geq 20$ et $H \geq 5$  Ouvrage pour lequel les conditions prévues au a) ne sont pas satisfaites mais qui répond aux conditions cumulatives ci-après :  i) $H > 2$ ; ii) $V > 0,05$ ; iii) A l'intérieur de l'espace situé à l'aval du barrage, jusqu'à une distance par rapport à celui-ci de 400 mètres, il existe une ou plusieurs habitations dont le rez-de-chaussée est situé sous le point bas du barrage.

Avec :

- "H", la hauteur de l'ouvrage exprimée en mètres et définie comme la plus grande hauteur mesurée verticalement entre le sommet de l'ouvrage et le terrain naturel à l'aplomb de ce sommet ;
- "V", le volume retenu exprimé en millions de mètres cubes et défini comme le volume qui est retenu par le barrage à la cote de retenue normale.

Les dernières recommandations sur le dimensionnement des évacuateurs de crues de barrages (*Recommandations pour le dimensionnement des évacuateurs de crues de barrages* – CFBR – Juin 2013) préconisent la prise en compte d'une crue de période de retour dépendant du type d'ouvrage et de sa classe selon le tableau III.31:

**Tableau III.35 : Période de retour de la crue de projet (situation exceptionnelle)**

<b>Classe de l'ouvrage</b>	<b>Barrages rigides</b>	<b>Barrages meubles</b>
A	1000 à 3000	10 000
B	1000	3000
C	300	1000
D avec $V \geq 50\,000\text{ m}^3$	100	300

L'objectif de la vérification en situation extrême est d'assurer que, au-delà d'une situation déjà considérée comme exceptionnelle ou en cas de dysfonctionnement des organes d'évacuation des crues, le barrage, son système d'évacuation des crues, le cas échéant, les organes hydrauliques annexes (sous réserve qu'on démontre qu'ils restent opérationnels), voire même en tenant compte du débit déversé sur la crête, possèdent encore une marge de sécurité suffisante avant la survenance d'un accident. Celui-ci est supposé se produire à partir du moment où la retenue atteint, d'une façon ou d'une autre, la cote de danger.

**Tableau III.36 : Probabilité annuelle de dépassement en situation extrême**

<b>Classe de l'ouvrage</b>	<b>Probabilité annuelle de dépassement</b>
A	10-5
B	$3 \cdot 10^{-5}$
C	10-4
D avec $V \geq 50\,000\text{ m}^3$	10-3

- Compte tenu de ces éléments, le barrage de MEDJEZ B'GAR est classé en catégorie B (selon la réglementation française en vigueur).

Le crue de projet est donc la crue de période de retour 3 000 ans, et la crue de danger est égal à 1,15 fois la crue décennale (raisonnement français).

**Conclusion :**

D'après l'hydrogramme de crue de période de retour 3 000 ans, le débit de pointe entrant est de l'ordre de  $361 \text{ m}^3/\text{s}$  un débit supérieur à la crue de projet en 1978 de période de retours  $T = 100$ ans

On peut conclure qu'à période de retour égale, les débits de pointe ainsi que les volumes de l'hydrologie révisée sont nettement supérieurs aux débits de pointe de l'étude de projet de 1986 établie par Bureau d'Etudes HYDRO-PROJETS EST (ex. S.ET.HY.CO). Il semblerait donc qu'il y ait sous-estimation des crues.

Cela s'explique par le fait que les méthodes de calculs utilisées pour l'étude de projet différentes de celles utilisées pour la révision hydrologique sans oublier le fait que la crue de projet prise ne répondaient pas aux critères de sécurité actuelle.

**III.4 ETUDE DES APPORTS**

**III.4.1 Apports liquide**

Les apports ont été déterminés par proportionnalité avec la station d'Ain Dalia. Une série de trente années d'apports au droit de MEDJEZ B'GAR est reconstituée à partir des seize années disponibles à Ain Dalia par ratio des surfaces de bassins versants.

L'objectif du barrage de MEDJEZ B'GAR est de régulariser les apports de l'oued en vue de l'irrigation.

L'apport annuel médian de l'oued MEDJEZ B'GAR est estimé à  $7,6 \text{ hm}^3$  (ISL, 2015)

**III.4.2 Apports solides**

La valeur issue de l'étude de faisabilité du taux d'envasement est de  $0,019 \text{ hm}^3/\text{an}$ .

Cette valeur paraît sous-estimée. En effet, l'analyse des mesures bathymétriques du barrage de Hammam Debagh conclue à un envasement annuel moyen autour de  $0,98 \text{ hm}^3/\text{an}$ , soit en termes de dégradation spécifique  $914 \text{ t}/\text{km}^2/\text{an}$ .

Rapportée au bassin versant du barrage de MEDJEZ B'GAR et en tenant compte d'une densité sèche des sédiments de  $1,3 \text{ t}/\text{m}^3$ , cette valeur aboutit à un taux d'envasement égal à  $0,04 \text{ hm}^3/\text{an}$  (ISL, 2015).

### III.5 CALCUL DE STABILITE

#### III.5.1 POSITIONNEMENT DE LA LIGNE DE SATURATION

La ligne de saturation est la ligne le long de laquelle la pression hydrostatique est nulle, on l'appelle aussi « ligne phréatique ».

Elle est tributaire des caractéristiques des matériaux de construction, elle est déterminée sur la base de la parabole de Kozeny qui nous permet de délimiter la partie sèche où humide de la partie saturée d'eau du barrage.

Son tracé permet d'estimer le débit de fuite à travers le barrage et de déterminer le cas échéant.

La zone d'émergence de l'eau le long du talus amont est particulièrement dangereuse.

Il est indispensable d'établir des dispositifs de drainage qui maintient la ligne de saturation à l'intérieur du massif.

Kozeny a montré que la ligne phréatique est une parabole dont l'équation est :

$$X = \frac{y^2 - y_0^2}{2 \cdot y_0} \quad (\text{III.39})$$

$$\text{Avec } Y_0 = \sqrt{H^2 + d^2} - d \quad (\text{III.40})$$

d : Largeur en base du barrage diminuée de 0,7b (d=41.9).

b : Projection horizontale de la partie mouillée du parement amont b= 78.8 m (Déterminé graphiquement).

h : La hauteur d'eau en amont (h=7.7m).

On trouve  $Y_0 = 3.39\text{m}$ .

Donc l'équation est ;  $x = \sqrt{42.12 + 12.98 * X}$

On détermine la ligne de saturation pour une hauteur d'eau correspondante à la retenue normale.

**Tableau III.37:** Coordonnées de la parabole de KOZENY

<b>Y ( m )</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>20</b>	<b>25</b>	<b>30</b>	<b>35</b>	<b>40</b>	<b>41.9</b>
<b>X ( m )</b>	3.39	6.74	8.90	10.64	12.13	13.45	14.66	15.77	16.81	17.19

La parabole de base coupe la face aval du massif central en un point qui sera déterminé à partir de l'équation en coordonnées polaires de cette parabole.

$$\frac{\Delta a}{1 + \Delta a} = f(\theta) \quad (\text{III.41})$$

$\theta$  : angle du Drain ( $\theta=90^\circ$ ).

A partir de l'abaque de CASAGRANDE de l'Annexe on trouve :

$$\frac{\Delta a}{a + \Delta a} = 0.26$$

$$\text{Telque } a + \Delta a = \frac{y_0}{1 - \text{Cos}(\theta)} \quad (\text{III.42})$$

On trouve  $a=2.5$       $\Delta a=0.9$

### **III.5.2. GENERALITES SUR LA STABILITE DES BARRAGES (TALUS)**

L'étude de stabilité d'un barrage est fondamentale dans la mesure où elle doit aboutir, pour l'essentiel, à la définition de la géométrie de l'ouvrage (Pente des talus en particulier) et des principes de drainage à appliquer.

La stabilité des talus peut être calculée par plusieurs méthodes, on utilise le plus souvent la méthode grapho-analytique (Méthode de FELLENIUS) dite « méthode des tranches », qui est de calcul en rupture circulaire.

L'étude de stabilité d'un remblai peut se conduire de deux manières :

1/ Soit par un calcul de vérification de la stabilité, les valeurs caractéristiques du remblai étant fixes et on détermine à priori.

2/ Soit par une série de calculs dit dimensionnement, où l'on fait varier un ou plusieurs paramètres (angle de talus ...) jusqu'à aboutir au coefficient de sécurité souhaité.

Schématiquement, deux formes d'instabilité mécanique peuvent être distinguées :

- Le glissement des talus :

Il existe plusieurs types

1. Glissement circulaire sur un talus (le cercle de glissement recoupe parfois la fondation si le matériau la constituant présente des caractéristiques mécaniques médiocres).
2. Glissement en cascade.
3. Glissement, puit renard.

Ces deux derniers types se manifestent lorsque le cercle émanant du talus aval recoupe le talus amont à un niveau inférieur à la côte du plan d'eau amont.

4. l'instabilité mécanique en fondation.

### **III.5.3 CONSEQUENCES DE L'INSTABILITE DES TALUS**

- Déformation ou rupture des dispositifs internes de drainage (conséquence directe)
- Rupture des canalisations de vidange ou de prise d'eau
- Interception et remontée de la ligne de saturation et augmentation du débit de fuite (conséquence indirecte).

La vérification de la stabilité des talus tient compte des caractéristiques géotechniques des matériaux de construction et du sol de la fondation.

Le calcul se fait pour trois cas de fonctionnement :

- A la fin de la construction (Talus aval et talus amont).
- Fonctionnement normal (talus aval).
- Lors d'une vidange rapide (talus amont).

La vérification des talus de barrage par la méthode grapho-analytique consiste en détermination du coefficient de stabilité « K », qui est égal au rapport du moment des efforts de stabilité sur le moment des efforts de basculement (forces motrices), par rapport au centre de glissement du terrain qui doit être supérieur ou égal au coefficient admissible «  $k_{adm}$  » déterminé d'après le tableau III.33.

**Tableau III.38:** Classification des barrages

Classe de l'ouvrage	Sol de fondation	
	Rocheux	Meuble
<b>I</b>	Hb > 100 m	Hb > 50
<b>II</b>	De 50 à 100 m	De 25 à 50 m
<b>III</b>	De 20 à 50 m	De 15 à 25 m
<b>IV</b>	Hb < 20 m	Hb < 15 m

Selon le tableau de classification III.32, le barrage étudié appartient alors à la classe II

**Tableau III.39:** Coefficient de stabilité admissible des talus.

Combinaison des charges et des actions	Classe de l'ouvrage			
	I	II	III	IV
<b>Fondamentales (sans séisme)</b>	1,20 ÷ 1,30	1,15 ÷ 1,20	1,1 ÷ 1,15	1,05 ÷ 1,10
<b>Spéciales (Avec séisme)</b>	1,05 ÷ 1,10	1,05 ÷ 1,10	1,05 ÷ 1,10	1,05

Notre barrage fait partie de la II classe, le coefficient admissible sera donc :

- Sans séisme :  $K_{SS,adm} = 1,15 - 1,2$

- Avec séisme :  $K_{AS,adm} = 1,05 - 1,1$

Pour chaque cas de fonctionnement et pour les deux talus, on calcule le coefficient de sécurité sans séisme et avec séisme, puis on les compare aux coefficients de sécurité admissible afin de vérifier la stabilité de nos talus.

### **III.5.4 ORDRE DE CALCUL (METHODE DES TRANCHES)**

Pour effectuer ce calcul il est nécessaire de suivre les étapes suivantes :

1. Tracer à l'échelle le profil en travers du barrage.
2. Tracer deux lignes au milieu du talus moyen (Point B), la première est verticale, la deuxième avec un angle 85° par rapport à la ligne du talus.

**CHAPITRE III**

3. Tracer les arcs des cercles de rayons  $R_1$  et  $R_2$  avec :

$$R_1 = K_1 H_b.$$

$$R_2 = K_2 H_b.$$

$H_b$  : Hauteur totale du barrage ( $H_b=27.5m$ ).

( $K_1-K_2$ ) : sont déterminés en fonction des pentes de talus d'après le tableau III.34.

**Tableau III.40:** valeurs de  $K_1$  et  $K_2$ .

<b>Pente de talus</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
<b><math>K_1 = R_1/H_b</math></b>	0,75	0,75	1,0	1,5	2,2	3
<b><math>K_2 = R_2/H_b</math></b>	1,5	1,75	2,3	3,75	4,8	5.5

Dans le cas du barrage étudié:

**Tableau III.41:** valeurs de  $K_1$  et  $K_2$ .

<b>talus</b>	<b>Pente du talus</b>	<b><math>K_1</math></b>	<b><math>K_2</math></b>	<b><math>R_1</math> (m)</b>	<b><math>R_2</math> (m)</b>
<b>Amont</b>	3	1	2.3	27.5	63.25
<b>Aval</b>	2.5	0.875	2.025	24.0625	55.6875

Le centre des rayons étant le point « b ». l'intersection des rayons  $r_1$  ;  $r_2$  avec les deux lignes (verticales, inclinées) nous donne la zone des cercles.

On trace à la suite une courbe de rayon « R » qui doit être dans la limite du talus aval c'est à dire entre l'axe horizontal du barrage et la surface du terrain à coté du talus aval, et on indique le centre de glissement « o ».

On partage la zone limitée par la courbe en parties verticales (tranches) d'une épaisseur  $b=0.1R$ , on marque toutes les parties gauches par des chiffres positifs et les parties droites par des chiffres négatifs en commençant de la partie « zéro » sous le centre de glissement (projection).



Le poids de la tranche se décompose en deux composantes :

- ❖ Composante normale (forces stabilisatrices) :  $N = G_n \cos \alpha$
- ❖ Composante périphérique (forces déstabilisatrices) :  $T = G_n \sin \alpha$

Avec :  $\alpha$  : angle d'inclinaison du pied de la tranche par rapport à l'horizontale.

### **III.5.5 CALCUL DES FORCES APPLIQUEES A CHAQUE TRANCHE**

#### **a. Force de pesanteur (poids propre de la tranche) :**

La force de pesanteur est appliquée au centre de gravité pour chaque tranche.

La formule s'écrit :

$$G_n = b (\gamma_1 \cdot h_1 + \gamma_2 \cdot h_2 + \gamma_3 \cdot h_3) \quad (\text{III.43})$$

$h_1, h_2, h_3$  : hauteurs des tranches;

$\gamma_1$  : densité de la zone du massif située au dessus de la ligne de saturation;

$\gamma_2$  : densité de la zone du massif située au dessous de la ligne de saturation;

$\gamma_3$  : densité de l'assise;

$b$  : largeur de la tranche.

#### **b. Force de pression interstitielle :**

Dans le cas où le barrage est à son niveau normal de la retenue (**NNR**).

$$P = U \cdot dl = \gamma_w \cdot h \cdot dl \quad (\text{III.44})$$

$U$  : pression interstitielle;

$dl$  : longueur de l'arc délimitant la base de la tranche;

$\gamma_w$  : poids volumique de l'eau  $\gamma_w = 1 \text{ KN/m}^3$ ;

$h$  : hauteur de la tranche.

#### **c. Forces de cohésion**

$$F_c = c \cdot dl \quad (\text{III.45})$$

$C$  : Cohésion du sol (Matériau).

**d- Forces dues au séisme**

$$T = a \cdot G_n \quad (\text{III.46})$$

a : Coefficient de séisme.

G<sub>n</sub> : Poids de la tranche.

**III.5.6 Classement des forces**

On peut classer toutes ces forces comme suit :

➤ **Les forces stabilisatrices**

**a. Force de frottement**

$$F_f = N_n \cdot \text{tg } \varphi - U \cdot \text{dl} \cdot \text{tg } \varphi \quad (\text{III.47})$$

φ : Angle de frottement.

dl : Longueur de la courbe de glissement dans les limites de la partie partagée.

**b. Force de cohésion**

$$F_c = c \cdot \text{dl} \quad (\text{III.48})$$

Avec : 
$$\text{dl} = \frac{2 \cdot \pi \cdot R \cdot B_i}{360}$$

R : rayon de la courbe de glissement;

B<sub>i</sub> : Angle au centre des tronçons de la courbe de glissement;

Le moment de la force par rapport au centre de glissement est donné par :

$$M_s = [(N_n - U \cdot \text{dl}) \cdot \text{tg } \varphi + c \cdot \text{dl}] \cdot R. \quad (\text{III.49})$$

**Les forces motrices :**

Les forces motrices sont caractérisées par la composante périphérique ( $N_t$ ), (force de cisaillement) du poids ( $G_n$ ) qui provoque le glissement du talus.

Le moment de ces forces par rapports au centre de glissement est donné par :

$$M = R \sum_{i=1}^n T_n \quad (III.50)$$

**Remarque**

$$\sin \alpha = \frac{\text{Numéro.d'ordre.de.la.section.divisée}}{10}$$

$$\cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha}$$

### III.5.7 CALCUL DU COEFFICIENT DE SECURITE POUR LES DIFFERENTS TYPES DE FONCTIONNEMENT

Le coefficient «Ks» sera calculé pour les différents types de fonctionnement de retenue.

**a) Retenue pleine :**

$$K_{ss} = \frac{\sum (N_n - p_i) \text{tg} \varphi_i + \sum C_i \cdot dl}{\sum G_n \sin \alpha_n} \geq K_{adm} \quad (III.51)$$

$$K_{as} = \frac{\sum (N_n - p_i) \text{tg} \varphi_i + \sum C_i \cdot dl}{(1/R) \sum G_n \cdot \text{an}_i \cdot \text{dn}_i} \geq K_{adm} \quad (III.52)$$

$K_{ss}$  : coefficient de sécurité sans séisme;

$K_{as}$  : coefficient de sécurité avec séisme.

**b) Retenue vide (fin de construction) :**

$$K_{ss} = \frac{\sum N_n \text{tg} \phi + \sum C d L}{\sum T_n} \quad (III.53)$$

CHAPITRE III

$$K_{as} = \frac{\sum N_n \operatorname{tg} \phi + \sum CdL}{\sum T_n + \frac{1}{R} \sum aG_n d_n} \quad (\text{III.54})$$

c) Vidange rapide

Le calcul se fait uniquement pour le talus amont, car la vidange rapide d'une retenue en terre peut lui causer des dégâts.

$$K_{ss} = \frac{\sum N n \operatorname{tg} \varphi_i + \sum C_i . dl}{\sum T n_i} \geq K_{adm} \quad (\text{III.55})$$

$$K_{as} = \frac{\sum N n \operatorname{tg} \varphi_i + \sum C_i . dl}{\sum T n_i + (1/R) \sum G n . a n_i . d n_i} \geq K_{adm} \quad (\text{III.56})$$

Les résultats du calcul sont regroupés dans le tableau suivant et les schémas de calcul de stabilité sont représentés dans la planche de calcul de stabilité.

**Tableau III.42:** coefficient de sécurité pour différents cas de fonctionnement

CAS DE SOLLICITATION		COEFFICIENT DE SECURITE	
		Avec séisme 1,05÷1,1	Sans séisme 1,15 ÷ 1,2
<b>Fin de construction</b>	<b>Talus aval</b>		
	R= 34.43 m	2.19	1,85
	R= 34,09 m	1,88	1,67
	R= 34,21 m	1,54	1,40
<b>Fonctionnement normal</b>	<b>Talus aval</b>		
	R= 34.42 m	1,86	1,36
	R= 31.81 m	1,86	1,55
	R= 34,08 m	1,27	1,24
<b>Vidange rapide</b>	<b>Talus amont</b>		
	R= 37.45 m	1,52	1,06
	R= 36.25 m	1,46	1,07
	R= 36,81 m	1,24	1,08

- Dans la configuration actuelle, avec une cote de retenue maintenue à la cote de RN, hors cas de séisme, la stabilité est assurée quel que soit le cas de fonctionnement . En situation de séisme la stabilité du barrage de MEDJEZ B'GAR dans le cas de vidange rapide n'est pas acquise, elle est cependant acceptable (coefficient de sécurité supérieur à 1).

**CONCLUSION**

Sur la base des études réalisées dans le cadre présent chapitre, les éléments suivants sont à noter :

- ✓ Un grand manque des dispositifs d'auscultation au niveau de barrage ce qui engendre une gestion difficile de ce dernier.
- ✓ L'hydrologie du bassin versant du barrage de MEDJEZ B'GAR a été réévaluée. De plus, il est usuel désormais de dimensionner l'ouvrage en considérant une situations dite exceptionnelle, qui correspond à la crue anciennement dénommée crue de projet et pour laquelle la cote de la retenue ne doit pas dépasser la cote des plus hautes eaux.
- ✓ En considérant les « Recommandations pour le dimensionnement des évacuateurs de crues des barrages » établies par le Comité Français des Barrages Réservoirs, la crue exceptionnelle du barrage de MEDJEZ B'GAR est la crue trimillénaire (barrage meuble / classe B).
- ✓ La stabilité de barrage MEDJEZ B'GAR est assurée quel que soit le cas de fonctionnement.



# **CHAPITRE IV :**

MESURES DE CONFORTEMENT ET DE  
REHABILITATION DES DU BARRAGE  
MEDJEZ B'GAR



## **MESURES DE CONFORTEMENT ET DE REHABILITATION DU BARRAGE MEDJEZ B'GAR**

### **IV. INTRODUCTION**

Suite aux résultats d'analyses des causes des désordres survenus aux ouvrages du barrage MEDJEZ B'GAR et suite au diagnostic du dysfonctionnement des structures. Ce chapitre vise à lister et prédimensionner les travaux de confortement à prévoir pour assurer la pérennité d'exploitation de cet ouvrage dans les normes de sécurité optimales.

Le chapitre comprend les recommandations pour les travaux de confortement du barrage MEDJEZ B'GAR avec en particuliers les éléments suivants :

- ✓ Des travaux relatifs à l'auscultation.
- ✓ Des travaux relatifs aux équipements hydromécaniques.
- ✓ Des travaux relatifs au barrage.
- ✓ Des travaux relatifs à l'évacuateur de crue.

### **IV.1 RAPPEL DES CONCLUSIONS DU DIAGNOSTIC**

Les principales conclusions du diagnostic sont rappelées ci-dessous :

- ✓ Le dispositif actuel d'auscultation n'est pas utilisé et ne permet pas de suivre de manière efficace le comportement de l'ouvrage. Il est nécessaire de le remettre à niveau.
- ✓ Les équipements hydromécaniques de vidange de fond sont à remplacer et la chambre des vannes à réaménager.
- ✓ Les reconnaissances géotechniques ont mis en évidence l'absence de tapis drainant dans le corps du barrage. Le drainage est assuré par l'horizon de galets et graviers. Le dispositif de drainage actuel est à renforcer.
- ✓ Un projet d'augmentation de la capacité d'évacuation des crues est à étudier. L'évacuateur de crue est à reconstruire.

### **IV.2 DEFINITION DES TRAVAUX RELATIFS AL'AUSCULTATION**

Le diagnostic a mis en évidence des appareils d'auscultation en nombre insuffisant et sans suivi. Des propositions d'actions qui permettent de compléter le système de mesures actuel et de mettre en place un véritable suivi sont proposées dans les paragraphes suivants

# MESURES DE CONFORTEMENT ET DE REHABILITATION DU BARRAGE MEDJEZ B'GAR

## CHAPITRE IV

### IV.2.1 PIEZOMETRES

L'ouvrage doit être équipé de quatre piézomètres dans le cadre des reconnaissances géotechniques afin d'appréhender la ligne d'eau dans le corps du barrage. Les piézomètres ont été installés sur la risberme du talus aval et en pied de talus et viennent compléter le dispositif d'auscultation.

Les piézomètres sont équipés d'un tubage PVC en partie crépiné (ISL, 2015) Les caractéristiques principales des piézomètres sont indiquées ci-dessous.

**Tableau IV.1 :** Caractéristiques des piézomètres

<b>Type</b>	Ouvert
<b>Longueur de forage</b>	15 m
<b>Diamètre du forage</b>	Φ116 mm
<b>Diamètre du tube PVC</b>	Φ 60 mm
<b>Protection</b>	Bouchon supérieur pour protéger de la pluie, des feuilles...
<b>Remplissage sur la partie non crépinée</b>	Bentonite ou coulis de ciment bentonite
<b>Equipement sur la partie crépinée</b>	Massif filtrant et tube crépiné

La profondeur de la partie crépinée est indiquée dans le tableau suivant pour chaque piézomètre.

**Tableau IV.2 :** Caractéristiques de la partie crépinée pour chaque piézomètre (ISL, 2015)

<b>Piézomètre</b>	<b>Profondeur crépinée</b>
SCP1	7 m à 10,50 m
SCP2	11 m à 13,60 m
SCP3	11 m à 13 m
SCP4	10 à 13 m

### **IV.2.2 ECHELLES LIMNIMETRIQUES**

Il est préconisé d'installer deux échelles limnimétriques pour permettre la mesure du niveau d'eau dans la retenue : une échelle au niveau de l'évacuateur de crues et une échelle sur la rive gauche. La mesure pourra être complétée par un autre dispositif de type radar, sonde ultrason... (ISL, 2015)

### **IV.2.3 DRAINAGE**

Le réseau de drainage actuel est composé de puits et de collecteurs en pied de talus aval. Deux réseaux de puits et collecteurs (un pour chaque rive) se rejoignent au niveau de la chambre aval et déversent dans le talweg existant. Actuellement, aucun équipement ne permet la mesure du débit à la sortie des collecteurs.

Nous proposons de réhabiliter le réseau de drainage existant en dégagant la sortie de chaque collecteur. Les deux sorties de collecteur au niveau de la chambre aval pourront alors être équipées d'un dispositif de jaugeage. Le dispositif de jaugeage se compose d'une cuve et d'un seuil déversant triangulaire. Le débit est directement lié à la hauteur de la lame déversante.

Ce dispositif permettra également de prélever des échantillons des eaux de fuites pour faire des analyses comparatives avec l'eau de la retenue et des analyses de turbidité.(ISL,2015)

### **IV.2.4 DEPLACEMENTS**

Actuellement, des repères de mesures topographiques sont présents sur la crête de l'ouvrage mais aucune mesure n'est réalisée. Nous proposons de renforcer le dispositif existant par l'ajout de nouveaux repères sur la risberme du talus aval ainsi qu'au niveau de l'évacuateur de crue. L'ensemble des repères permettra de mesurer le déplacement général de l'ouvrage mais aussi d'appréhender le tassement en différents points. Le dispositif est complété par deux piliers d'observation localisés sur chaque rive à l'aval du barrage et permettant de réaliser toutes les visées (ISL).

- Il est recommandé de réaliser des levés topographiques au moins deux fois par an.

### **IV.2.5 SYNTHESE DES PROPOSITIONS CONCERNANT L'AUSCULTATION**

Le tableau ci-dessous reprend les différentes préconisations concernant l'auscultation.

**MESURES DE CONFORTEMENT ET DE REHABILITATION DU BARRAGE  
MEDJEZ B'GAR**

**CHAPITRE IV**

**Tableau IV.3 :** Préconisations concernant la remise à niveau du dispositif d'auscultation

	<b>Préconisations</b>
<b>l'auscultation</b>	<p>Mettre en place une chaîne d'auscultation efficace, opérationnelle, et qui permette le remplacement des agents qui en seront chargés en cas d'absence.</p> <p>Récupérer l'ensemble des données pertinentes sur les dispositifs d'auscultation existants, depuis leur installation jusqu'à ce jour (plans, historiques, travaux,...) auprès de la DRE de Guelma.</p>
<b>Piézométrie</b>	<p>Réaliser un suivi régulier d'un ensemble de piézomètres (crête, parement et pieds aval) sur plusieurs profils afin d'appréhender la ligne d'eau et le rabattement.</p>
<b>Niveau du plan d'eau</b>	<p>Installer deux échelles limnimétriques évacuateur de crues et rive gauche</p> <p>Compléter la mesure par un autre dispositif (radar, sonde ultrason...)</p>
<b>Drainage</b>	<p>Réhabiliter le réseau de puits de décharge : puits et collecteurs.</p> <p>Prévoir des points de mesure adaptés.</p> <p>Prélever des échantillons des eaux de fuites pour faire des analyses comparatives avec l'eau de la retenue et des analyses de turbidité.</p>
<b>Déplacements</b>	<p>Réhabiliter et compléter le dispositif de mesure par des repères au niveau de la risberme côté aval et de l'évacuateur de crues.</p> <p>Installer des piliers d'observation sur chaque rive.</p> <p>Réaliser des levés topographiques réguliers (minimum 2 par an)</p>

### **IV.3 DEFINITION DES TRAVAUX RELATIFS AUX EQUIPEMENTS HYDROMECHANIQUES**

#### **IV.3.1 EQUIPEMENTS HYDROMECHANIQUES (ISL, 2015)**

Les quatre vannes qui équipent la prise d'eau et la vidange de fond du barrage ne sont plus fonctionnelles. Il est donc nécessaire de les remplacer.

Les deux conduites (vidange, irrigation) sont des conduites blindées, en charge, abritées dans un berceau en béton armé. Ces conduites ne sont pas visitables.

Il n'y a pas de dispositif d'obturation amont permettant de les batarder.

La conduite de vidange est très probablement envasée.

Les travaux proposés visent à :

1. Remplacer les vannes, et les motoriser.
2. Permettre une visite des conduites blindées, et une réparation si elles apparaissent fissurées ou excessivement corrodées.
3. Ajouter un dispositif de batardage amont.

Les opérations prévues sont les suivantes :

1. Vidange complète de la retenue, qui sera réalisée :
  - a. Soit par manœuvre des vannes, en utilisant des moyens mécanisés pour manœuvrer le volant.
  - b. Soit par pompage si la manœuvre est infructueuse.
2. Création d'un batardeau en terre à l'amont de l'entonnement des prises, pour la durée des travaux.
3. Dégagement des sédiments en fond de retenue, pour dégager l'entonnement de la vidange.
4. Modification des entonnements de la vidange et de la prise d'eau, pour y adjoindre un dispositif de fermeture amont ; s'agissant d'un petit barrage, on ne prévoit pas de coupure en charge (qui nécessiterait de construire une tour de prise), mais un dispositif de batardage pouvant être mis en place par plongeurs.
5. Provision pour un renforcement des conduites, si elles sont fissurées ou excessivement corrodées, par chemisage intérieur, en acier ou PEHD. (il s'agira d'une option dans le marché de travaux).
6. Remplacement des vannes et de la conduite aval

# MESURES DE CONFORTEMENT ET DE REHABILITATION DU BARRAGE MEDJEZ B'GAR

---

## CHAPITRE IV

7. Motorisation des vannes.

### IV.3.2 CHAMBRE DE MANŒUVRE DES VANNES

La proposition de travaux sur cet ouvrage vise à garantir l'accessibilité et la maniabilité des équipements de vidange de fond et de prise d'eau.

Un nouveau local pourra être construit au-dessus de la chambre existante pour faciliter l'accès et abriter les tableaux d'alimentation électrique et de commande des vannes (ISL, 2015).

### IV.4 DEFINITION DES TRAVAUX RELATIF AU BARRAGE

Le barrage est dans un état satisfaisant bien qu'il ne soit plus exploité depuis 2003. Cependant quelques améliorations sont à prévoir.

#### IV.4.1 ENTRETIEN

Quelques travaux d'entretien sont à prévoir : réfection de la crête (revêtement, forme de pente...), traitement des petites ravines sur le talus aval, nettoyage des caniveaux. Nous proposons d'intégrer ces travaux dans le cadre de la construction du nouvel évacuateur de crue (ISL, 2015).

#### IV.4.2 AMELIORATION DE L'ETANCHEITE / DRAINAGE

Les reconnaissances géologiques menées dans le cadre de la présente étude ont abouti aux constatations suivantes :

- Une tranchée parafouille a bien été réalisée le long de l'axe pour intercepter l'horizon de galets et graviers à matrice argilo-sableuse de la fondation ;
- Il n'existe pas de tapis drainant à la base de la recharge aval. Le drainage est assuré de fait par l'horizon de galets et graviers.

Bien que la situation actuelle existe depuis la mise en eau du barrage sans que des désordres se soient produits, il apparait nécessaire d'une part de renforcer et d'homogénéiser les écoulements souterrains et d'autre part, de maîtriser d'éventuels entraînements de fines.

Il est donc proposé de compléter les puits existants par la réalisation de forages drainants au pied aval de la digue.

# MESURES DE CONFORTEMENT ET DE REHABILITATION DU BARRAGE MEDJEZ B'GAR

---

## CHAPITRE IV

Les forages drainants se composent d'un tube crépiné recouvert d'un géotextile. Le tube est fermé à ses extrémités et un bec permet le déversement dans le caniveau existant.

La mesure de débit est possible au niveau de chaque forage (bec déversant) à l'aide d'un dispositif simple (sceau calibré et chronomètre).

Ces travaux seront inclus dans les travaux de remise à niveau du dispositif d'auscultation (ISL, 2015).

### IV.5 DEFINITION DES TRAVAUX RELATIFS A L'EVACUATEUR DE CRUES

L'état de l'évacuateur de crues est préoccupant. Sa partie aval est détruite et de nouveaux épisodes de crues pourraient engendrer de nouveaux dégâts qui pourront aller jusqu'à la ruine complète de l'ouvrage.

D'autre part, l'évacuateur ne dispose pas de la capacité suffisante pour évacuer les crues exceptionnelles (la crue triamillénale est retenue). Le confortement viserait donc à construire un nouvel évacuateur de crues en lieu et place de l'évacuateur existant tout en augmentant sa capacité d'évacuation.

Différentes variantes d'évacuateur sont envisageables et notamment :

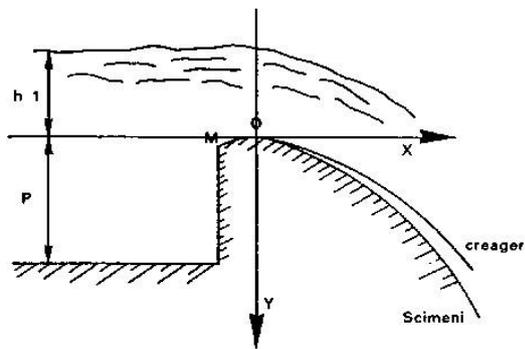
- ✓ Evacuateur à seuil libre rectiligne
- ✓ Evacuateur à seuil libre courbe
- ✓ Clapets
- ✓ Evacuateur de type seuil labyrinthe
- ✓ Evacuateur de type PK Weir

#### IV.5.1 EVACUATEUR RECTILIGNE

Le maintien de la cote de RN et le passage de la crue de projet  $Q_{3000}$  sous la PHE (fixée à 673 m NGA) nécessitent pour un évacuateur à seuil libre, une longueur déversante égale à environ 75m, soit plus de deux fois la longueur du seuil existant.

Une solution de seuil rectiligne adaptée au site de MEDJEZ B'GAR est présentée ci-après. Cette solution nécessiterait d'importantes fouilles en rive droite pour atteindre la longueur déversante nécessaire (ISL, 2015).

MESURES DE CONFORTEMENT ET DE REHABILITATION DU BARRAGE  
MEDJEZ B'GAR  
CHAPITRE IV



Coupe d'un seuil profilé de type  
Creager



Figure IV.1 : Seuil profilé rectiligne (ISL, 2015)

#### IV.5.2 EVACUATEUR COURBE

Un évacuateur courbe permet d'augmenter la longueur déversante dans un espace optimisé.  
Une proposition d'évacuateur courbe adaptée au site est présentée sur la figure suivante.



Figure IV.2 : Seuil courbe (ISL, 2015)

# MESURES DE CONFORTEMENT ET DE REHABILITATION DU BARRAGE MEDJEZ B'GAR

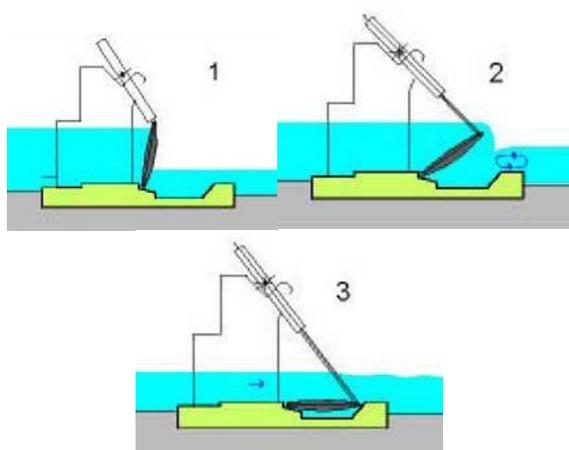
## CHAPITRE IV

Un évacuateur courbe tel que présenté ci-dessus nécessite la réalisation des fouilles en rive gauche pour permettre de bonnes conditions d'approche hydraulique sur le seuil ainsi que des fouilles en rive droite pour pouvoir obtenir la longueur déversante nécessaire.

Les fouilles en rive gauche sont fortement déconseillées ; elles risquent de fragiliser l'appui rocheux de la digue et de remettre en cause sa stabilité générale (ISL, 2015).

### IV.5.3 EVACUATEUR AVEC CLAPETS

Le fonctionnement des clapets permet, à une cote de retenue donnée, de baisser la hauteur du seuil en crue et ainsi d'augmenter la lame déversante donc le débit évacué. Un exemple d'évacuateur à clapets est présenté ci-dessous.



Déversoir à clapets



Déversoir à Clapets sur le barrage de Pont et  
Massène, France

**Figure IV.3 :** Evacuateur à clapets

En insérant un évacuateur à clapets au même endroit que l'évacuateur actuel, les dimensions requises pour évacuer les crues de projet sont les suivantes.

**Tableau IV.4 :** Caractéristiques de la variante évacuateur à clapets (ISL, 2015)

<b>Longueur totale des clapets</b>	30m
<b>Hauteur des clapets</b>	1,80m
<b>Cote du seuil</b>	669,4 NGA

La mise en œuvre des clapets présente cependant des inconvénients :

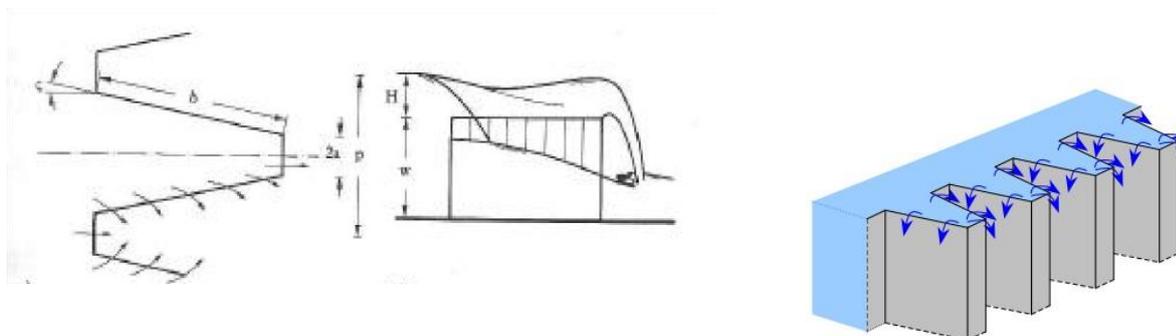
- Réalisation d'importantes fouilles pour construire le radier et abaisser l'intégralité du chenal à la cote du seuil des clapets

**MESURES DE CONFORTEMENT ET DE REHABILITATION DU BARRAGE  
MEDJEZ B'GAR  
CHAPITRE IV**

- Lot hydromécanique à rajouter aux travaux de terrassement et bétonnage
- Nécessité d'installer une source d'énergie pour fonctionner
- Maintenance régulière
- Coûts de réalisation et d'entretien importants.

**IV.5.4 SEUIL LABYRINTHE**

Des variantes de type seuil labyrinthe ou PKWeir permettant d'augmenter la débitance pour une emprise donnée (largeur actuelle du seuil déversant) ont été étudiées à un stade préliminaire afin d'assurer l'évacuation de la crue de projet sous la cote de PHE égale à 673,00 m NGA.



**Figure IV.4 : Seuil labyrinthe**

**IV.5.4 PK WEIRS**

Un évacuateur en PKWeir présente également une longueur déversante augmentée dans l'emprise donnée.

Les dimensions du PK Weir à retenir au stade la faisabilité sont les suivantes :

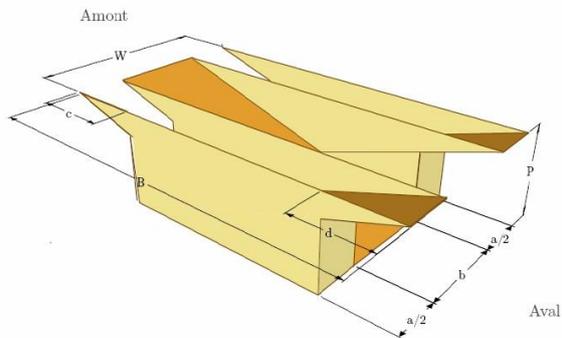
Les détails de calcul sont présentés dans l'ANNEXE IV

**Tableau IV.5 : Caractéristiques de la variante PK Weir**

<b>Profondeur</b>	2 m
<b>Hauteur</b>	3 m
<b>Largeur des alvéoles « outlet »</b>	1.6 m
<b>Largeur des alvéoles « inlet »</b>	2 m
<b>Longueur développée</b>	31,85 m

**MESURES DE CONFORTEMENT ET DE REHABILITATION DU BARRAGE  
MEDJEZ B'GAR  
CHAPITRE IV**

---



Elément de déversoir PKW



PK Weir déversant : barrage de Rassisse, France

**Figure IV.5 : Seuil PK Weir**

### **V.6 COMPARAISON DES VARIANTES D'EVACUATEUR DE CRUES**

Différentes variantes d'évacuateur de crues ont été proposées dans les paragraphes précédents.

Le tableau ci-dessous présente les avantages et inconvénients de chaque variante.

**MESURES DE CONFORTEMENT ET DE REHABILITATION DU BARRAGE  
MEDJEZ B'GAR**

**CHAPITRE IV**

**Tableau IV.6 : Avantages et inconvénients des variantes d'évacuateurs de crue**

<b>Variante</b>	<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
<b>Seuil rectiligne</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Construction simple</li> <li>• Modification mineure du niveau de fondation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Importantes fouilles en rive pour obtenir la longueur déversante suffisante</li> <li>• Comportement hydraulique du seuil non optimal (recoin en rive droite, alimentation en rive gauche)</li> </ul>
<b>Seuil courbe</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Construction relativement simple</li> <li>• Modification mineure du niveau de fondation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nécessite des fouilles en rives et en particulier dans l'appui rive droite de la digue : risque de fragilisation de la digue</li> </ul>
<b>Clapets</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Augmente la débitance sur la même largeur</li> <li>• Pas de fouilles en rives</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Radier à abaisser de 2m : fouilles et terrassements au niveau du radier</li> <li>• Lot hydromécanique lors des travaux</li> <li>• Coûts de fourniture et d'entretien importants</li> <li>• Nécessité d'installer un dispositif d'alimentation en énergie et de commande sur le barrage</li> </ul>
<b>Labyrinthe</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Augmente considérablement la capacité déversante sur l'emprise donnée</li> <li>• Pas de fouilles en rive</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Radier à abaisser: fouilles et terrassements importants au niveau du radier</li> </ul>
<b>PKWeir</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Augmente considérablement la capacité déversante sur l'emprise donnée</li> <li>• Pas de fouilles en rive</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ Radier à abaisser– fouilles et terrassements au niveau du radier</li> </ul>

# MESURES DE CONFORTEMENT ET DE REHABILITATION DU BARRAGE MEDJEZ B'GAR

---

## CHAPITRE IV

- Aux vues des premiers éléments de comparaison, il apparait que les solutions seuil labyrinthe et seuil PKWeir sont les plus appropriées au site et aux problématiques rencontrées.

Le volume de béton du PKweir est certainement inférieur, mais les coffrages et le ferrailage sont plus complexes. Les coûts sont probablement équivalents.

L'option de seuil labyrinthe est plus facile à mettre en œuvre, et bien adaptée à la configuration du site où on dispose d'une large plateforme pour l'installer. Il est proposé de la retenir.

### CONCLUSION

D'après la description détaillés des différents travaux de confortement on peut conclure que :

- ✓ Les crues ont été réévaluées ou la débitance de l'évacuateur est insuffisante la partie aval de l'évacuateur est détruite alors on doit remplacer l'évacuateur de crues par un nouvel ouvrage, de type seuil labyrinthe.
- ✓ La crête présente des désordres locaux, le parement présent de petites ravines ce qui nécessite une réfection de la crête et un traitement des petites ravines.
- ✓ Pour l'étanchéité de la fondation est a priori acquise. Le drainage est a priori fonctionnel mais on doit Compléter le dispositif par des puits drainants et dégager l'exutoire du drainage RD
- ✓ Le dispositif de suivi topographique n'est pas fonctionnel et absence de suivi du comportement hydraulique alors une remise à niveau du dispositif est à prévoir et un levé topographique régulier à mettre en place
- ✓ Les équipements hydromécaniques ne sont pas fonctionnels la commande des vannes est uniquement manuelle la chambre de manœuvre des vannes est partiellement inondée cette situation nécessite un remplacement des vannes prévoir, une alimentation et un dispositif de commande électriques avec travaux de génie civil à prévoir.

# CHAPITRE V :

ETUDE DETAILLEE DE CONFORTEMENT  
ET DE REHABILITATION DE BARRAGE  
MEDJEZ B'GAR

# ETUDE DETAILLEE DE CONFORTEMENT ET DE REHABILITATION DU BARRAGE MEDJEZ B'GAR

## CHAPITRE V

### ETUDE DETAILLEE DE CONFORTEMENT ET DE REHABILITATION DU BARRAGE MEDJEZ B'GAR

#### V. INTRODUCTION

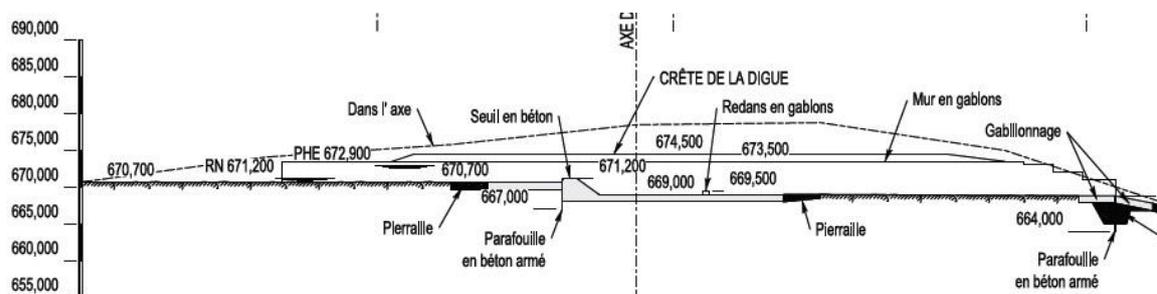
L'objectif en ce qui concerne l'évacuation des crues est de rendre l'aménagement conforme aux normes de sécurité et d'exploitation préconisées par la commission internationale des grands barrages (CIGB) vis-à-vis des crues rares. Ce chapitre concerne l'étude de la variante choisie évoquée dans le chapitre précédent pour un confortement et une réhabilitation de l'évacuateur de crue afin de combler aux insuffisances de la capacité d'évacuation des crues par l'évacuateur existant et de présenter d'autre proposition détailler sur plusieurs point de confortement.

#### V.1 REHABILITATION DE DEVERSOIR DE BARRAGE

##### V.1 RAPPEL DES CARACTERISTIQUES DU SEUIL EXISTANT

L'évacuateur de crue du barrage de MEDJEZ B'GAR est un seuil à surface libre en béton arasé à la cote 671,2 m NGA.

La longueur déversante est estimée à 32 m.



**Figure V.1 :** Coupe en travers de l'évacuateur de crue

Les cotes caractéristiques du barrage issues des études existantes sont synthétisées dans le tableau ci-dessous :

**Tableau V.1 :** Cotes caractéristiques du barrage

RN	PHE	Crête
671,20 m NGA	672,90 m NGA	674,50 m NGA

## **V.2. LAMINAGE DES CRUES**

Le calcul du laminage des crues permet de réduire les dimensions et le coût de l'ouvrage d'évacuation, sans affecter la sécurité globale de l'aménagement. Ce type de calcul optimise la capacité de stockage momentanée de la retenue et le débit progressif des déversements en fonction de l'apport entrant de la crue, Cette relation peut être formulée comme suit :

$$Q.dt=q.dt+S.dh \quad (V.1)$$

Q : Le débit entrant de la crue.

q : Le débit déversé par l'évacuateur de crue (débit laminé).

S : La surface du plan d'eau de la cuvette.

Le débit cumule à l'instant t est :

$$Q-q=S. \frac{dh}{dt} \quad (V.2)$$

$\frac{dh}{dt}$  : La vitesse de remplissage ou de montée de la retenue.

Il existe plusieurs procédés de calcul comme ceux de Hildenblate, Sorensen, Blakmore, Kotcherine, Patapov, Step by step, Muskingum ainsi que d'autres méthodes, nous retenons la méthode de Muskingum.

### **V.2.1 Méthode de Muskingum (Fread, D.L. 1993)**

#### **V.2.1.1 Laminage d'une onde de crue dans un tronçon de rivière**

Le mouvement de l'eau durant une période de crue dans un tronçon de rivière ou d'égout obéit aux équations de Saint-Venant. Ces équations traduisent la conservation de la masse et de la quantité de mouvement le long d'un tronçon orienté selon la direction principale d'écoulement X.L'équation de la quantité de mouvement se présente comme suit :

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial X} \left( \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial y}{\partial X} = gA (S_0 - S_f) + q \frac{Q}{A} \quad (V.3)$$

L'équation de continuité ou de conservation de la masse est la suivante :

# ETUDE DETAILLEE DE CONFORTEMENT ET DE REHABILITATION DU BARRAGE MEDJEZ B'GAR

## CHAPITRE V

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (\text{V.4})$$

En plus des notations habituelles,  $q$  désigne dans ces équations le débit latéral par unité de longueur du tronçon de rivière, débit qui entre dans le tronçon ou en sort.

La signification des cinq termes de l'équation(V.3) est la suivante :

- a) Le terme 1 représente l'accélération temporelle locale. Plus précisément, il rend compte de la vitesse de la variation du débit durant la crue. A titre d'exemple, si le débit de crue augmente de  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  à  $2\text{m}^3/\text{s}$  en une heure, ce terme vaut  $(1 \text{ m}^3/\text{s} - 2\text{m}^3/\text{s}) / 3600\text{s} = 0,000277\text{m}^3/\text{s}$ . L'importance relative de ce terme, qui en l'occurrence est faible, doit être comparée avec celle des autres termes apparaissant dans l'équation.
- b) Le terme 2 représente l'accélération convective qui peut exister quand il y a un changement dans la géométrie (élargissement, rétrécissement). En absence de changement de section ce terme peut être négligé.
- c) Le terme 3 traduit le bilan des forces de pression dues au changement de la profondeur  $y$  avec l'abscisse  $x$ .
- d) Le terme 4 exprime les forces de gravité ( $S_0$ ) et les forces de frottement ( $S_f$ ).
- e) Le terme 5 exprime l'apport ou la perte de la quantité du mouvement dus à un apport ou une perte d'eau sur le côté latéral.

La résolution des équations 1 et 2 est faisable mais pose parfois des difficultés d'ordre pratique et numérique (Cunge et Wegner 1964). On a ainsi souvent cherché à simplifier ce système selon les applications et les contextes.

D'après plusieurs études (Cunge et al. 1980), les trois premiers termes de l'équation V.3 peuvent être négligés pour la plupart des crues dans les rivières, si bien que l'équation V.3 devient en l'absence d'apport de débit latéral :

$$S_0 = S_f \quad (\text{V.5})$$

L'équation de continuité 2 peut être mise sous la forme suivante :

$$I - O = \frac{dS}{dt} \quad (\text{V.6})$$

# ETUDE DETAILLEE DE CONFORTEMENT ET DE REHABILITATION DU BARRAGE MEDJEZ B'GAR

## CHAPITRE V

Ou :

$I$ (INPUT ou Inflow) désigne le débit d'entrée  $Q_E$ .

$O$ (OUTPUT ou Outflow) désigne le débit de sortie  $Q_s$ .

$S$  désigne l'emménagement d'eau dans le tronçon.

L'équation V.6 exprime tout simplement le principe de conservation de la masse ? Le taux de variation de l'emménagement est égal à la différence entre les débits entrant et sortant.

### V.2.1.2 Méthode de Muskingum

Après intégration entre deux instants assez rapprochés  $t_1$  et  $t_2$ , l'équation 71 s'écrit :

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_{t_1}^{t_2} I dt - \int_{t_1}^{t_2} O dt \quad (V.7)$$

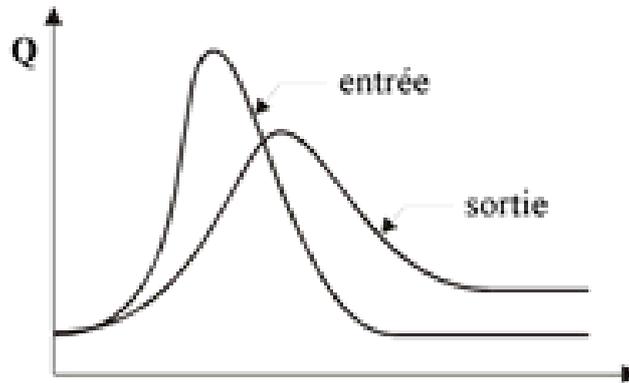
Pour un petit intervalle de temps  $\Delta t = t_2 - t_1$ , on peut écrire :

$$S_2 - S_1 = \left( \frac{I_1 + I_2}{2} - \frac{O_1 + O_2}{2} \right) \Delta t \quad (V.8)$$

La résolution du problème consiste à déterminer  $O_1$  et  $O_2$ , connaissant  $I_1$  et  $I_2$ . L'équation III.73 ne peut être utile que si l'on dispose d'une fonction d'emménagement pour déterminer  $S_1$  et  $S_2$ .

### V.2.1.3 Principe de la méthode de solution

Le laminage à travers un réservoir est dû à la restriction qui limite le débit de sortie lorsque l'évacuation s'opère par le fond, à travers une vanne ou un orifice. Dans le cas d'un barrage-déversoir de grande surface, le débit d'entrée ne produit qu'une faible variation de la hauteur d'eau. C'est justement cette hauteur dans le réservoir qui gouverne le débit de sortie qui se voit ainsi laminé. Lorsque le déversoir est muni d'une contraction latérale, le laminage est encore plus prononcé.



**Figure V.2 : Laminage à travers un barrage**

Pour traduire le bilan d'eau, l'équation V.8 s'applique encore. Elle peut être réécrite :

$$2 \frac{S_2}{\Delta t} + O_2 = I_1 + I_2 + 2 \frac{S_1}{\Delta t} + O_1 - 2O_1 \quad (V.9)$$

Cette équation permet de résoudre partiellement le problème car elle permet de calculer la quantité inconnue  $[2S_2 / \Delta t + O_2]$  en fonction d'autres quantités toutes connues qui figurent dans le membre de droite. Rappelons que les indices 1 et 2 désignent respectivement le début et la fin d'un intervalle de temps  $I_1$  et  $I_2$ , qui représentent les débits d'entrée au début et à la fin de l'intervalle, sont connus car l'hydrogramme d'entrée du réservoir est supposé connu à tous les instants.  $S_1$  et  $O_1$  sont connus car ils constituent les conditions initiales qui prévalent avant le début de la crue. Au cours de la crue,  $S_1$  et  $O_1$  sont connus à cause de la récursivité des calculs. Le stockage et le débit de sortie au début d'un intervalle sont calculés à la fin de l'intervalle précédent.

La question qui se pose est : *comment calculer le débit de sortie  $O_2$  à partir de la quantité connue  $[2S_2 / \Delta t + O_2]$  ?*

Il est possible de construire pour chaque réservoir sa propre courbe caractéristique

$\frac{2S}{\Delta t} + O = f(O)$ . Cette courbe est indépendante de l'hydrogramme d'entrée du réservoir. Elle ne dépend que des propriétés géométriques du réservoir et de sa structure d'évacuation.

**ETUDE DETAILLEE DE CONFORTEMENT ET DE REHABILITATION DU  
BARRAGE MEDJEZ B'GAR**

**CHAPITRE V**

Comme il sera démontré dans les deux prochains paragraphes, le stockage  $S$  et le débit de sortie dépendent de la profondeur  $h$  dans le réservoir. On se donne arbitrairement un certain nombre de valeurs de  $h$  pour couvrir adéquatement les plages de variation en période de crue et on construit le tableau suivant :

**Tableau V.2 :** Valeurs de  $h$  et les plages de variation en période de crue

$h_1$	$S_1$	$O_1$	$2S_1 / \Delta t + O_1$
$h_2$	$S_2$	$O_2$	$2S_2 / \Delta t + O_2$
$h_3$	$S_3$	$O_3$	$2S_3 / \Delta t + O_3$
...	...	...	...
	$h_n S_n O_n$		$2S_n / \Delta t + O_n$

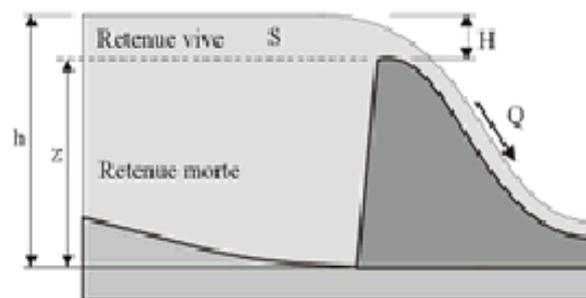
Les deux dernières colonnes du tableau permettent de tracer la fonction cherchée :

$$f(O) = \frac{2S}{\Delta t} + O \quad (V.10)$$

**V.2.1.4 Calcul du débit de sortie**

Il y a plusieurs types d'évacuation de l'eau des réservoirs. Globalement, on peut pratiquement tous les intégrer dans l'une ou l'autre des deux familles suivantes :

- 1) Evacuation a surface libre par un déversoir (figure V.3). Dans ce cas, le débit de sortie se calcule par une relation de la forme :



**Figure V.3 :** Evacuateur à surface libre à entonnement frontal

## ETUDE DETAILLEE DE CONFORTEMENT ET DE REHABILITATION DU BARRAGE MEDJEZ B'GAR

### CHAPITRE V

$$Q=CBH^{3/2} = CB (h - z)^{3/2} \quad (V.11)$$

ou : C : c'est une constante qui tient compte de la forme du déversoir

B : est la largeur de déversoir

H : est la charge au-dessus de la crête z en avant du déversoir,

h : est la profondeur d'eau en amont du déversoir.

- 2) Evacuation par le fond à travers une vanne ou un orifice le débit se calcule alors par une relation de la forme :

$$Q=mA \sqrt{2gh} \quad (V.12)$$

Ou :

m : est une constante de débit

A : est la section d'écoulement

h : est la hauteur d'eau à partir du centre de la section d'écoulement jusqu'à la surface libre.

#### V.2.1.5 Calcul du volume stocké

Quand la section A du réservoir est constante, le calcul du volume stocké S pour une profondeur h donnée se fait à l'aide de la formule simple suivante :

$$S=Ah \quad (V.13)$$

Ceci est le cas pour certains bassins de rétention artificiels construits en milieu urbain.

Pour les réservoirs naturels, les berges ne sont pas verticales .les courbes d'emmagasinement se présentent alors sous la forme :

$$S=a_0+a_1h+a_2h^2+a_3h^3+\dots+a_nh^n \quad (V.14)$$

Les coefficients  $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$  qui sont propres à chaque réservoir, doivent être déterminés à partir des relevés géodésiques sur le fond et les berges.

# ETUDE DETAILLEE DE CONFORTEMENT ET DE REHABILITATION DU BARRAGE MEDJEZ B'GAR

## CHAPITRE V

Que la section soit constante ou variable avec la profondeur, la connaissance de h permet de déterminer le volume stocké.

### Application de la méthode de Muskingum pour une largeur de déversoir b=32 m

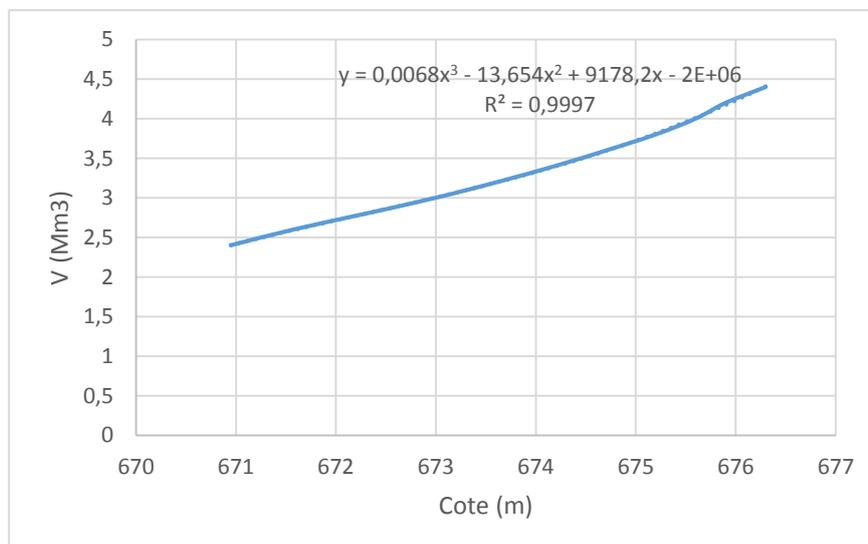
Le débit de sortie est calculé par la relation suivante :

$$Q=mb\sqrt{2g}H^{3/2} \quad (V.15)$$

Pour b= 32 m et m = 0,49 :  $Q= 56.70 H^{3/2}$

La courbe capacité –hauteur peut être modélisée par l'équation polynomiale (figure V.4) avec un coefficient de corrélation  $r =0.9997$  entre les altitudes 670.95m NGA et 676.3m NGA.

$$V(Mm^3) = 0,0068H^3 - 13.654H^2 + 9178.2H - 2 * 10^6$$



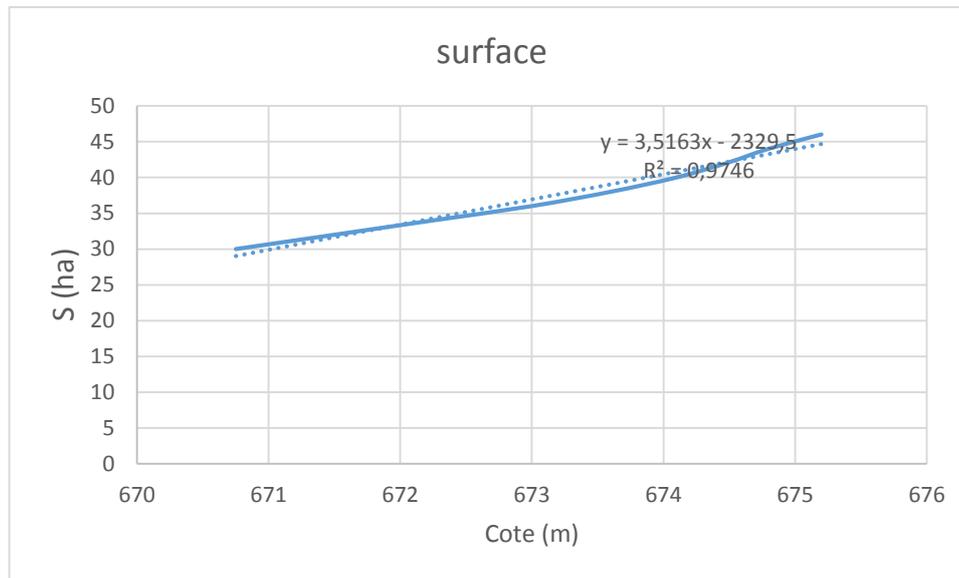
**Figure V.4 :** Modélisation de la courbe capacité- hauteur

La courbe surface –hauteur peut être modélisée par l'équation linéaire (figure V.5) avec un coefficient de corrélation  $r =0.9998$  entre les altitudes 670.75m NGA et 675.2m NGA.

$$S(ha) = 3.5163H - 2329.5$$

**ETUDE DETAILLEE DE CONFORTEMENT ET DE REHABILITATION DU  
BARRAGE MEDJEZ B'GAR**

**CHAPITRE V**



**Figure V.5 : Modélisation de la courbe surface-hauteur**

La première étape consiste à tracer la courbe caractéristique du barrage  $f(Q_s) = (2S/\Delta t + Q_s)$  :

Initialement le débit de sortie  $Q_s = 0 \text{ m}^3/\text{s}$  et la hauteur  $H = 0 \text{ m}$ , le volume stocké  $V_s = 0 \text{ m}^3$ .

La valeur maximal de débit d'entrée  $Q_e = 343 \text{ m}^3/\text{s}$  nous donne la plage à couvrir avec le variable  $H$  :  $343 = 43,41 H^{3/2}$ , soit  $H_{\max} = 3.32 \text{ m}$ .

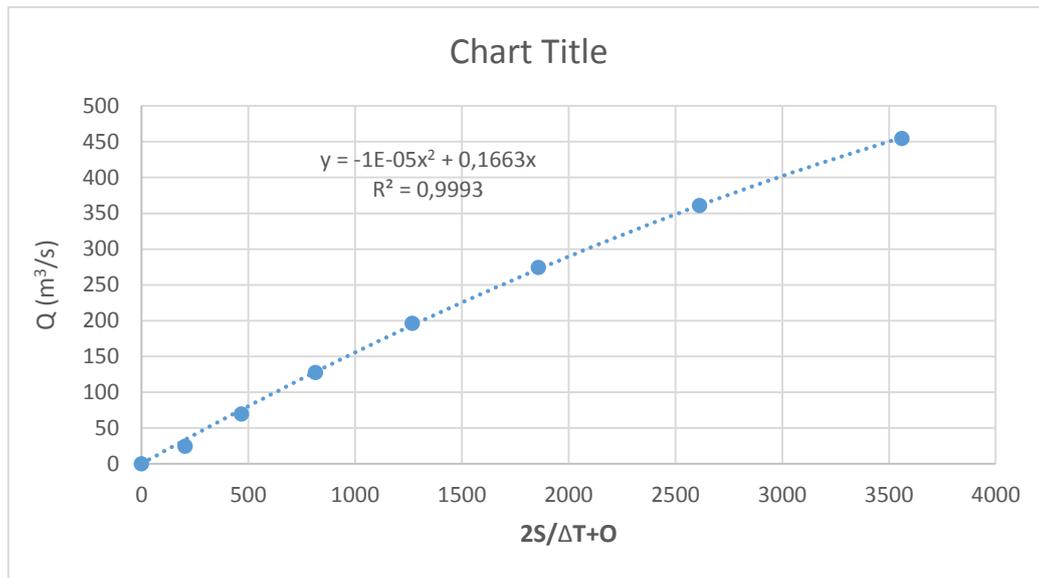
Les résultats obtenus pour des valeurs choisies de  $H$  sont donnés dans le tableau V.3

**Tableau V.3 : Calcul de la courbe caractéristique du barrage pour  $b=32\text{m}$ .**

<b>H (m)</b>	<b>COTE (m NGA)</b>	<b>Q (m³/s)</b>	<b>S (km²)</b>	<b>V (m³)</b>	<b>2S/ΔT+O</b>
0	671.2	0	0	0	0
0.5	671.7	24.5556009	323987.1	161993.55	204.5484342
1	672.7	69.4537277	359150.1	359150.1	468.5093943
1.5	674.2	127.594645	411894.6	617841.9	814.0856452
2	676.2	196.444807	482220.6	964441.2	1268.046141
2.5	678.7	274.539964	570128.1	1425320.25	1858.229131
3	681.7	360.892155	675617.1	2026851.3	2612.949155
3.5	685.2	454.776093	798687.6	2795406.6	3560.783426

**ETUDE DETAILLEE DE CONFORTEMENT ET DE REHABILITATION DU  
BARRAGE MEDJEZ B'GAR**

**CHAPITRE V**



**Figure V.6 :** Courbe caractéristique du barrage pour b=32 m.

Utilisons la courbe caractéristique du barrage et l'équation

$$2 \frac{S_2}{\Delta t} + O_2 = I_1 + I_2 + 2 \frac{S_1}{\Delta t} + O_1 - 2O_1 \quad (V.15)$$

On détermine l'hydrogramme des débits de sortie

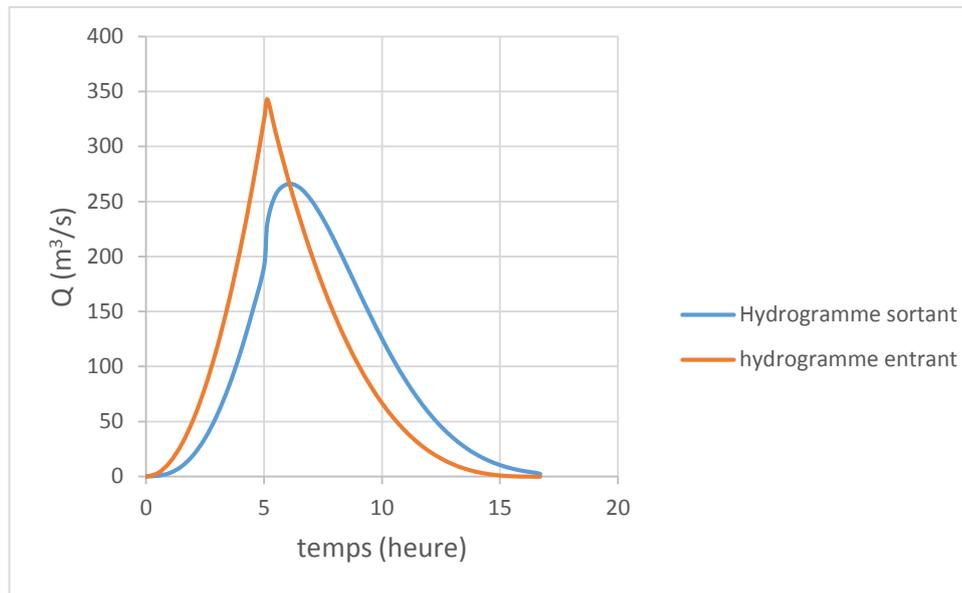
**Tableau V.4 :** Calcul de l'hydrogramme de sortie pour b=32 m.

<b>T</b> <b>(heure)</b>	<b>I</b> <b>(m³/s)</b>	<b>I1+I2</b> <b>(m³/s)</b>	<b>2S/Δt + O</b> <b>(m³/s)</b> <b>(1)</b>	<b>2S/Δt + O - 2O</b> <b>(m³/s)</b> <b>(3)</b>	<b>O</b> <b>(m³/s)</b> <b>(2)</b>
0	0	0	0	0	0
0.5	3.25	3.25	3.25	2.17	0.54
1	12.98	16.23	18.39	12.28	3.06
1.5	29.21	42.19	54.48	36.42	9.03
2	51.93	81.14	117.56	78.74	19.41
2.5	81.14	133.07	211.81	142.26	34.78
3	116.85	197.99	340.25	229.40	55.43
3.5	159.04	275.88	505.28	342.33	81.47
4	207.72	366.76	709.09	483.31	112.89
4.5	262.90	470.63	953.93	654.85	149.54
5	324.57	587.47	1242.32	859.99	191.16

**ETUDE DETAILLEE DE CONFORTEMENT ET DE REHABILITATION DU  
BARRAGE MEDJEZ B'GAR**

**CHAPITRE V**

<b>T (heure)</b>	<b>I (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>I1+I2 (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>2S/Δt + O (m<sup>3</sup>/s) (1)</b>	<b>2S/Δt + O – 2O (m<sup>3</sup>/s) (3)</b>	<b>O (m<sup>3</sup>/s) (2)</b>
5.14	343.00	667.57	1527.56	1066.17	230.70
5.5	311.96	654.96	1721.12	1207.92	256.60
6	272.03	583.99	1791.91	1260.14	265.88
6.5	235.67	507.70	1767.83	1242.36	262.74
7	202.70	438.36	1680.72	1178.21	251.26
7.5	172.95	375.65	1553.86	1085.33	234.26
8	146.27	319.23	1404.56	976.86	213.85
8.5	122.49	268.76	1245.62	862.36	191.63
9	101.43	223.92	1086.28	748.58	168.85
9.5	82.94	184.37	932.95	640.06	146.45
10	66.84	149.78	789.84	539.62	125.11
10.5	52.98	119.82	659.44	448.81	105.32
11	41.17	94.15	542.96	368.26	87.35
11.5	31.27	72.44	440.71	298.01	71.35
12	23.10	54.37	352.38	237.66	57.36
12.5	16.49	39.58	277.24	186.57	45.34
13	11.28	27.77	214.34	143.97	35.18
13.5	7.30	18.58	162.54	109.01	26.77
14	4.39	11.69	120.70	80.85	19.93
14.5	2.38	6.77	87.61	58.63	14.49
15	1.10	3.48	62.10	41.52	10.29
15.5	0.39	1.49	43.01	28.74	7.13
16	0.08	0.47	29.21	19.51	4.85
16.5	0.00	0.08	19.59	13.08	3.25
16.705	0.00	0.00	13.08	8.74	2.17



**Figure V.7 :** Hydrogrammes de sorties

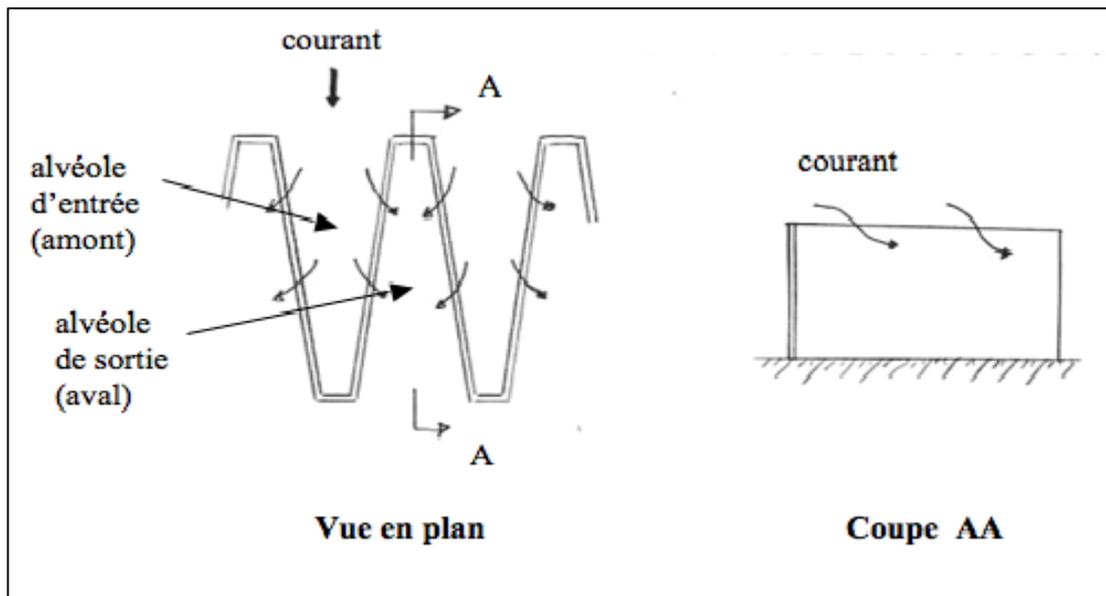
Les résultats de l'étude du laminage des crues d'après la méthode de muskingum sont suivant ;

- La charge déversant :  $hd= 1.80$  m
- La Largeur du déversoir :  $bd= 32$  m
- Débit de la crue max pour fréquence 0,033% :  $Q_{max0,033\%}= 343.00m^3/s$
- Débit de la crue max déversant pour fréquence 0,033% ;  $q_{max0,033\%}=265.88m^3/s$

### V.3 EVACUATEUR A SURFACE LIBRE A DEVERSOIR

#### LABYRINTHE

Pour augmenter la longueur d'une crête déversante, normalement rectiligne (variante 01 et 02), on peut leur donner une forme polygonale en plan. La figure V.8 représente un tel déversoir, *déversoir labyrinthe (labyrinth weir)*.



**Figure V.8** : Principe et forme du déversoir labyrinthe

- ✓ L'avantage du déversoir labyrinthe, comparé au déversoir à crête rectiligne, est une capacité de débit augmenté pour les charges faibles, de l'ordre de 1 à 2m. Cette structure est cependant inappropriée pour les débits importants.
- ✓ Comme exemple, L'évacuateur de crues du barrage de Keddara, aménagé sur l'oued Boudouaou en Algérie, est un bon exemple réel de cette variante. Pour ce barrage, deux variantes totalement différentes ont été étudiées, l'une incluant un évacuateur de crue rectiligne légèrement arqué (projet initial), et l'autre, un évacuateur en labyrinthe trapézoïdal (projet final), tel que le débit de projet est de  $250 \text{ m}^3/\text{s}$ , la première variante a donné 45 m de largeur pour un déversoir rectiligne, alors que la deuxième a donné une largeur de  $W=19 \text{ m}$  formés de 2 modules sachant que la charge est maintenue la même (2 m).

Dans cette variante, on va utiliser un dissipateur de type saut de ski.

### V.3.1. Dimensionnement du déversoir labyrinthe

L'étude d'optimisation a abouti à choisir une longueur déversante de 70 mètre, Ceci n'est valable que pour un déversoir rectiligne. Mais notre variante "Seuil en labyrinthe" a été choisi de façon à avoir un évacuateur plus économique déployé sur un espace de 32 m (la même largeur du coursier obtenue dans la première variante).

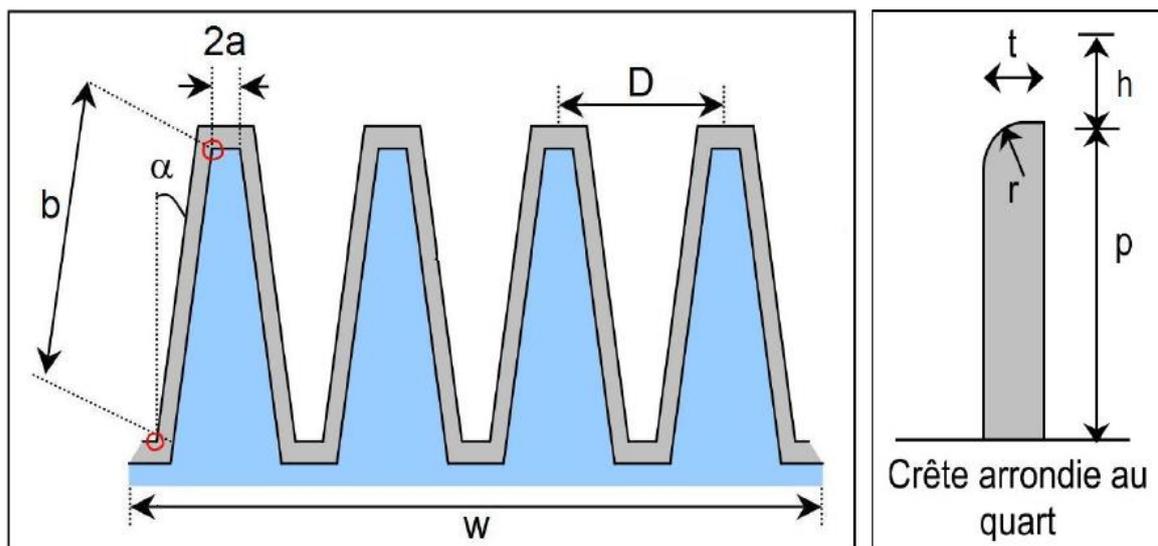
Pour un évacuateur différent d'un déversoir rectilignes le régime d'évacuation varie pour cela nous allons maintenir le débit et la charge et chercher la longueur déversante sous forme de labyrinthe (plusieurs becs de canards).

Du point de vue performance et construction, le déversoir labyrinthe à crête trapézoïdale en plan est un optimum (Hay et Taylor 1970).

Données de départ :

- ✓  $W$  : largeur représentée sur le **figure V.8**  $W = 32\text{m}$
- ✓  $QL$  : Débit évacué détermine par laminage :  $QL = 265.88\text{m}^3/\text{s}$
- ✓  $H$  : Charge hydraulique :  $H = 1.8\text{ m}$
- ✓  $P$  : hauteur de la pelle :  $P = 0.5\text{ m}$ .

On considère un élément de base de largeur  $D$  d'un déversoir labyrinthe et de longueur déversant :  $L = 4a + 2b$  (**figure V.9**)



**Figure V.9** : Géométrie du déversoir labyrinthe

# ETUDE DETAILLEE DE CONFORTEMENT ET DE REHABILITATION DU BARRAGE MEDJEZ B'GAR

## CHAPITRE V

La performance  $q^*$  du déversoir défini comme le rapport entre le débit du déversoir labyrinthe du projet) et celui du déversoir rectiligne :  $Q_L/Q_R$

### V.3.1.1. Calcul de débit rectiligne

C'est le débit à charge égale à celle du labyrinthe et de même largeur, On a la formule de débit normal suivante :

$$Q_R = \mu b \sqrt{2g} H^{3/2} \quad (V.16)$$

Avec  $\mu$  : coefficient de débit  $\mu = 0,49$ .

$b = 30$  m et  $H = 1,9$  m ;

Donc :  $Q_R = 69,45 \text{ m}^3/\text{s}$

### V.3.1.2. Calcul de géométrie de déversoir

La géométrie de déversoir est complètement définie par le rapport caractérisant l'augmentation de la largeur  $L/D$ , l'angle  $\alpha$ , le nombre d'élément de base  $n$ , et la hauteur relative du déversoir  $D/P$ ,

Donc :  $q^* = 265.88 / 69.45 = 2,18$      $q^* = 3,83$

Et :  $H/P = 1,8 / 5 = 0,36$  ;     $H/P = 0,36$

Avec  $(H/P, q^*) = (0,36, 3.83)$  l'abaque 3 – ANNEXE 1 ( $D/p > 2$ ) donne l'augmentation de largeur :  $L/D = 3.9$

On propose une largeur d'un élément de base :

$$D = 10 \text{ m} \text{ donc } L = 39 \text{ m}, n = 4.$$

On calcule les détails de déversoir :

- $L = 4a + 2b = 39$  donc on pose  $a = 1,25$  m et on trouve :  $b = 17$  m
- $t = P/6$  ;  $t \approx 0,8$  m.
- $r = P/12$  ;  $r \approx 0,5$  m.

- *Calcul de l'angle  $\alpha$*

$$D=4a + 2b*\sin \alpha \Rightarrow 2a + b*\sin \alpha = D/2 \Rightarrow \sin \alpha = (D/2 - 2a) / b$$

$$\alpha = 8.46^\circ$$

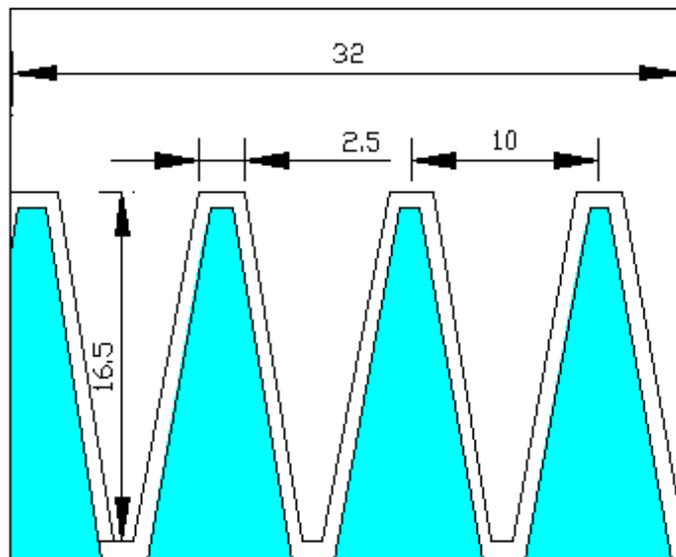


Figure V.10: Dimensions du déversoir labyrinthe

### V.3.1.3 Calcul hydraulique du déversoir

Notre déversoir labyrinthe est formé par trois bacs de canard, il très difficile de déterminé la hauteur d'eau à l'intérieur de chaque bec car il y a l'influence de deux cote pour cela nous allons considérer une hauteur égale à  $Y_{\text{amont}}$  du coursier parce que ce tronçon est formé d'une faible pente.

### V.3.1.4 Le coursier

Dans cette variante, le coursier suit directement le déversoir.

Les données de base de calcul de la ligne d'eau sont :

- $L=70\text{m}$
- $I=45\%$
- $n=0,011$
- $B=32\text{ m,}$

# ETUDE DETAILLEE DE CONFORTEMENT ET DE REHABILITATION DU BARRAGE MEDJEZ B'GAR

## CHAPITRE V

### ✓ Calcul de la ligne d'eau

- *Méthode indirecte d'intégration numérique*

Cette méthode est une solution de l'équation différentielle du mouvement pour les canaux prismatiques, l'équation à résoudre, en considérant  $dQ/dx=0$ , est:

$$dy / dx = (S_0 - S_f) / (1 - Fr^2) \quad (V.17)$$

Avec :

$S_0$  : pente du fond.

$S_f$  : pente de la ligne d'énergie.

$Fr$  : nombre de Froude

En tenant compte de l'hypothèse que la pente de la ligne d'énergie  $S_f$  peut être calculée pour chaque profondeur en utilisant l'équation de Manning. L'équation devient en

différences finies :

$$\frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{S_0 - (n^2 Q^2) / (A^2 R^{4/3})}{1 - (Q^2 B) / (g A^3)} \quad (V.18)$$

$n$ : coeff. De rugosité = 0,011.

$A$  : la section transversale.

$Q$  : le débit,  $R$  : rayon hydraulique.

$B$  : la largeur.

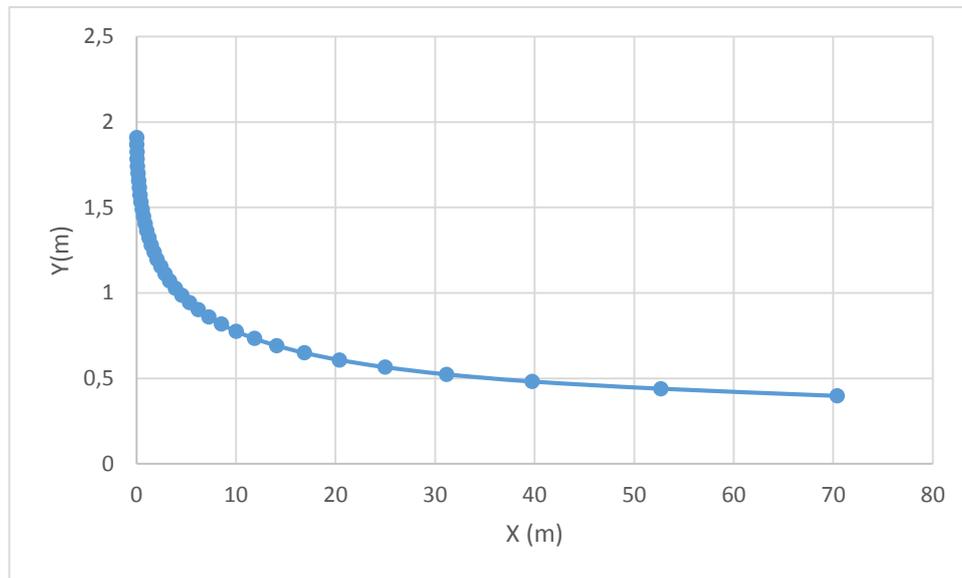
On donne des valeurs arbitraires à  $y_i$  et on calcul la distance  $\Delta x$  correspondante aux profondeurs  $y_i$ , et on calcul la profondeur moyenne :  $y_{moy} = \frac{y_i + y_{i+1}}{2}$ .

Cette valeur permet de calculer la section mouillée moyenne et le rayon hydraulique moyen, on calcul  $\Delta x$  à chaque valeur de  $y_i$ , utilisant  $y_{moy}$ , et en l'ajoute à  $\Delta x$  cumulés jusqu'à cette étape si la somme est supérieur à la longueur  $L$ , et on continue avec une valeur de  $y_i < y_i$  jusqu'à trouver la somme de  $\Delta x$  égal à la longueur  $L$  de coursier.

Les détails de calcul sont présentés dans l'ANNEXE V

**ETUDE DETAILLEE DE CONFORTEMENT ET DE REHABILITATION DU  
BARRAGE MEDJEZ B'GAR**

**CHAPITRE V**



**Figure V.11** : Graphique de la ligne d'eau dans le coursier

✓ **Détermination de la hauteur des murs bajoyers**

Les hauteurs des murs bajoyers sont déterminées comme suit :

$$H_{baj} = H + R$$

Avec : R : Revanche (m).

$$R = 0.06 + 0.05 * V * H^{(1/3)} \quad (V.17)$$

Et d'après la ligne d'eau les hauteurs des murs varient dans chaque tronçon de coursier en fonction de la profondeur d'eau et la vitesse de l'écoulement.

Le calcul des hauteurs des murs sont représentées dans le tableau suivant :

**Tableau V.05** : Hauteur des murs bajoyers

L (m)	H (m)	V	R (m)	H <sub>baj</sub>
0.0	1.9	4.3	0.3	2.2
10.0	1.8	4.6	0.3	2.2
20.0	1.7	4.8	0.3	2.1
30.0	1.6	5.1	0.4	2.0
40.0	1.5	5.5	0.4	1.9
50.0	1.4	5.9	0.4	1.8
60.0	1.3	6.3	0.4	1.7
70.0	1.2	6.8	0.4	1.6

# ETUDE DETAILLEE DE CONFORTEMENT ET DE REHABILITATION DU BARRAGE MEDJEZ B'GAR

## CHAPITRE V

- ✓ **Vérification des phénomènes d'aération et les vagues roulantes le long de coursier**
- ✓ **Aération de coursier**

L'écoulement à grande vitesse dans le coursier présente un risque élevé de dégâts liés à l'érosion du fond suite à la cavitation, le phénomène d'aération commence à partir d'une section où  $V > V_{cr}$ .

$V_{cr}$  est donnée par la formule de VOINITCH SYANOGENSKY :

$$V_{cri} = 6.63 \cdot \sqrt{g \cdot R \cdot \cos \theta} \cdot \sqrt{1 + \frac{0.0011}{R^2}} \cdot \left(1 + \frac{8.71 \cdot n}{R^{1/6}}\right) \quad (V.18)$$

Avec:  $V_{cr}$  : La vitesse critique.

$\theta$  : Angle d'inclinaison du radier du coursier.  $I = 8\% \Rightarrow \theta = 4,57^\circ$

$I = 30\% \Rightarrow \theta = 16,7^\circ$

R: Rayon hydraulique.

n : Coefficient de rugosité. (n=0.011).

Le calcul de  $V_{cr}$  pour chaque section dans le coursier est représenté dans le tableau suivant :

**ETUDE DETAILLEE DE CONFORTEMENT ET DE REHABILITATION DU  
BARRAGE MEDJEZ B'GAR**

**CHAPITRE V**

**Tableau V.06 : Vérification de phénomène d'aération**

Section	Y (m)	R (m)	V (m/s)	Vcr (m/s)	Vcr > V
0	1.92	1.71	4.33	21.60	vérifié
1	1.82	1.63	4.57	21.10	vérifié
2	1.72	1.55	4.83	20.58	vérifié
3	1.62	1.47	5.13	20.04	vérifié
4	1.52	1.39	5.47	19.48	vérifié
5	1.42	1.30	5.85	18.90	vérifié
6	1.32	1.22	6.29	18.29	vérifié
7	1.22	1.13	6.81	17.65	vérifié
8	1.12	1.05	7.42	16.98	vérifié
9	1.02	0.96	8.15	16.28	vérifié
10	0.92	0.87	9.03	15.54	vérifié
11	0.82	0.78	10.13	14.74	vérifié
12	0.72	0.69	11.54	13.90	vérifié
13	0.62	0.60	13.40	12.98	Non vérifié
14	0.52	0.50	15.98	11.99	Non vérifié
15	0.42	0.41	19.78	10.90	Non vérifié
16	0.398	0.39	20.88	10.64	Non vérifié

le phénomène d'aération est assurée au long de coursier jusqu' a la section 13 ou la condition est n'est pas vérifier donc on aura un donc problème des vagues roulantes dans les dernière mètres.

Dans la section 16 pour que la condition soit vérifier il faut que  $V < V_{cr} = 10.64$  m/s.

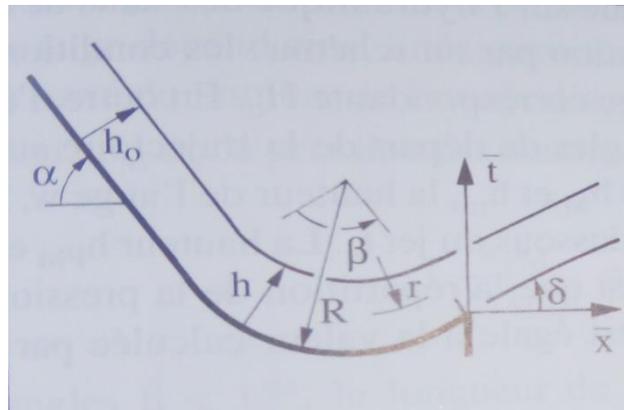
Si on prend  $V = 10.64$  m/s la rugosité sera :

Par calcul itératif avec Excel,  $n = 0,03$

Alors le coefficient de rugosité doit être supérieur à 0.03 pour éviter l'écoulement airé et non apparition de phénomène des vagues roulantes.

#### **IV.3.1.5 Dissipateur d'énergie**

Il existe plusieurs types d'ouvrage de restitution et dont le choix d'utilisation est fonction des critères technique et économique. Pour cette variante, *un saut de ski* s'avéré intéressant vue la topographie (afin d'éviter des quantités énorme d'excavation), et le gain de béton éventuel pour un bassin d'amortissement (en comparant avec bassin de type USBR). Le principe consiste à installer, en bas du coursier, un bec relançant l'eau vers le haut suivant un angle  $\theta$ .



**Figure V.12 :** Auge de dissipation <saut de ski>(Wili H. Hager & Schleiss, 2009)

#### **V.3.1.5 Type de l'écoulement**

Le saut de Ski est composé d'une partie courbe dans la coupe longitudinale et d'une zone d'impact à l'aval.

On distingue deux cas d'écoulement, le premier cas apparait pour des débits relativement faibles et se manifeste par un ressaut hydraulique et un déversement à son extrémité avale, le deuxième cas est celui du jet qui s'élance vraiment dans l'air et dont la zone d'impact se trouve loin à l'aval.

#### **V.3.1.6 Dimensionnement du dissipateur**

Le dimensionnement du dissipateur consiste à répondre aux questions suivantes :

- ✓ Quelles sont les hauteurs avales extrêmes qui permettent un dimensionnement satisfaisant du dissipateur ?
- ✓ Quel est le rayon de courbure R de l'auge (rayon minimum nécessaire) ?

**ETUDE DETAILLEE DE CONFORTEMENT ET DE REHABILITATION DU  
BARRAGE MEDJEZ B'GAR**

---

**CHAPITRE V**

Le  $R_{min}$  dépend de la charge  $H_1$  et de nombre de Froude.

**V.3.1.7 Caractéristique de l'écoulement**

Au préalable, il est nécessaire de déterminer les caractéristiques de l'écoulement à l'amont (au niveau de l'auge).

- ✓ le débit unitaire : .....  $q_1 = 8,31 \text{ m}^2/\text{s}$ .
- ✓ la hauteur d'eau à l'amont : .....  $h_1 = 0,398 \text{ m}$ .
- ✓ La vitesse :  $V=Q/(B*h_1)$ .....  $V=20,88 \text{ m/s}$ .
- ✓ Le nombre de Froude :  $F = \frac{V}{\sqrt{g*h_1}}$ .....  $F=10,57$ .
- ✓ La charge d'eau :  $H_1=h_1+V^2/2g$  .....  $H_1=22,22 \text{ m}$ .

La répartition des vitesses  $V = V(r)$  à travers l'auge à angle d'ouverture  $\beta$  suit la loi

**$V \cdot r = \text{constante}$**

Avec :

$r$  : rayon de courbure de la ligne d'eau.

La pression au fond du canal est donnée par la relation suivante :

$$\Delta P_f = \frac{F^2 \rho g h_1^2}{R} \quad (\text{V.19})$$

Avec :  $R$  : Rayon de courbure de l'auge qui dépend du nombre de Froude

$F = 10,57$ , l'abaque N° 4 – annexe 1 donne

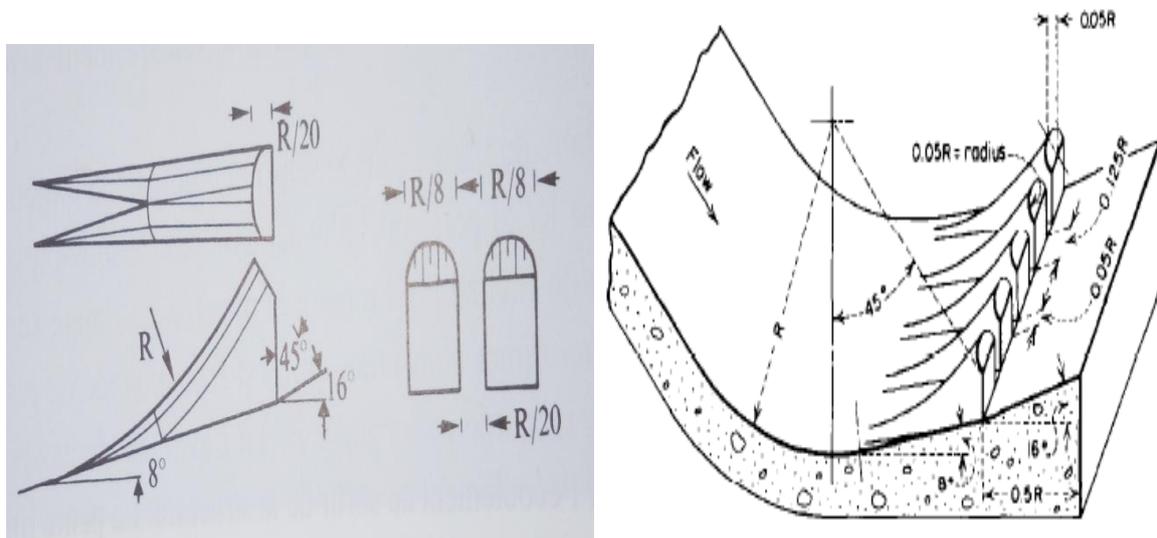
$\frac{R_{min}}{H_1} = 0,17$ , Donc :  $R_{min} = H_1 * 0,17 = 25,41 * 0,15 = 3,33 \text{ m}$ . On prend  **$R=4 \text{ m}$** .

D'où :  $\Delta P_f = 43,40 \text{ KN/m}^2$

L'auge de dissipateur du saut de ski sera munie de dents cette variante (Type 5) se distingue de la variante sans dents, car elle est plus favorable du point de vue dissipation.

# ETUDE DETAILLEE DE CONFORTEMENT ET DE REHABILITATION DU BARRAGE MEDJEZ B'GAR

## CHAPITRE V



**Figure V.13** : Dent du dissipateur à auge USBR (Wili H. Hager & Schleiss, 2009)

La largeur d'une dent est :  $R / 8 = 0,5$  m

L'espace libre entre les dents est :  $R / 20 = 0,2$  m

Le point le plus bas de l'auge se trouve à 0,3 m ou dessous du radier à une longueur de  $R / 2 = 2$  m à l'aval des dents, sert à faire jaillir le jet et uniformiser l'écoulement à la sortie de la structure.

- **Nombre de dents du saut de ski**

On a  $R=4$  m alors :

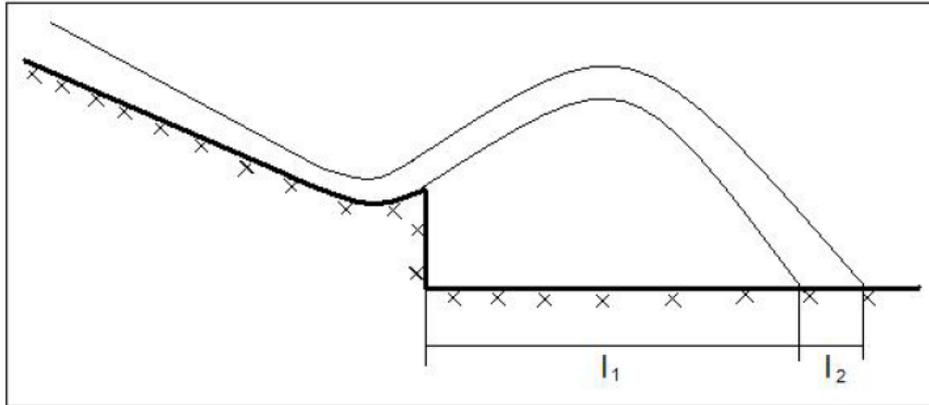
Largeur des dents :  $0.125R=0.5$  m

Espacement entre les dents :  $0.05R=0.2$  m

Nombre totale :  $n=32-0.2/0.7= 45.4$

Alors  $n=45$  dents

- *Détermination des longueurs de trajectoire de jet*



**Figure V.14 :** Schéma explicatif des longueurs de trajectoire

$$l_1 = \frac{V_1^2}{2g} \cos\alpha \left( \sin\alpha + \sqrt{\frac{2g(p+\frac{h}{2})}{V_1^2} + \sin\alpha} \right) \quad (V.20)$$

On prend :  $p = 1 \text{ m}$  ;

$\alpha = 16^\circ$  (voir figure VI.23)

$V_1$ : La vitesse à l'entrée de l'auge (m/s).

**A.N:  $l_1 = 25,38 \text{ m}$ .**

$$l_2 = L \cos \Theta \quad (V.21)$$

Avec :

$$L = 1,4 \cdot q \cdot \log \frac{V_1}{V_x \cdot a} \quad (V.22)$$

Avec :

$V_1$ : La vitesse à l'entrée de l'auge (m/s).

$V_x$ : la composante horizontale de la vitesse d'entrée de l'auge (m/s).

$q$  : Débit spécifique =  $8,31 \text{ m}^2/\text{s}$

$a$  : Coefficient empirique de Vitesse =  $0,75$

**ETUDE DETAILLEE DE CONFORTEMENT ET DE REHABILITATION DU  
BARRAGE MEDJEZ B'GAR**

---

**CHAPITRE V**

$$V_1 = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} \quad (\text{V.23})$$

Avec :  $V_x = V_1 \cdot \Psi$

Où :  $\Psi$  : coefficient de vitesse :  $\Psi = 0,95$   $V_1 = 20,88$  m/s.

Ce qui donne :  $V_x = 19,836$  m/s.

A.N: **L=1, 71 m.**

$$\tan\theta = \sqrt{\tan^2\alpha + \frac{2g(p+\frac{h}{2})}{V_1^2 \cdot \cos\alpha}} \quad (\text{V.24})$$

A.N:  **$\theta = 28,81^\circ$**

D'où :  **$l_2 = 1,50$  m.**

Donc :  $l = l_1 + l_2 = 26,88 \approx 27$  m.

**• Détermination des profondeurs à l'aval**

$$F_1 = 10,57 \text{ et } \frac{R_{\min}}{H_1} = 0,17$$

D'après l'abaque 05 – annexe 1

➤  $Y_{\min} = 16,9.$

$$Y_{\min} = h_{2\min} / h_1 \Rightarrow h_{2\min} = h_1 \cdot Y_{\min} = 0,398 * 16,9 = 6,726 \text{ m.}$$

➤  $Y_{\max} = 24,2.$

$$Y_{\max} = h_{2\max} / h_1 \Rightarrow h_{2\max} = h_1 \cdot Y_{\max} = 0,398 * 24,2 = 9,632 \text{ m.}$$

Les hauteurs aval peuvent varier entre 6,726 et 9,632 m, mesuré à partir du point le plus bas de l'auge.

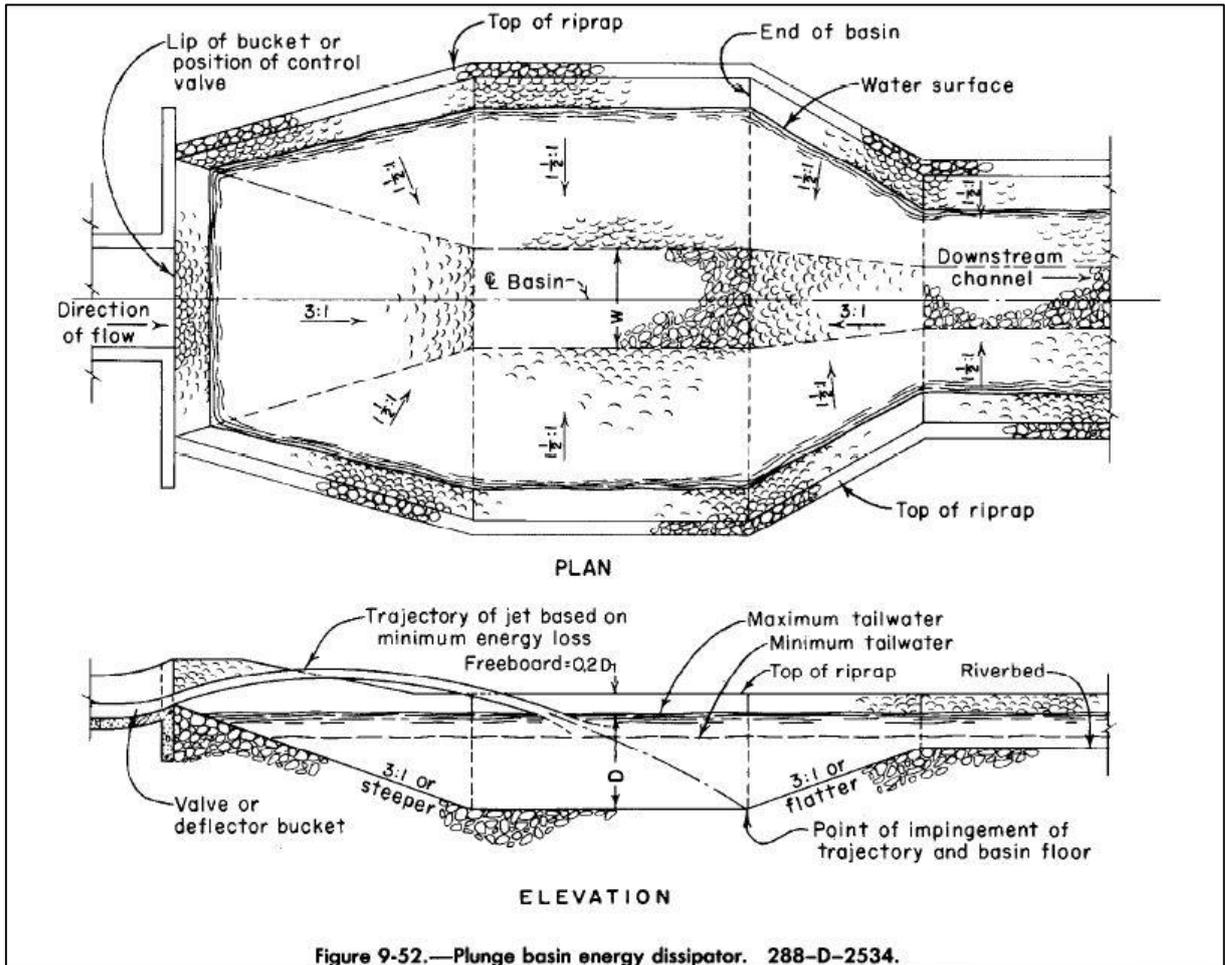
**ETUDE DETAILLEE DE CONFORTEMENT ET DE REHABILITATION DU  
BARRAGE MEDJEZ B'GAR**

**CHAPITRE V**

- *Dimensionnement du bassin de restitution*

La chute d'une nappe déversant dans un bassin contenant une épaisseur d'eau suffisante est un excellent moyen d'absorber l'énergie.

Pour notre cas nous utilisons un bassin de plongée selon USBR



**FigureV.15** : Bassin plongé de type USBR(Design of small dams, 1987)

- *Détermination de la profondeur de la fosse d'amortissement*

$$D = 1,32H^{0,225}q^{0,54} \quad (V.25)$$

Avec : q : débit spécifique (m<sup>2</sup>/s)

H : différence de cote entre NPHE et cote d'eau aval

A.N : D=8,73 m.

#### **V.4 VIDANGE DE LA RETENUE PAR POMPAGE**

La vidange de la retenue est impossible par le vidange de fond une solution par pompage est proposé et mis en place sera donc composé de 3 pompes de 300l/s : 2 pompes en fonctionnement et 1 pompe de réserve. Il devra être possible de démarrer la 3ème pompe en parallèle des deux premières pour faire face à une vidange lors d'une année humide de période de retour 5 ans ; dans ce cas le temps de vidange sera d'environ 20 jours.

Le pompage n'est pas dimensionné pour vidanger la retenue lors d'un épisode de crue. Les installations temporaires rendues nécessaires par ces travaux de pompage (puit de pompage, plateforme flottante..) ne sont pas soumises à des indemnités de submersion et devront par conséquent être dimensionnées en conséquence.

L'attention du Titulaire est portée sur le fait qu'en raison de la présence de sédiments, l'eau pompée sera particulièrement chargé.

#### **V.5 LES VANNES**

Les quatre vannes qui équipent la prise d'eau et la vidange de fond du barrage ne sont plus fonctionnelles. Il est donc nécessaire de les remplacer et les motoriser.

La vanne proposé à remplacer est une vanne à opercule préparée pour actionneur électrique de la marque VAG EKO® plus avec les mêmes caractéristiques que l'ancienne vanne.

Les caractéristiques de vanne à opercule proposé sont les suivantes :

- Système d'étanchéité/standard : Etanchéité souple selon EN 1074 (DIN 3352 - 4B).
- Encombrement : selon EN 558, série de base 15 (DIN 3202, F5).
- Raccordement à brides selon EN 1092-2.
- Couple de manœuvre réduit grâce au guidage de l'opercule.
- Préparé pour actionneur électrique.
- Tige sans maintenance.
- Tige avec étanchéité par 3 joints toriques.
- Faible usure grâce au guidage de l'opercule et palier prolongé de la tige.
- Etanche jusqu'à 90% de vide.

Plus de détails sur la vanne sont présentés dans L'ANNEXE V.



**Figure V.16 :** Vanne à opercule VAG EKO®plus

## **V.6 CHEMISAGE DES CONDUITES**

Dans le cas l'inspection préliminaire révèle des dégradations trop importantes pour permettre une réutilisation en l'état, une rénovation des conduites est envisagée. Elle consiste à remplacer les tronçons de conduite acier libres à l'identique, et chemiser les conduites existantes.

Le chemisage consiste à :

- Réaliser le curage et la préparation de la conduite,
- Mise en place de chemise en fibre de verre imprégnée de résine polyester insaturé par traction.
- Gonflage de la chemise à l'air comprimé,
- Polymérisation de la chemise à l'aide d'un train de lampe UV,
- Inspection vidéo avant remise en service.

# ETUDE DETAILLEE DE CONFORTEMENT ET DE REHABILITATION DU BARRAGE MEDJEZ B'GAR

---

## CHAPITRE V

Le chemisage de la réduction DN800-DN500 sera réalisé au moyen d'une pièce de chaudronnerie spécialement conçue. La position exacte de cette réduction n'étant pas connue, le chemisage est envisagé en 2 étapes :

- Chemisage du tronçon DN800
- Chemisage du tronçon DN500

Des bagues inox situées aux extrémités de chaque conduite permettent d'éviter les phénomènes de décollement.

Cette solution sera ouverte à variante. Dans tous les cas le soumissionnaire devra proposer dans son mémoire la solution technique proposée. Cette solution devra justifier :

- L'étanchéité parfaite entre le chemisage et la conduite existante sur toute la longueur,
- La résistance à la pression, pour une pression de service de 25m. une épreuve hydraulique à 1,5 fois la pression de service sera réalisée,
- La résistance aux fortes vitesses de passage et à l'abrasion, la conduite étant soumise à des vitesses d'écoulement supérieures à 15m/s.

### V.6.1 TECHNIQUE DE CHEMISAGE DES CONDUITES (Ooreka.fr, 2018)

Le chemisage de canalisations est un procédé de réparation qui intervient lorsque les canalisations ont été détériorées par des tassements, la corrosion, l'environnement extérieur (racines d'arbre), l'eau (usure avec le temps), l'homme (suite à des travaux) ou parce qu'elles sont en plomb ou contiennent de l'amiante (obligatoire, car dangereux pour la santé).

#### V.6.1.1 Procédé de chemisage des conduites

C'est une technique de réparation dite non destructive (elle ne nécessite aucun enlèvement), qui s'emploie sur les conduites de grande longueur non visitables, avec un diamètre compris entre 15 et 125 cm.

# ETUDE DETAILLEE DE CONFORTEMENT ET DE REHABILITATION DU BARRAGE MEDJEZ B'GAR

---

## CHAPITRE V

Le chemisage s'applique principalement en évacuation (écoulement gravitaire des eaux usées, des eaux pluviales, des effluents industriels). Il peut aussi être réalisé (sous conditions) pour un réseau sous pression.

On insère une enveloppe souple enduite de résine durcissant (époxy, polyester ou vinylester) à l'intérieur même de la canalisation détériorée (placage de la résine contre les parois de l'ancienne canalisation).

Ce procédé permet de rendre étanches les canalisations et de bloquer tout contact entre le matériau de la conduite (dans le cas du plomb) et l'eau qu'elle transporte.

### **V.5.1.2 Avantages chemisage des conduites**

Le chemisage des conduites offre plusieurs avantages dont :

- la tenue mécanique (excellente) ;
- la faible réduction de section de la conduite ;
- la rapidité d'exécution (minime) ;
- la diminution des risques d'accident ;
- l'impact environnemental moindre ;
- l'absence d'espace annulaire ;
- des conditions de mise en œuvre favorisées.

### **V.6.1.3 Réalisation de chemisage des conduites**

- *Les différentes phases*

Des travaux préparatoires sont nécessaires pour la réalisation d'un chemisage : les effluents doivent être détournés ; la conduite à réparer doit être curée ; une IT (inspection télévisée) de la canalisation est effectuée pour vérifier son état ; la conduite est préparée avant travaux (robot multifonctions).

Concernant le chemisage en lui-même :

# ETUDE DETAILLEE DE CONFORTEMENT ET DE REHABILITATION DU BARRAGE MEDJEZ B'GAR

---

## CHAPITRE V

1. La gaine à insérer, en fibre de verre ou en feutre, est imprégnée (sur chantier ou usine), puis elle est mise en place par traction ou inversion (procédés distincts).
2. La polymérisation de la résine est réalisée grâce à l'apport d'une énergie calorifique. Différents procédés peuvent être utilisés (résistance électrique, eau chaude, vapeur, UV).
3. Lorsque la résine est polymérisée, les branchements sont ré-ouverts (fermés au préalable).
4. Une nouvelle IT est réalisée pour vérification du chemisage avant la remise en eau.

## CONCLUSION

Le déversoir en seuil labyrinthe représente une solution efficace pour l'accroissement de la capacité d'évacuation des crues de notre barrage. Il peut être une solution économique pour les évacuateurs de crues des nouveaux barrages. Ce type de déversoir se caractérise par :

- ✓ Sa simple configuration géométrique qui permet l'utilisation des éléments préfabriqués.
- ✓ Son fonctionnement est similaire aux déversoirs à écoulement libre mais beaucoup plus efficace.
- ✓ Réduit considérablement le coût de la plupart des nouveaux barrages et garanti leur sécurité.
- ✓ Améliorer la prévention des crues.

Le confortement et la réhabilitation du barrage MEDJEZ B'GAR ne consiste pas seulement au redimensionnement de l'évacuateur de crue mais un vidange de retenue par pompage est proposés, un chemisage des conduites et un changement des vannes sont programmées.



# CHAPITRE VI :

ORGANISATION ET SECURITE DES  
TRAVAUX DE CHANTIER MEDJEZ B'GAR



**CHAPITRE VI**

**ORGANISATION ET SECURITE DES TRAVAUX DE CHANTIER  
MEDJEZ B'GAR**

**PARTIE 1 : ORGANISATION DE CHANTIER**

**VI.INTRODUCTION**

La réalisation des travaux de confortement d'un barrage se déroulera dans de bonnes conditions. A cet effet un plan de travail sera établi, comportant un planning prévisionnel des travaux, prévision des moyens humains, matériels et matériaux.

Une reconnaissance meilleur du lieu de chantier aide énormément à dresser un planning technologique des engins et leur utilisation rationnelle dans les diverses opérations, afin de pouvoir répondre aux conditions d'espace et de temps dictés par le marché et améliorer sa rentabilité.

Une bonne organisation de chantier intervient grossièrement dans la diminution du prix de l'ouvrage (en diminuant les délais de réalisation) pour qu'il ne soit pas onéreux. Ces constructions présentent des difficultés énormes, mais pour ce faire, et quelques que soient les problèmes rencontrés, il est impératif d'avoir une connaissance exacte de l'organisation de chantier.

Notre étude consistera donc à organiser le chantier du barrage MEDJEZ B'GAR tout en assurant :

- Une meilleure qualité (étude approfondie, choix de la main d'œuvre, choix des matériaux...etc.)
- La rapidité de réalisation des diverses opérations.
- Une économie : synchronisation et réduction des travaux.
- Une organisation de l'emploi du matériel et du personnel en garantissant leur sécurité.

Ces facteurs revêtent une importance majeure pour l'exécution des travaux dans les meilleures conditions.

**CHAPITRE VI**

**VI.1 ORGANISATION TECHNIQUE ET DONNEES  
PREPARATOIRES**

Les opérations essentielles dans l'organisation technique pour la construction commencent par la préparation des documents qui donnent droit à l'organisme l'exécution des travaux de construction.

L'organisation technique de préparation passe par les étapes suivantes :

- 1- Période de préparation, consiste à établir l'ordre chronologique et la cadence de réalisation des travaux en qualités et en quantités.
- 2- Mesure d'approvisionnement du chantier en matériaux de construction concernant le lieu et la qualité.

**VI.2. LES PRINCIPAUX INTERVENANTS SUR CHANTIER**

Avant d'entamer les travaux d'exécution du barrage, il est indispensable de rappeler les rôles des différentes personnes amenées à intervenir dans l'acte de construction.

**a) Le maître de l'ouvrage**

C'est une personne physique ou morale dont le rôle est de définir le but à atteindre (programme), d'organiser un financement, de passer et de régler les marchés des travaux. Après la réception des ouvrages, il en est le propriétaire et parfois le gestionnaire.

**b) Le maître d'œuvre**

C'est une personne physique ou morale, chargée par le maître de l'ouvrage de recevoir l'ouvrage, d'établir le dossier de consultation des entreprises, d'assister le maître d'ouvrage dans le dépouillement des offres, de contrôler l'exécution des travaux et de proposer leur réception et leur règlement, après en avoir établi le décompte.

Pour le cas d'un barrage, le maître d'œuvre est souvent chargé, en outre d'interpréter son obligation jusqu'à l'achèvement de la phase de la mise en eau et de régler le rapport de la première mise en eau.

## **CHAPITRE VI**

### **c) L'entrepreneur**

Personne physique ou morale, titulaire d'un marché de travaux conclu avec le maître d'ouvrage, chargée de l'exécution des travaux et, parfois, de la conception détaillée des ouvrages. L'entrepreneur est responsable du chantier et de l'ouvrage en cours de construction tant que celui-ci n'a pas été réceptionné.

## **VI.3 TRAVAUX PREPARATOIRES ET INSTALLATION DE CHANTIER**

L'implantation d'un chantier nécessite un terrain de larges espaces, afin de ménager les divers aires de stockages et des pistes de circulation d'engins, suivie de leur occupation progressive par les locaux, engins, poste fixes de travail. On peut distinguer les installations suivantes :

### **VI.3.1 Installations destinées au personnel**

En générale, sont les dortoirs ; les réfectoires, les installations sanitaires et les bureaux de chantier...etc.

### **VI.3.2 Installations destinées au stockage des matériaux**

Pour les ciments nous utilisons soit, des silos métalliques, soit des baraquements en bois ou en métal. Les agrégats stockés peuvent être en plein air, on doit seulement prévoir un croisement entre les différents types d'agrégats, pour éviter leur mélange et la faciliter de dosage du béton, et les aciers dans des baraquements, hangars afin d'éviter leur oxydation.

### **VI.3.3 Installations destinées à la réparation des engins**

En général, les grosses réparations ne se font pas sur le chantier lui-même, mais il importe de disposer d'un atelier suffisamment bien équipé pour assurer l'entretien courant et les réparations d'urgence des différents matériels.

## **CHAPITRE VI**

### **VI.3.4 Installation destinée pour la préfabrication**

Pour cette installation, elle est constituée des hangars munis de matériel nécessaire permettant la réalisation des éléments de l'ouvrage tels que les poutres, dalles, conduites...etc.

- **Fabrication des granulats**

Les granulats sont fabriqués dans les stations de concassage ils seront acheminés jusqu'à l'aire de stockage par des camions benne.

### **VI.4 TRAVAUX DE REALISATION**

#### **VI.4.1 Implantation Des Ouvrages Sur Chantier**

Ou appelé autrement le piquetage, on peut la considérer la tâche la plus importante dans les travaux, c'est la matérialisation de l'ouvrage (ainsi que ses annexes et les installations cités précédemment) par des piquets sur terrain.

Il y'a deux types de piquetage :

- Piquetage principal : concerne les axes de l'ouvrage.
- Piquetage secondaire : (ou complémentaire) concerne les bords de l'ouvrage (ou le contour).

#### **VI.4.2 Travaux De Terrassements**

Pour la réalisation des travaux de terrassements, il est nécessaire d'établir la balance des masses volumiques de terrassement en adoptant les travaux les plus économiques en ce qui concerne la répartition et le transport des matériaux de construction sur le chantier, ainsi que le choix par les caractéristiques techniques des outils mécaniques.

## **CHAPITRE VI**

### **VI.4.3 Travaux D'excavations**

Les différentes opérations d'excavation devront être faites selon les données avancées dans le dossier des plans et le programme général des travaux, ces derniers comprennent le décapage, l'excavation et la mise en dépôt des déblais.

Le décapage de la terre végétale sur l'assise de la digue, l'évacuateur de crues et les zones d'emprunt, qu'il sera transporté vers une décharge dans une zone stable sans influence sur le déroulement et le régime des travaux.

### **VI.4.4 Travaux Secondaires**

Cela consiste au travail dont le besoin est de pouvoir exploiter tous les ouvrages dans les meilleures conditions possibles.

- ✓ L'aménagement de la zone d'emprunt.
- ✓ Stabilité des décharges ainsi que leur protection contre l'érosion et leur éloignement des cours d'eau.
- ✓ Reboisement des zones à risque d'érosion aux alentours du barrage.

### **VI.5 LES MOYENS DE CHANTIER**

En ce qui concerne les moyens en personnel, l'entreprise devra indiquer les personnes physiques responsables du chantier et ses intérimaires en précisant leurs titres, références et compétence.

Les mêmes indications devront être fournies pour les techniciens spécialisés tels que géotechnicien spécialiste en travaux d'étanchéité, d'injection etc. qui auraient à intervenir sur le chantier.

La construction d'une digue en terre et les ouvrages annexes (notamment l'évacuateur de crue) nécessitent l'utilisation de nombreux engins mécaniques destinés à scarifier, excaver, transporter, niveler et compacter les matériaux, ainsi que des engins et matériels de bétonnage. On peut distinguer le matériel de compactage, la fonction, les caractéristiques

**CHAPITRE VI**

principales et le rendement des différents engins de terrassement et de compactage susceptible d'être utilisés lors de la réalisation du barrage.

**a) Les moyens humains**

En ce qui concerne les moyens humains pour la réalisation de l'ouvrage, on doit justifier la mise en œuvre du personnel compétent pour la réalisation des études préalables et pour la construction en précisant leurs titres et leurs compétences.

Le personnel nécessaire pour le projet est :

- Conducteur des travaux : pour le suivi de chantier et le suivi d'ouvriers,
- Contre maître.
- Chauffeurs pour les engins, les camions et les véhicules.
- Ouvriers.
- Ferrailleurs.
- Soudeurs.
- Coffreurs.
- Topographes.
- Ingénieurs (en hydraulique, génie civil...)
- Géologue pour la mission géologique en phase d'étude.
- Cadres dirigeants en côté financiers, ressources humaines, spécialiste en sécurité de chantier,...

**b) Les engins de terrassement**

Le matériel général de terrassement comprend les engins traditionnels mis en œuvre pour la constitution des fouilles d'assise des ouvrages du barrage, l'extraction et le transport des matériaux de construction, les bétonnages et la réalisation des finitions (remblai—enrochement...) se fait appel aux engins suivants :

- Bulldozer : pour les terrassements de masse et les voies d'accès.

**CHAPITRE VI**

- Chargeur (à pneus et à chenilles) : pour le chargement des déblais.
- Camion benne : pour le transport des déblais et les matériaux de construction.
- Pelle hydraulique : pour le creusement des fouilles.
- Décapeuse.
- Pompe immergée : pour l'évacuation des eaux de chantiers en période hivernale.
- Camion-citerne : pour le transport de carburant aux engins et transport de l'eau pour la confection de béton, et pour l'arrosage des pistes pour diminuer la poussière.
- Compacteur : pour le compactage des matériaux de construction de la digue.
- Grue à portique : pour la mise en place de béton et pour placer le coffrage ainsi les aciers.
- Camion malaxeur : pour le transport de béton.
- Groupes électrogènes.

**c) Le matériel des bétonnages**

On utilise le plus souvent des bétonnières pour la fabrication du béton nécessaire pour la construction des ouvrages en béton (évacuateur, tour de prise, canal de dérivation...)

## **VI.6 PLANIFICATION**

La planification consiste à rechercher constamment la meilleure façon d'utilisation avec économie des moyens humains et matériels pour assurer une efficacité d'exécution. Son objectif est de s'assurer que tout le travail se fait :

- Dans un ordre correct (bonne succession des opérations du réseau).
- A temps (sans retard).
- Economique (avec des bénéfices).

### **VI.6.1 Attribution Des Durées De Chaque Opération**

Pour l'attribution du temps, il est nécessaire de se baser sur deux points :

1. Le nombre de ressources (moyens humains et matériels) ;
2. Dimensions du projet ;

On applique la formule suivante:

**CHAPITRE VI**

$$T = \frac{Q \cdot N}{n} \quad \text{Avec: } \begin{cases} Q = \text{Quantité de travail} \\ N = \text{Rendement} \\ n = \text{Nombre d'équipes} \end{cases}$$

L'attribution des durées pour chaque opération est liée à la cadence optée :

**a) Terrassements**

Pour les excavations de l'évacuateur de crue, le terrain permet de faire des cadences assez élevés sans contraintes particulières, La cadence moyenne adoptée pour les excavations de l'évacuateur est de 1000 m<sup>3</sup>/j (soit 25 000 m<sup>3</sup>/mois).

**b) Remblais**

- La cadence de mise en place moyenne est de 6000 m<sup>3</sup>/j, soit 150 000 m<sup>3</sup>/mois.
- Cette cadence peut être dépassée en augmentant les équipements de mise en place et de compactage, mais compte tenu de la vulnérabilité des travaux de remblais aux conditions météorologiques, il est préférable que l'estimation soit conservatrice.

**c) Bétons**

Pour les bétons l'évacuateur de crue, une cadence de 200 m<sup>3</sup>/j a été adoptée. Les travaux étant à l'air libre et facile d'accès, cette cadence peut être facilement atteinte, voire dépassée selon les moyens mis en œuvre par l'Entrepreneur.

**VI.6.2 Délai De Construction Et Programme Des Travaux**

Le délai de construction de l'ouvrage est déterminé en compte tenu du temps de réalisation de chacune des opérations qui le compose, sachant que certaines opérations peuvent être menées parallèlement.

La bonne exécution de ces travaux suppose une bonne planification des différentes tâches c'est-à-dire une recherche constante de la meilleure façon d'utilisation de la main d'œuvre et les autres moyens matériels pour assurer certaines exigences, qui sont :

- Le déroulement du travail dans un ordre correct c'est-à-dire une bonne succession des opérations ;
- Le respect des délais de réalisation pour chaque opération ;

---

**CHAPITRE VI**

- Exécution du travail le plus économiquement possible ;

### **VI.6.3 Symboles Des Différentes Operations**

Les symboles des opérations sont consignés dans le tableau suivant :

**Tableau VI.1** Symboles des opérations

Tavaux	Opérations	Durée (mois)
Installation de chantier et accès	<b>A</b>	<b>5</b>
Vidange de la retenue	<b>B</b>	<b>1</b>
Réalisation de la galerie de dérivation	<b>C</b>	<b>8</b>
Réalisation des batardeaux	<b>D</b>	<b>2</b>
Curage des vases	<b>E</b>	<b>3</b>
Travaux d'excavation des terrains meubles et rocheux	<b>F</b>	<b>3</b>
Travaux de démolition	<b>G</b>	<b>3</b>
Forages	<b>H</b>	<b>5</b>
Construction de l'évacuateur de crue	<b>I</b>	<b>7</b>
Travaux sur les conduites	<b>J</b>	<b>2</b>
Installation équipement d'auscultation	<b>K</b>	<b>4</b>
Réhabilitation des équipements hydromécanique	<b>L</b>	<b>2</b>
Travaux de finition et mise en eau	<b>M</b>	<b>3</b>

### **VI.6.4 Techniques De La Planification**

Il existe trois principales méthodes de planification à savoir :

- 1) Méthode basée sur le réseau ou méthode C.P.M.
- 2) Méthode basée sur le tableau
- 3) Méthode basée sur le graphique (diagramme de Gantt) ou méthode des barres.

---

**CHAPITRE VI**

**VI.6.4.1 Méthode basée sur le réseau**

✓ **Définition du réseau**

Le réseau est une représentation graphique d'un projet qui permet d'indiquer la relation entre les différentes opérations qui sont indispensables pour l'achèvement de l'objectif de la planification. On distingue deux types de réseaux :

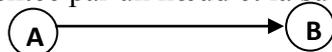
✓ **Réseau à flèches**

L'opération est représentée par une flèche et la liaison entre deux opérations par un cercle appelé "nœud".



✓ **Réseau à nœuds**

L'opération est représentée par un nœud et la succession des opérations par des flèches.



L'opération (B) ne peut commencer que si l'opération (A) est complètement achevée.

Cette méthode consiste à faire le calcul aller et retour en utilisant les paramètres de la grille suivante :

**Tableau VI.2 : Les paramètres du réseau à nœuds**

<b>DCP</b>	<b>TR</b>
<b>DFP</b>	<b>DCPP</b>
<b>DFPP</b>	<b>MT</b>

**TR** : temps de réalisation

**DCP** : date de commencement au plus tôt

**DCPP** : date de commencement au plus tard

**CHAPITRE VI**

**DFP** : date de finition au plus tôt.

**DFPP** : date de finition au plus tard.

**MT** : marge totale.

$$\text{Et : } \begin{cases} \text{DFP} = \text{DCP} + \text{TR} \\ \text{DCPP} = \text{DFPP} - \text{TR} \\ \text{MT} = \text{DFPP} - \text{DFP} \\ \text{DCP}_i + \text{TR} = \text{DFP}_i \\ \text{DFP}_i = \text{DCP}_{i+1} \end{cases}$$

✓ **Chemin critique (C.C)**

C'est le chemin qui donne la durée totale du projet (DTR) reliant les opérations possédant la marge totale nulle (0). Donc pour retrouver un chemin critique il suffit de vérifier la double condition suivante :

$$C.C \Leftrightarrow \begin{cases} \text{MT} = 0 \\ \sum \text{TR}_{C.C} = \text{D.T.P} \end{cases}$$

Le détaillée de calcul de réseau à nœud est présentée dans la planche N°08.

**VI.6.5 PLANIFICATION AVEC LA METHODE DE GANTT (METHODES DES BARRES)**

Cette technique consiste à déterminer deux réseaux afin de planifier avec le diagramme à barres.

Les taches sont mensionnée dans ligne, et la durées de chaque tache est représenté par une barre (dessinée à l'échelle) tel que la longueur correspond à sa durée réel, en respectant la date de dbut et de fin de cette tache.

Le diagramme de GANTT est détaillé dans la planche N°08.

**ORGANISATION ET SECURITE DES TRAVAUX DE CHANTIER  
MEDJEZ B'GAR**

**CHAPITRE VI**

**VI.7 DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF**

**Tableau VI.3 : Devis quantitatif et estimatif des travaux de confortement du barrage**

N°	DESIGNATION DES TRAVAUX	UNITE	QUANTITE	PU	MONTANT
				(DA)	(DA)
<b>TRAVAUX D'EXCAVATION</b>					
1	Décapage	m <sup>3</sup>	1 800	200	360 000
2	Excavation en terrains meubles en plein masse et en tranchée	m <sup>3</sup>	81 000	600	48 600 000
<b>TRAVAUX DE DEMOLITION</b>					
1	Démolition en masse du béton ou de la maçonnerie existants non ou faiblement armé	m <sup>3</sup>	2 100	12 000	25 200 000
2	Démolition en masse du béton ou de la maçonnerie existants fortement armé	m <sup>3</sup>	350	16 000	5 600 000
3	Démolition appliquée de béton	m <sup>3</sup>	5	135 000	675 000
4	Traitement des surfaces démolies	m <sup>2</sup>	1 700	1 500	2 550 000
<b>TRAVAUX DE BETONNAGE ET DECOFFRAGE</b>					
1	Bétonnage - Fourniture et mise en	m <sup>3</sup>	41 500	24 500	1 016 750 000
	œuvre de béton				
2	Acier - Fourniture et mise en place	Kg	3 506 600	140	490 924 000
	d'armatures				
3	Acier - Fourniture et mise en place	u	750	81 000	60 750 000
	d'ancrages au béton existant				
4	Joints - Joints de retrait Waterstop	ml	700	2 700	1 890 000
<b>TRAVAUX RELATIFS AUX EQUIPEMENTS HYDROMECANIQUES</b>					
1	les vannes	u	4	140 000	560 000
2	Chemisage des conduites	ml	190	2 370	450 300
<b>TRAVAUX GENIE CIVIL</b>					
1	Réalisation d'une chambre des vannes	u	1	50 000	50 000
<b>FORAGES DIVERS ET DRAINAGES</b>					
1	Forage pour différents diamètres pour différentes profondeurs	ml	800	1 600	1 280 000
2	équipement des forages en drain	ml	12 000	6 600	79 200 000
<b>AUSCULTATION</b>					
1	Réseau géodésique	u	58	22 000	1 276 000
2	Echelles limnimétriques	u	2	6 020	12 040
3	Système Piézométrique		52	120 000	6 240 000
4	Equipements divers		60	800 000	48 000 000
<b>TRAVAUX D'ENTRETIEN DE BARRAGE</b>					
1	réfection de la crête	-	-	600 000	600 000
2	traitement des petites ravines sur le talus aval, nettoyage des caniveaux	-	-	100 000	100 000
		Total en H.T			1 747 867 340
		T.V.A 19 %			332 094 794,60
		Total en T.T.C			2 079 962 134,60

**CHAPITRE VI**

**CONCLUSION**

Organiser le chantier de barrage MEDJEZ B'GAR en coordonnant la mise en œuvre des moyens nécessaires pour accomplir, dans les meilleures conditions possibles et à temps si c'est possible, les tâches à exécuter pour la construction de ce barrage.

Une importance a été donnée à l'organisation de la construction, une organisation compatible de tous les travaux, afin de supprimer les temps morts, d'avoir une meilleure qualité de conserver une même vitesse d'avancement, pour toutes les opérations élémentaire et sur tous les points de chantier.

Malgré le planning établi, mais sur terrain on ne pourra jamais éviter certains problèmes et obstacles, qui vont retarder un peu l'avancement des travaux, notamment les intempéries, les crises des matières premières (aciers, ciment, produit chimiques,...)....Etc.

Le confortement du barrage MEDJEZ B'GAR devrait durer environ 3 années et 3 mois dont 7 mois sont consacrés pour la réalisation de l'évacuateur de crues.

**CHAPITRE VI**

**PARTIE 2 : SECURITE DE TRAVAIL**

**VI. Introduction**

Les accidents de travail et les problèmes qui en découlent ont une grande importance, sur le plan financier, sur le plan de la production et surtout, sur le plan humain.

L'objectif sera donc de diminuer la fréquence et la gravité des accidents dans l'entreprise. Il existe pour cela un certain nombre de dispositifs, de consignes, de règlements dits « de sécurité » leur utilité est incontestable. (V.AMBARTSOUMIAN, 1994).

La protection du travail comprend tout un système de mesure d'ordre social, économique, technique, hygiénique, organisationnel et juridique. Ceux-ci garantissent l'assurance de la protection de la santé et de la capacité de travail des travailleurs. Les chantiers sont très dangereux et les accidents peuvent prendre naissance à tous moments, c'est pour cela qu'on doit chercher des solutions pour promouvoir contre ces derniers.

Les différents organismes intéressés par les sécurités lors du travail et les services d'inspection ont édicté un certain nombre de règlements applicables aux chantiers.

Ces règlements doivent être strictement appliqués. Ils contribuent à limiter au maximum les accidents de travail et dégageront la responsabilité des dirigeants du chantier qui pourrait être tenus comme responsable en cas que toutes dispositions n'avaient pas été prises pour l'application des règles du chantier

**VI.1 Les accidents de travail**

Un accident survenu au salarié par le fait ou à l'occasion de son travail, quelle qu'en soit la cause, est considéré comme un accident du travail.

Pour que l'accident du travail soit reconnu, le salarié doit justifier des deux conditions suivantes :

- Il a été victime d'un fait accidentel dans le cadre de son activité professionnelle,
- Le fait accidentel a entraîné l'apparition soudaine d'une lésion.

---

**CHAPITRE VI**

Le fait à l'origine de l'accident du travail doit être soudain (ce qui le distingue de l'apparition de la maladie professionnelle). Il peut provenir d'un événement ou d'une série d'événements, qui doivent être datés de manière certaine. Ce fait doit intervenir du fait ou à l'occasion du travail, ce qui implique que le salarié doit être placé sous l'autorité de l'employeur lorsque le fait accidentel se produit.

L'accident est présumé d'origine professionnelle dès lors qu'il se produit dans les locaux de l'entreprise, même pendant un temps de pause. Toutefois, la qualification d'accident du travail peut être écartée si le fait accidentel est la conséquence de faits non professionnels (par exemple, un suicide sur le lieu de travail en raison de problèmes personnels).

**Tableau VI .1 :Fréquence des accidents de travail sur le chantier**

<b>Risque</b>	<b>Fréquence</b>
Manutention manuelle	48%
Chute de hauteur	18%
Outillage à main	16%
Chute de plain-pied	10%
Machines	2%
Risque routier	2%
Risque physique (électrique)	1%
Risque chimique	1%
Manutention mécanique	1%
Agressions	1%
Autre	1%
Total	100%

### **VI.1.1Cause des accidents de travail**

L'analyse des accidents les plus fréquents fait apparaître des causes à la fois humaines et techniques (industrielle).

**CHAPITRE VI**

✓ **Causes humaines**

Ces causes peuvent être :

- La négligence des travailleurs.
- La fatigue.
- La distraction.
- Les gestes néfastes.
- Inaptitude mentale ou physique.
- Adoption de la solution de facilité.

✓ **Causes techniques**

- Les mauvaises conditions de travail.
- Encombrement du matériel dans les chantiers et le mauvais stockage.
- Le manque d'éclairage.

✓ **Conditions dangereuses dans le chantier**

- Installation non protégée ou mal protégée.
- Outillages, engins et équipements en mauvais état.
- Matière défectueuse, stockage irrationnel.
- Protection individuelle inexistante.
- Défauts dans la construction.
- Eclairage défectueux.
- Facteur d'ambiance impropre.
- Conditions climatiques défavorables.

✓ **Actions dangereuses**

- Intervenir sans précaution sur des installations sous tension, sous pression ou contenant des substances toxiques ou inflammables.
- Intervenir sans précaution sur des machines en mouvement.
- Agir sans prévenir ou sans autorisation.

**CHAPITRE VI**

- Ne pas utiliser l'équipement de protection individuelle.
- Imprudence durant le travail.
- Suivre un rythme de travail inadapté.

✓ **Mesures préventives**

La protection du personnel doit être assurée d'une manière bien satisfaisante par les services appropriés.

- Les appareils de levage doivent être établis sur une surface présentant une résistance suffisante.
- Les câbles et les chaînes de levage ne doivent pas être soumis à des charges supérieures à celle fixée.
- Les travaux ne doivent être exécutés que lorsque l'installation est mise hors tension et hors tous dangers.
- Les abris doivent être aérés et chauffés.

## **Conclusion**

La prévention doit plus être conçue comme un correctif et s'appuyer uniquement sur des critères défensifs, mais une mesure indispensable et incontournable dans l'exercice de la fonction.

Avec les avancées du progrès technique et scientifique, on doit pouvoir saisir les acquis pour renverser la tendance, c'est-à-dire, faire de la prévention une action offensive pour qu'il n'y ait plus de risques.



# **CONCLUSION GENERALE**



## CONCLUSION GENERALE

---

### CONCLUSION GENERALE

Les barrages, comme tout ouvrage d'art, sont susceptibles de présenter des dégradations menaçant leur intégrité et pouvant donc conduire à leur défaillance.

Dans le cadre de la préparation du mémoire de fin d'études, le diagnostic et le confortement du barrage MEDJEZ B'GAR situé dans la Wilaya de Guelma destiné à l'irrigation, ont fait l'objet de ce mémoire.

Cet ouvrage d'art est constitué d'une digue homogène fondée sur une couche d'argile plastique avec des équipements hydromécaniques hors d'usage et son évacuateur de crue a connu des dégâts importants avec la partie aval du coursier qui a été détruite. Constat établie sur la base d'une inspection détaillée du barrage étudié.

A cet égard une révision d'hydrologique du bassin versant s'est avérée plus qu'importante, ce qui nous a amené à déterminer la crue exceptionnelle du projet qui correspond à la crue trimilinale avec un débit laminé égale à  $265.88m^3/s$ .

Sachant que la débitance de l'évacuateur de crue actuelle est égale à  $153 m^3/s$  et en la comparant avec celle de l'hydrologie révisée de  $265.88m^3/s$ . Nous avons proposé de remplacer l'évacuateur des crues, suite à l'étude des cinq variantes.

De ce fait nous avons choisi un nouvel ouvrage de type seuil labyrinthe avec un renforcement des dispositifs d'auscultation et le remplacement des vannes existantes par d'autres vanne de la marque VAG EKO plus avec un chemisage des conduites.

Le confortement du barrage MEDJEZ B'GAR devrait durer environ trois ans et trois mois dont sept mois sont consacrés à la réalisation de l'évacuateur de crue.

### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BENLAOUKLI, Janvier 2004**, Organisation de chantier ;LA PLANIFICATION DESTRAVAUX PAR LES M.O.M, 25P, Polycopies de cours.
- CFBR (2013)**: Recommandations pour le dimensionnement des évacuateurs de crues de barrages – CFBR – Juin 2013.
- Cox, R. G. (1973)** «Spillway Water Surface Profiles, » Miscellaneous Paper H-73-4, Jun 1973, U. S. Army Engineer Waterways Experiment Station, CE, Vicksburg, Miss.
- CIGB 1994** « Les crues de projet des barrages : la méthode du Gradex » Bulletin du comité internationale des grands barrages, 18e congrès CIGB / ICOLD - N° 02, Nov. 1994.
- DESIGN OF SMALL DAMS USBR (1987)** a water resources technical publication .
- F. LEMPERIERE, A. OUAMANE. 2003**; The Piano Keys Weir : a new cost-effective solution for spillways; The International Journal on Hydropower & dams
- iv F. LEMPERIERE, G. JUN; 2005**; Low cost increase of dams storage and flood mitigation: the Piano Keys Weir; International Commission on Irrigation and Drainage; Nineteenth Congress Beijing 2005
- HAMDACHE (1998)** ; caractéristiques sismiques des zones 1998.
- HYDRO-PROJETS EST(1986)** :Etude de faisabilité (note de synthèse) 1986 (exS.ET.HY.CO).
- KHATSURIA.R.M (2005)** Hydraulics of Spillways and Energy Dissipators .Georgia Institute of Technology Atlanta ,Georgia.
- PATRICK LE DELLIOU (2007)**.LES BARRAGES, conception et maintenance.
- TOUAIBIA. B (2004)** Manuel pratique d'hydrologie. ENSH Blida.
- USGS/NEIC 1973 –30/09/2014** :United States Geological Survey ;National Earthquake Information Center 1973 –30/09/2014.
- Wili H. Hager & Anton J. Schleiss. (2009)**. Construction hydraulique, écoulement stationnaires (Vol. 15) Ecole Polytechnique fédérale de Lausanne.
- USBR (1987)** :Design of Small Dams; a Water Resources Technical Publication third edition 1987.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

### **Sitographie:**

Ooreka : <https://plomberie.ooreka.fr/astuce/voir/728111/chemisage-de-canalisation>

Groupe VAG : catalogue des vannes <https://www.vag-group.com/fr/>

Google Map : <https://www.google.fr/maps>

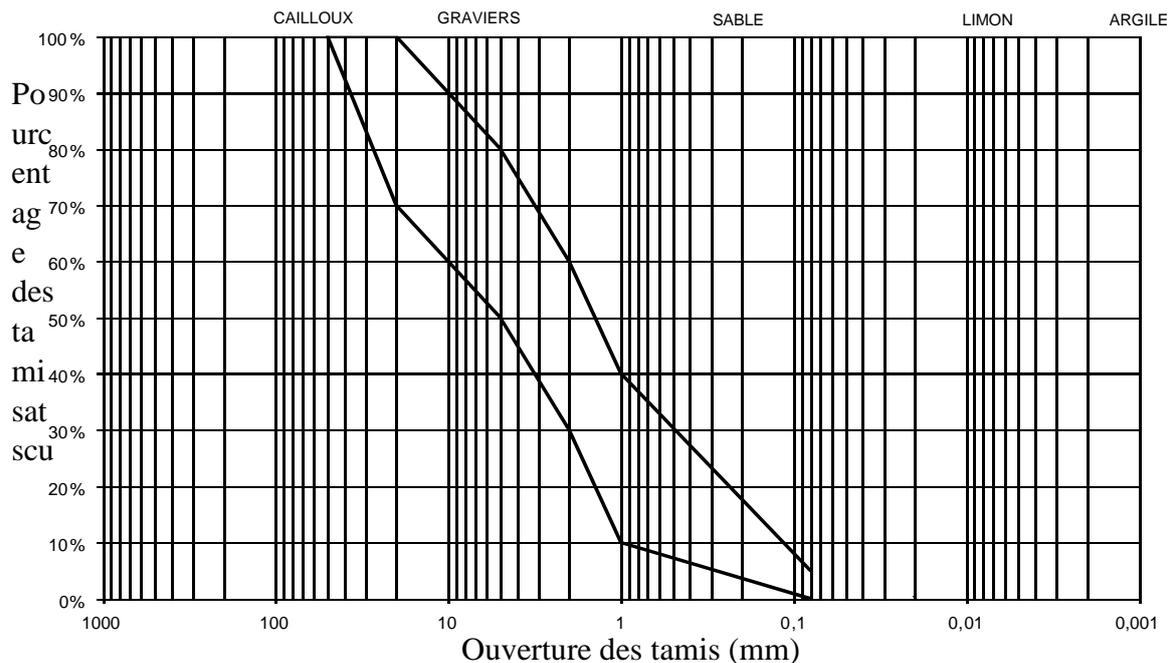
Google Earth : <https://www.google.com/intl/fr/earth/>



# **ANNEXES**



## ANNEXES I



**Figure I.1:** MedjezB'Gar - Granulométrie du matériau drainant

**Tableau I.1 :** Propriétés physiques et mécaniques de la fondation au droit des sondages carottés SC1 (Source : L.N.H.C. - Rapport d'étude de sol – 1991)

Sondage	SC1	SC1	SC1	SC1	SC1	SC1
Profondeur (m)	1,0	1,5	2,0	2,3 - 2,5	2,6 - 2,8	3,0 - 3,2
Densité sèche (T/m <sup>3</sup> )	-	-	-	1,31	1,5	1,37
Teneur en eau naturelle w (%)				36,8	24,5	31,8
Degré de saturation en eau SE (%)				93	82	88
Densité humide (T/m <sup>3</sup> )				1,8	1,87	1,81
Pourcentage passant à travers les tamis	5 mm	99		95,5		
	0,2 mm	94	98	92	97	99,5
	0,08 mm	84	84,5	79,5	96	99
Limite de liquidité (%)	51	53	51	66	51	62
Indice de plasticité (%)	23	32	26	32	21	28
Indice de consistance				0,91	1,26	1,07
Pression de consolidation (kN/m <sup>2</sup> )				6,00		
Coefficient de tassement				0,472		
Coefficient de gonflement				0,055		
Résistance à la compression						

## ANNEXES I

Sondage	SC1	SC1	SC1	SC1	SC1	SC1
Cohésion (kg/m <sup>2</sup> )				0,750		0,500
Angle de frottement (°)				33		30

**Tableau I.2 :** Propriétés physiques et mécaniques de la fondation au droit des sondages carottés SC1 (Source : L.N.H.C. - Rapport d'étude de sol – 1991)

Sondage	SC1	SC1	SC1	SC1	SC1	SC1
Profondeur (m)	4,6 - 4,7	5,0 - 5,15	5,4 - 5,55	6,0 - 6,15	6,3 - 6,4	6,7 - 6,8
Densité sèche (T/m <sup>3</sup> )	1,52	1,48	1,38	1,52	1,52	1,56
Teneur en eau naturelle w (%)	24,1	25,4	27,9	19,3	22,9	24,5
Degré de saturation en eau SE (%)	83	83	78	67	79	90
Densité humide (T/m <sup>3</sup> )	1,88	1,86	1,76	1,81	1,86	1,94
Pourcentage passant à travers les tamis	5 mm					
	0,2 mm	99	99	99	99	99,5
	0,08 mm	97	98	98	97	99
Limite de liquidité (%)	51	50	53	50	-	50
Indice de plasticité (%)	21	24	22	21	-	20
Indice de consistance	1,28	1,02	1,14	1,46	-	1,27
Pression de consolidation (kN/m <sup>2</sup> )	4,7			5,2		5,1
Coefficient de tassement	0,104			0,126		0,149
Coefficient de gonflement	0,027			0,027		0,041
Résistance à la compression						
Cohésion (kg/m <sup>2</sup> )			0,700		0,300	
Angle de frottement (°)			31		24	

**Tableau I.2 :** Propriétés physiques et mécaniques de la fondation au droit des sondages carottés SC1 et SC2 (Source : L.N.H.C. - Rapport d'étude de sol – 1991)

Sondage	SC1	SC2	SC2	SC2	SC2	SC2
Profondeur (m)	8,0	1,0	1,5	2,2 - 2,5	3,5	4,5
Densité sèche (T/m <sup>3</sup> )	-	-	-	1,74		
Teneur en eau naturelle w (%)				18,3		

## ANNEXES I

Sondage		SC1	SC2	SC2	SC2	SC2	SC2
Degré de saturation en eau SE (%)					89		
Densitéhumide (T/m <sup>3</sup> )					2,06		
Pourcentage passant à travers les tamis	5 mm	99,5		99,5	98,5	98	97,5
	0,2 mm	94	80,5	66	39,5	93	80
	0,08 mm	92	72	58,5	31,5	90	74
Limite de liquidité (%)		50	50	45	50	33	41
Indice de plasticité (%)		20	24	21	26	18	19
Indice de consistance					1,21		
Pression de consolidation (kN/m <sup>2</sup> )					2,8		
Coefficient de tassement					0,135		
Coefficient de gonflement					0,031		
Résistance à la compression							
Cohésion (kg/m <sup>2</sup> )					0,350		
Angle de frottement (°)					38		

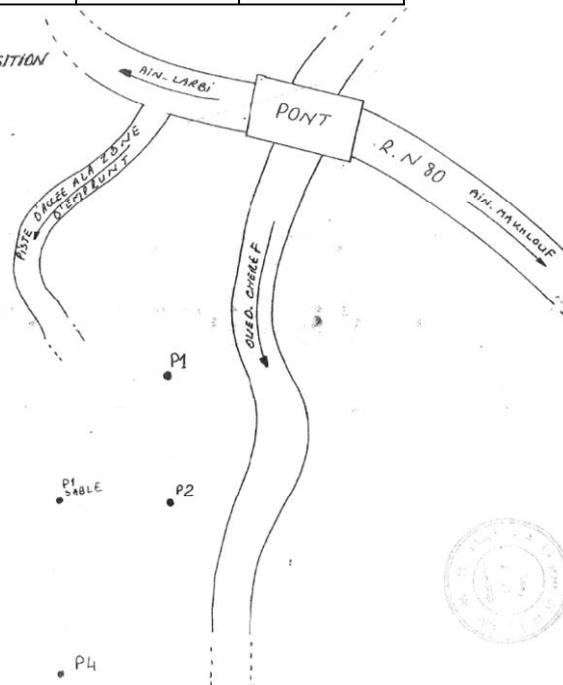
**Tableau I.2 :** Propriétés physiques et mécaniques de la fondation au droit des sondages carottés SC2 (Source : L.N.H.C. - Rapport d'étude de sol – 1991)

Sondage		SC2	SC2
Profondeur (m)		6,0	7,0
Densité sèche (T/m <sup>3</sup> )			
Teneur en eau naturelle w (%)			
Degré de saturation en eau SE (%)			
Densitéhumide (T/m <sup>3</sup> )			
Pourcentage passant à travers les tamis	5 mm		
	0,2 mm	49	85
	0,08 mm	29	79
Limite de liquidité (%)			29
Indice de plasticité (%)			9,0
Indice de consistance			
Pression de consolidation (kN/m <sup>2</sup> )			

## ANNEXES I

Sondage	SC2	SC2
Coefficient de tassement		
Coefficient de gonflement		
Résistance à la compression		
Cohésion (kg/m <sup>2</sup> )		
Angle de frottement (°)		

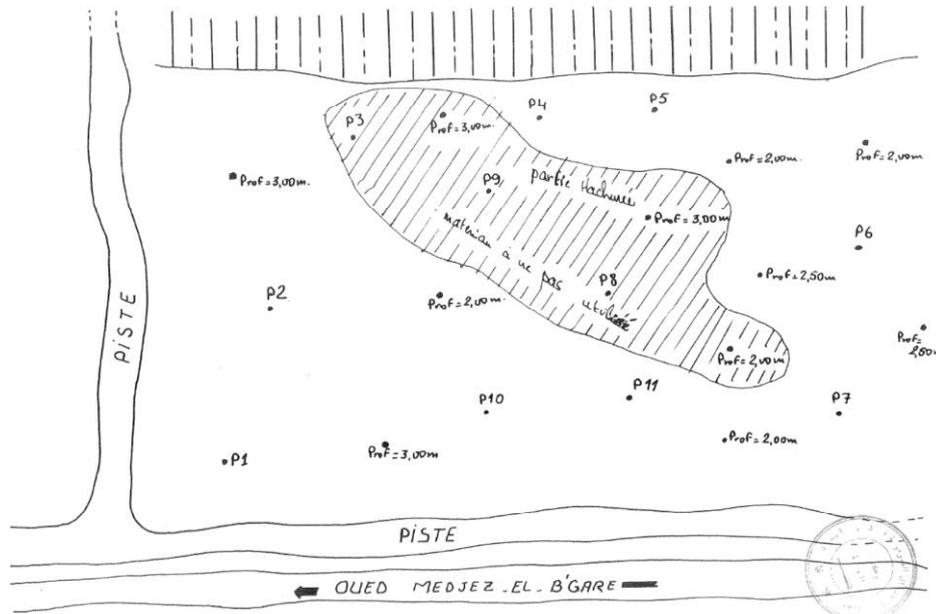
PLAN DE SITUATION DE LA ZÔNE  
D'EMPRUNT DE T.V.O POUR TRANSITION  
ET DU SABLE POUR BETON



DESIGNATION	PROFONDEUR -m-	% CAILLOUX 200 → 20mm	% GRAVIERS 20 → 2mm	% GROS SABLE 2 → 0.2 mm	% SABLES FINS % < à 0.2mm
PUITS N°1	1.50	40	29	20	11
PUITS N°2	1.50	38	36	17	09
PUITS N°3	2.00	38	36	23	03
PUITS N°4	1.50	32	40	12	08

**Figure I.2:** Plan de situation et Constitution des matériaux prélevés (Source : Laboratoire des Travaux Publics de l'Est – Analyse TVO destiné pour la réalisation de la couche de transition du projet retenue collinaire Ain Makhlouf – 1995)

# ANNEXES I



DESIGNAT.	%Cailloux	% Gravier	% GROS	% Sables	% Limons	% Argiles	Observations
	200 : 20	20 : 2	Sables	fins	0,02 : 0,002	% < 0,002mm	
P1	-	01	07	37	31	18	Sables limoneux argileux.
P2	-	04	09	33	60	29	Limons sablo-argileux
P3	-	18	19	47	24	12	Sables limoneux argileux.
P4	-	01	03	27	40	30	Limons argileux sableux
P5	-	03	09	20	38	30	" " "
P6	-	01	19	19	31	29	" " "
P7	-	01	04	26	30	41	Argile limoneuse sableuse
P8	-	02	02	13	23	60	Argile limoneuse sableuse
P9	-	04	30	15	23	29	" " "
P 10	-	05	17	13	21	44	Argile limoneuses graveleuse sableuse
P 11	-	01	01	21	20	57	Argile sablo-argileuse Limoneuse

**Figure I.2:** Plan de situation et Constitution des matériaux prélevés (Source : Laboratoire des Travaux Publics de l'Est – Analyse d'un matériau d'emprunt a cote de l'oued Medjez-B'Gar destiné pour la réalisation de la digue retenue collinaire Ain Makhlouf – 1994)

## ANNEXES I

---

**ANNEXES III**

**Code station : 140205**

**Nom station : AIN MAKHLOUF**

**X : 908.8**

**Y : 337.4**

**Z : 830**

**Tableau III. 1 : Pluviométrie maximale annuelle**

années	sept	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	annuel
1957	0	0	0	0	51	7.8	10.3	9.7	3	16.5	0	0	51
1958	17	23	21	24	8	9.6	31	29.5	25	60	0	9	60
1959	62	20	53	61	21	10.5	27.5	57	30.5	38	4	0	62
1960	7	20	13	44.5	31	15.5	13.5	7	13.5	16.5	12	4	44.5
1961	4	0	9	8.7	11.5	40.5	7	22	12	35	5	30	40.5
1962	5	48	16.5	15	15	35	15	19	24	40	40	10	48
1963	25	8	26	11	48	16	26	21	21	0	0	12	48
1964	2.1	25	20	8	35	34	16	11	10	4	9	9	64
1965	30	6	8	65	5	10	17	20	0	10	4	0	65
1966	15	32	45	12	20	15	15	15	27	4	0	12	45
1967	29	15	60	57	43	27	27	33	8	25	6	0	60
1968	17	0	5.3	49.6	32	7	10.5	3.4	12.5	13	10.5	20	49.6
1969	95	12.7	4	67	13	24	10	65	24	4	6	6.5	95
1970	0	14	0	9	36	29	27	14	35	4	0	20	36
1971	24	16.8	6	9	43	15	12	62	13	9	4	0	62
1972	21	44	6	53	8	16	44	25	6	6	0	1.3	53
1973	8	2.7	5	12	16	9	10	24	7	0	0	2.5	24
1974	5	10.5	14	12.5	16	70	16	16	22	0	0	5	70
1975	11.5	0	15.5	10	20	30	15	28	27	13.5	28	8	30
1976	30	37	68	8	12	7	27	24	29	12	0	40	68
1977	8	1.7	46.8	3	16	21.3	21	21.8	12.2	7.3	0	10.2	46.8
1978	0	20.5	26	11.4	7.5	16	11	56.4	8	9	0	15.6	56.4
1979	17.5	20	16.4	5	14	11	14.5	18.6	28.6	0	0	0	28.6
1980	24.2	6	20.1	37.5	10.5	0	19	10.5	4.5	16	0	8	37.5
1981	17.5	15.5	17.5	22.5	24.5	19.5	26	13.5	10	3.5	0	2	26
1982	13.5	17	30.5	12	7	3.5	23	5	11.5	5	5.5	21	30.5
1983	5	24	39	6	23.5	60	24	8.5	2.5	7.5	0.9	0	39

### ANNEXES III

années	sept	Oct	Nov	Dec	Janv	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	annuel
1984	8.5	16.5	10.5	110	16	14.5	25	16	17	0	3.5	0	110
1985	14	22	9.5	2.5	24	11.8	16	16.5	6.5	13	2.5	2	24
1986	15.5	22	37	38.5	16	40.5	18	11.5	33.5	0	5.1	1.5	40.5
1987	3.5	14	30	4	14	13.5	13	6	12	17	0	1.5	30
1988	16	4.5	7	19.5	15.5	34	15	16	5	14	5	3.5	34
1989	25	37	18	12	31	0	14	6.5	15.5	3.9	2.6	31	37
1990	0	9	30	30	29.5	22.1	26	20.5	16	23.5	13.5	5.5	30
1991	16	48	28.5	6	10.5	22.5	0	42	48	8.5	6.5	4.5	48
1992	6	24	51.5	81.5	0	10	10	16.5	23.5	8.2	0	6	81.5
1993	5.5	4	5	66	16	21	5.5	14	6	0	0	15	66
1994	15	19	8	15	16	0	62	24	8	4.8	0	3.6	62
1995	5.6	5.6	4.2	6.2	8.8	13.2	9.1	6.4	6.4	6.4	6.4	3.7	13.2
1996	2.2	3.2	2.2	5.6	8.6	3	4	4	3.2	4	0	4	8.6
1997	8	3.2	18.4	13.5	5	25.5	50	55.5	3.4	3.2	6	7.7	55.5
1998	0	37.6	62.5	42	41.1	13	35.5	38.3	37	24	8.3	7.8	62.5
1999	19.2	29.5	14.1	34	9.6	10.6	11.8	16.2	40.5	10.2	0	0	40.5
2000	5,5	16	14	62.5	0	14	13.9	6.1	33,5	1	0	7	42.336
2001	0	9,5	37	23	20,5	42.336	24,5	26	15,5	2	10	4.6	37.046
2002	21,5	35,5	35.166	20,5	0	30	20	0	5,5	0	0	0	35.166
2003	4.8	5.8	15	0	42	47.359	0	17.6	0	7.4	0,5	4	47.359
2004	3.3	0	0	14	6	8.5	10	0	5	2.5	2	12	14
2005	6.3	0	2.7	46.1	21.6	23.1	11.4	7.5	22.9	4.2	10.2	0	46.1
2006	16.4	0	8.6	21.4	0	10.7	80.1	0	8.1	11.6	0	1.5	80.1
2007	20.2	11.8	8.6	19.4	9.5	7.4	38.1	19.5	0	8.2	13.5	23.1	38.1
2008	17.1	25.1	13.1	0	23.9	12.1	29.8	32.4	39.5	0	0	9.3	39.5
2009	34	26.6	5	8.2	51.9	7.2	18.7	24.6	32.5	0	0	0	51.9
2010	10.9	31.8	126.5	9.6	9.6	72.8	19.2	33.1	36.2	8.2	0	5.7	126.5
2011	18.7	127	7.3	0	0	0	0	0	6.1	0	0	6.6	127

**Code station : 120114**

**Nom station : AIN DALIA**

**Tableau III.2:Crue historique à la station hydrométrique**

<b>Année hydrologique</b>	<b><math>Q_p</math> (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b><math>Q_{mj}</math> (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b><math>Q_p / Q_{mj}</math></b>
<b>1990</b>	66,8	7,5	8,906667
<b>1991</b>	73,6	24,9	2,955823
<b>1992</b>	12,8	4,8	2,666667
<b>1993</b>	13	4,6	2,826087
<b>1994</b>	66,8	10,1	6,613861
<b>1995</b>	82,7	56,5	1,463717
<b>1999</b>	117,1	66,2	1,768882
<b>2003</b>	46,5	24,3	1,91358
<b>2004</b>	26,6	8,8	3,022727
<b>2005</b>	99,7	26,5	3,762264
<b>2006</b>	71,3	58,8	1,212585

## ANNEXES III

**Tableau III. 3: Test de Wilcoxon**

y	ordre croissant	origine	rang de y	rang de x
42.336	8.6	y	1	1
37.046	13.2	y	2	2
35.166	14	y	3	3
47.359	24	y	4	4
28.6	24	x	0	5
37.5	26	y	5	6
26	28.6	y	6	7
30.5	30	X	0	8
39	30	y	7	9
110	30	y	8	10
24	30.5	y	9	11
40.5	34	y	10	12
30	35.166	Y	11	13
34	36	X	0	14
37	37	y	12	15
30	37.046	y	13	16
48	37.5	y	14	17
81.5	38.1	y	15	18
66	39	y	16	19
62	39.5	y	17	20
13.2	40.5	x	0	21
8.6	40.5	Y	18	22
55.5	40.5	x	0	23
62.5	42.336	y	19	24
40.5	44.5	X	0	25
14	45	X	0	26
46.1	46.1	x	0	27
80.1	46.8	x	0	28
38.1	47.359	Y	20	29
39.5	48	x	0	30
51.9	48	y	21	31
126.5	48	x	0	32
127	49.6	y	22	33
	51	X	0	34
	51.9	x	0	35
	53	x	0	36
	55.5	y	23	37
	56.4	x	0	38
	60	x	0	39
	60	X	26	40
	62	x	0	41
	62	x	0	42
	62	y	24	43
	62.5	y	25	44
	64	x	0	45
	65	X	0	46
	66	y	26	47
	68	X	0	48
	70	X	0	49
	80.1	Y	27	50
	81.5	Y	28	51
	95	X	0	52
	110	x	0	53
	126.5	y	29	54
	127	y	30	55

## ANNEXES III

**Tableau III. 3:** Précipitations maximales journalières pour chaque fréquence

période de retour (ans)	5		10		20		50		100		1 000		3 000		10 000		
fréquence	20,00		10,00		5,00		2,00		1,00		0,10				0,01		
Pjmax (mm)	64,60		77,40		89,70		106,00		117,00		157,00		176,00		196,00		
temps (heures)	P(mm)	I(mm/h)	P(mm)	I(mm/h)	P(mm)	I(mm/h)	P(mm)	I(mm/h)	P(mm)	I(mm/h)	P(mm)	I(mm/h)	P(mm)	I(mm/h)	P(mm)	I(mm/h)	
0,50	12,71	27,46	15,23	32,91	17,65	38,14	20,85	45,06	23,02	49,74	30,89	9,58	34,63	10,74	38,56	10,73	
1,00	17,00	18,12	20,37	21,71	23,61	25,16	27,90	29,73	30,80	32,82	41,32	8,04	46,33	9,02	51,59	9,01	
1,50	20,16	14,21	24,16	17,02	27,99	19,73	33,08	23,31	36,51	25,73	49,00	7,26	54,93	8,14	61,17	8,14	
2,00	22,75	11,95	27,26	14,32	31,59	16,60	37,33	19,62	41,20	21,65	55,29	6,76	61,98	7,57	69,02	7,57	
2,50	24,98	10,46	29,94	12,53	34,69	14,52	41,00	17,16	45,25	18,94	60,72	6,39	68,07	7,16	75,81	7,15	
3,00	26,97	9,37	32,32	11,23	37,45	13,01	44,26	15,38	48,85	16,98	65,55	6,10	73,49	6,84	81,84	6,83	
3,50	28,78	8,54	34,48	10,24	39,96	11,86	47,22	14,02	52,12	15,48	69,94	5,87	78,40	6,58	87,31	6,57	
4,00	30,44	7,89	36,47	9,45	42,26	10,95	49,94	12,94	55,13	14,28	73,97	5,67	82,93	6,36	92,35	6,35	
4,50	31,98	7,35	38,32	8,80	44,41	10,20	52,48	12,06	57,92	13,31	77,72	5,51	87,13	6,17	97,03	6,17	
5,00	33,43	6,90	40,05	8,27	46,42	9,58	54,85	11,32	60,54	12,49	81,24	5,36	91,07	6,01	101,42	6,01	
5,50	34,79	6,52	41,69	7,81	48,31	9,05	57,09	10,69	63,02	11,80	84,56	5,24	94,79	5,87	105,56	5,86	
5,14	33,82	6,79	40,52	8,13	46,96	9,42	55,49	11,13	61,25	12,29	82,19	5,33	92,14	5,97	102,61	5,96	
6,00	36,09	6,18	43,24	7,41	50,11	8,59	59,22	10,15	65,36	11,20	87,71	5,12	98,32	5,74	109,49	5,74	
6,50	37,32	5,89	44,72	7,06	51,82	8,18	61,24	9,67	67,60	10,67	90,71	5,02	101,68	5,63	113,24	5,62	
7,00	38,50	5,64	46,13	6,75	53,46	7,83	63,18	9,25	69,73	10,21	93,57	4,93	104,90	5,52	116,82	5,52	
7,50	39,63	5,41	47,49	6,48	55,03	7,51	65,03	8,88	71,78	9,80	96,32	4,84	107,98	5,43	120,25	5,42	
8,00	40,72	5,20	48,79	6,23	56,55	7,23	66,82	8,54	73,76	9,42	98,97	4,76	110,95	5,34	123,56	5,34	

### ANNEXES III

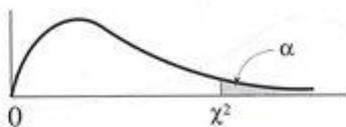
période de retour (ans)	5		10		20		50		100		1 000		3 000		10 000	
fréquence	20,00		10,00		5,00		2,00		1,00		0,10				0,01	
Pjmax (mm)	64,60		77,40		89,70		106,00		117,00		157,00		176,00		196,00	
temps (heures)	P(mm)	I(mm/h)	P(mm)	I(mm/h)	P(mm)	I(mm/h)	P(mm)	I(mm/h)	P(mm)	I(mm/h)	P(mm)	I(mm/h)	P(mm)	I(mm/h)	P(mm)	I(mm/h)
8,50	41,77	5,02	50,05	6,01	58,00	6,97	68,54	8,23	75,66	9,09	101,52	4,69	113,81	5,26	126,74	5,25
9,00	42,79	4,85	51,27	5,81	59,41	6,73	70,21	7,96	77,50	8,78	103,99	4,62	116,58	5,18	129,82	5,18
9,50	43,77	4,69	52,44	5,62	60,78	6,52	71,82	7,70	79,28	8,50	106,38	4,56	119,25	5,11	132,80	5,11
10,00	44,72	4,55	53,59	5,45	62,10	6,32	73,39	7,47	81,00	8,24	108,70	4,50	121,85	5,05	135,70	5,04
10,50	45,65	4,42	54,70	5,30	63,39	6,14	74,91	7,25	82,68	8,01	110,95	4,45	124,37	4,99	138,51	4,98
11,00	46,55	4,30	55,77	5,15	64,64	5,97	76,38	7,05	84,31	7,79	113,13	4,40	126,83	4,93	141,24	4,92
11,50	47,43	4,19	56,83	5,01	65,86	5,81	77,82	6,87	85,90	7,58	115,27	4,35	129,22	4,87	143,90	4,87
12,00	48,28	4,08	57,85	4,89	67,04	5,66	79,23	6,69	87,45	7,39	117,35	4,30	131,55	4,82	146,50	4,82
12,50	49,12	3,98	58,85	4,77	68,20	5,53	80,60	6,53	88,96	7,21	119,37	4,26	133,82	4,77	149,03	4,77
13,00	49,93	3,89	59,83	4,66	69,34	5,40	81,94	6,38	90,44	7,04	121,36	4,21	136,04	4,72	151,50	4,72
13,50	50,73	3,80	60,78	4,55	70,44	5,28	83,24	6,24	91,88	6,88	123,30	4,17	138,22	4,68	153,92	4,68
14,00	51,51	3,72	61,72	4,46	71,53	5,16	84,53	6,10	93,30	6,74	125,19	4,14	140,35	4,64	156,29	4,63
14,50	52,28	3,64	62,64	4,36	72,59	5,06	85,78	5,98	94,68	6,60	127,05	4,10	142,43	4,60	158,61	4,59
15,00	53,03	3,57	63,53	4,28	73,63	4,96	87,01	5,86	96,04	6,46	128,88	4,07	144,47	4,56	160,89	4,55
15,50	53,76	3,50	64,42	4,19	74,65	4,86	88,22	5,74	97,37	6,34	130,66	4,03	146,47	4,52	163,12	4,52
16,00	54,48	3,43	65,28	4,11	75,65	4,77	89,40	5,63	98,68	6,22	132,42	4,00	148,44	4,48	165,31	4,48
16,50	55,19	3,37	66,13	4,04	76,64	4,68	90,57	5,53	99,96	6,10	134,14	3,97	150,37	4,45	167,46	4,45
17,00	55,89	3,31	66,96	3,97	77,61	4,60	91,71	5,43	101,22	6,00	135,83	3,94	152,27	4,42	169,57	4,41
17,50	56,57	3,25	67,78	3,90	78,56	4,52	92,83	5,34	102,46	5,89	137,50	3,91	154,13	4,38	171,65	4,38

### ANNEXES III

période de retour (ans)	5		10		20		50		100		1 000		3 000		10 000	
fréquence	20,00		10,00		5,00		2,00		1,00		0,10				0,01	
Pjmax (mm)	64,60		77,40		89,70		106,00		117,00		157,00		176,00		196,00	
temps (heures)	P(mm)	I(mm/h)	P(mm)	I(mm/h)	P(mm)	I(mm/h)	P(mm)	I(mm/h)	P(mm)	I(mm/h)	P(mm)	I(mm/h)	P(mm)	I(mm/h)	P(mm)	I(mm/h)
18,00	57,25	3,20	68,59	3,83	79,49	4,44	93,94	5,25	103,68	5,79	139,13	3,88	155,97	4,35	173,69	4,35
18,50	57,91	3,15	69,38	3,77	80,41	4,37	95,02	5,16	104,88	5,70	140,74	3,86	157,77	4,32	175,70	4,32
19,00	58,56	3,10	70,17	3,71	81,32	4,30	96,09	5,08	106,07	5,61	142,33	3,83	159,55	4,29	177,68	4,29
19,50	59,20	3,05	70,94	3,65	82,21	4,23	97,15	5,00	107,23	5,52	143,89	3,81	161,30	4,27	179,63	4,26
20,00	59,84	3,00	71,69	3,60	83,09	4,17	98,19	4,93	108,38	5,44	145,43	3,78	163,03	4,24	181,55	4,24
20,50	60,46	2,96	72,44	3,54	83,95	4,11	99,21	4,85	109,50	5,36	146,94	3,76	164,73	4,21	183,44	4,21
21,00	61,08	2,92	73,18	3,49	84,81	4,05	100,22	4,79	110,62	5,28	148,44	3,73	166,40	4,19	185,31	4,18
21,50	61,68	2,88	73,91	3,45	85,65	3,99	101,21	4,72	111,72	5,21	149,91	3,71	168,05	4,16	187,15	4,16
22,00	62,28	2,84	74,62	3,40	86,48	3,94	102,20	4,65	112,80	5,14	151,37	3,69	169,68	4,14	188,97	4,13
22,50	62,87	2,80	75,33	3,35	87,30	3,89	103,17	4,59	113,87	5,07	152,80	3,67	171,29	4,11	190,76	4,11
23,00	63,46	2,76	76,03	3,31	88,11	3,83	104,12	4,53	114,93	5,00	154,22	3,65	172,88	4,09	192,53	4,09
23,50	64,03	2,73	76,72	3,27	88,91	3,79	105,07	4,47	115,97	4,94	155,62	3,63	174,45	4,07	194,27	4,07
24,00	64,60	2,69	77,40	3,23	89,70	3,74	106,00	4,42	117,00	4,88	157,00	3,61	176,00	4,05	196,00	4,05

### ANNEXES III

Table  $\chi^2$  : points de pourcentage supérieurs de la distribution  $\chi^2$



<i>dl</i>	.995	.990	.975	.950	.900	.750	.500	.250	.100	.050	.025	.010	.005
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.10	0.45	1.32	2.71	3.84	5.02	6.63	7.88
2	0.01	0.02	0.05	0.10	0.21	0.58	1.39	2.77	4.61	5.99	7.38	9.21	10.60
3	0.07	0.11	0.22	0.35	0.58	1.21	2.37	4.11	6.25	7.82	9.35	11.35	12.84
4	0.21	0.30	0.48	0.71	1.06	1.92	3.36	5.39	7.78	9.49	11.14	13.28	14.86
5	0.41	0.55	0.83	1.15	1.61	2.67	4.35	6.63	9.24	11.07	12.83	15.09	16.75
6	0.68	0.87	1.24	1.64	2.20	3.45	5.35	7.84	10.64	12.59	14.45	16.81	18.55
7	0.99	1.24	1.69	2.17	2.83	4.25	6.35	9.04	12.02	14.07	16.01	18.48	20.28
8	1.34	1.65	2.18	2.73	3.49	5.07	7.34	10.22	13.36	15.51	17.54	20.09	21.96
9	1.73	2.09	2.70	3.33	4.17	5.90	8.34	11.39	14.68	16.92	19.02	21.66	23.59
10	2.15	2.56	3.25	3.94	4.87	6.74	9.34	12.55	15.99	18.31	20.48	23.21	25.19
11	2.60	3.05	3.82	4.57	5.58	7.58	10.34	13.70	17.28	19.68	21.92	24.72	26.75
12	3.07	3.57	4.40	5.23	6.30	8.44	11.34	14.85	18.55	21.03	23.34	26.21	28.30
13	3.56	4.11	5.01	5.89	7.04	9.30	12.34	15.98	19.81	22.36	24.74	27.69	29.82
14	4.07	4.66	5.63	6.57	7.79	10.17	13.34	17.12	21.06	23.69	26.12	29.14	31.31
15	4.60	5.23	6.26	7.26	8.55	11.04	14.34	18.25	22.31	25.00	27.49	30.58	32.80
16	5.14	5.81	6.91	7.96	9.31	11.91	15.34	19.37	23.54	26.30	28.85	32.00	34.27
17	5.70	6.41	7.56	8.67	10.09	12.79	16.34	20.49	24.77	27.59	30.19	33.41	35.72
18	6.26	7.01	8.23	9.39	10.86	13.68	17.34	21.60	25.99	28.87	31.53	34.81	37.15
19	6.84	7.63	8.91	10.12	11.65	14.56	18.34	22.72	27.20	30.14	32.85	36.19	38.58
20	7.43	8.26	9.59	10.85	12.44	15.45	19.34	23.83	28.41	31.41	34.17	37.56	40.00
21	8.03	8.90	10.28	11.59	13.24	16.34	20.34	24.93	29.62	32.67	35.48	38.93	41.40
22	8.64	9.54	10.98	12.34	14.04	17.24	21.34	26.04	30.81	33.93	36.78	40.29	42.80
23	9.26	10.19	11.69	13.09	14.85	18.14	22.34	27.14	32.01	35.17	38.08	41.64	44.18
24	9.88	10.86	12.40	13.85	15.66	19.04	23.34	28.24	33.20	36.42	39.37	42.98	45.56
25	10.52	11.52	13.12	14.61	16.47	19.94	24.34	29.34	34.38	37.65	40.65	44.32	46.93
26	11.16	12.20	13.84	15.38	17.29	20.84	25.34	30.43	35.56	38.89	41.92	45.64	48.29
27	11.80	12.88	14.57	16.15	18.11	21.75	26.34	31.53	36.74	40.11	43.20	46.96	49.64
28	12.46	13.56	15.31	16.93	18.94	22.66	27.34	32.62	37.92	41.34	44.46	48.28	50.99
29	13.12	14.26	16.05	17.71	19.77	23.57	28.34	33.71	39.09	42.56	45.72	49.59	52.34
30	13.78	14.95	16.79	18.49	20.60	24.48	29.34	34.80	40.26	43.77	46.98	50.89	53.67
40	20.67	22.14	24.42	26.51	29.06	33.67	39.34	45.61	51.80	55.75	59.34	63.71	66.80
50	27.96	29.68	32.35	34.76	37.69	42.95	49.34	56.33	63.16	67.50	71.42	76.17	79.52
60	35.50	37.46	40.47	43.19	46.46	52.30	59.34	66.98	74.39	79.08	83.30	88.40	91.98
70	43.25	45.42	48.75	51.74	55.33	61.70	69.34	77.57	85.52	90.53	95.03	100.44	104.24
80	51.14	53.52	57.15	60.39	64.28	71.15	79.34	88.13	96.57	101.88	106.63	112.34	116.35
90	59.17	61.74	65.64	69.13	73.29	80.63	89.33	98.65	107.56	113.14	118.14	124.13	128.32
100	67.30	70.05	74.22	77.93	82.36	90.14	99.33	109.14	118.49	124.34	129.56	135.82	140.19

Figure III.1: Table de  $\chi^2$

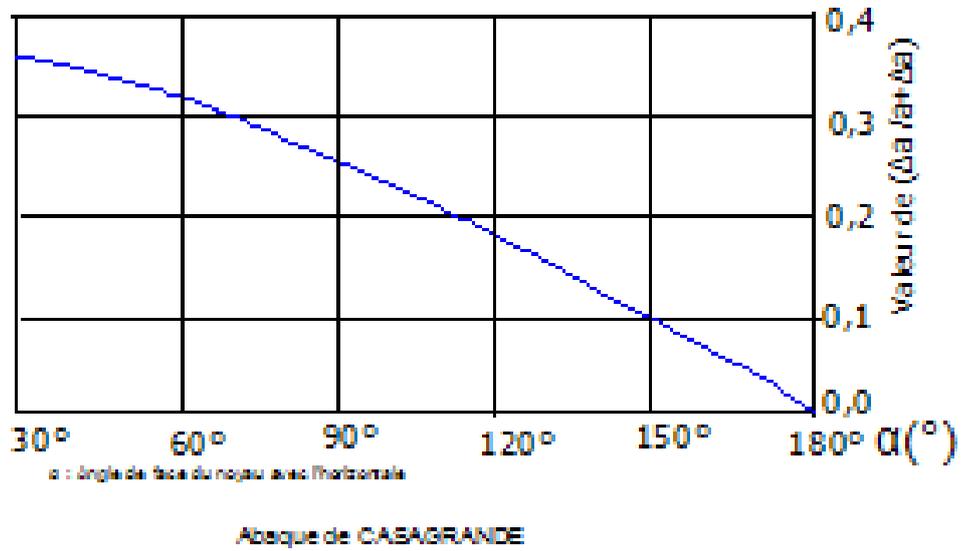


Figure III.2:Abaque de CASAGRANDE

### ANNEXES III

#### Calcul de stabilité pour R =34.43m talus aval fin de construction

N	b	h1	h2	h3	sin a	cos a	Gn	T=Gn*sin a	N=Gn*cos a	dli	C*dli	tg phi	N*tang phi	Ui	Ui*dli	Ui*dli*tang phi	a*dn*Gn
-1	3,17	0,90	0	0	-0,10	0,99	55,03	-5,50	54,76	3,40	149,60	0,01	0,48	9,00	30,60	0,27	779,71
0	3,44	2,73	0	0	0	1,00	166,93	0	166,93	3,41	150,04	0,01	1,48	27,30	93,09	0,82	2 365,12
1	3,44	3,82	0	0	0,10	0,99	233,58	23,36	232,41	3,43	150,92	0,01	2,06	38,20	131,03	1,16	3 309,43
2	3,44	4,28	0	0	0,20	0,98	261,71	52,34	256,42	3,47	152,68	0,01	2,27	42,80	148,52	1,31	3 707,95
3	3,44	5,10	0	0	0,30	0,95	311,85	93,56	297,49	3,53	155,32	0,01	2,63	51,00	180,03	1,59	4 418,35
4	3,44	4,14	0	0	0,40	0,92	253,15	101,26	232,02	3,64	160,16	0,01	2,05	41,40	150,70	1,33	3 586,66
5	3,44	4,06	0	0	0,50	0,87	248,26	124,13	215,00	3,80	167,20	0,01	1,90	40,60	154,28	1,37	3 517,35
6	3,44	3,59	0	0	0,60	0,80	219,52	131,71	175,62	3,81	167,64	0,01	1,55	35,90	136,78	1,21	3 110,17
7	3,44	2,56	0	0	0,70	0,71	156,54	109,58	111,79	3,60	158,40	0,01	0,99	25,60	92,16	0,82	2 217,84
8	1,90	1,21	0	0	0,80	0,60	73,99	59,19	44,39	1,88	82,72	0,01	0,39	12,10	22,75	0,20	1 048,28
SOMME								689,62			1 494,68		15,82				28 060,86

K<sub>ss</sub>=2,19

K<sub>as</sub>=1,85

### ANNEXES III

#### Calcul de stabilité pour R =34.09m talus aval fin de construction

N	b	h1	h2	h3	sin a	cos a	Gn	T=Gn*sin a	N=Gn*cos a	dli	C*dli	tg phi	N*tang phi	Ui	Ui*dli	Ui*dli*tang phi	a*dn*Gn
0	3,34	1,34	0	0	0	1,00	81,13	0	81,13	3,41	150,04	0,01	0,72	13,40	45,69	0,40	1 367,97
1	3,41	2,61	0	0	0,10	0,99	158,02	15,80	157,23	3,41	150,04	0,01	1,39	26,10	89,00	0,79	2 664,47
2	3,41	3,85	0	0	0,20	0,98	233,09	46,62	228,38	3,41	150,04	0,01	2,02	38,50	131,29	1,16	3 930,35
3	3,41	4,74	0	0	0,30	0,95	286,98	86,09	273,76	3,45	151,80	0,01	2,42	47,40	163,53	1,45	4 838,93
4	3,41	4,07	0	0	0,40	0,92	246,41	98,57	225,84	3,46	152,24	0,01	2,00	40,70	140,82	1,25	4 154,94
5	3,41	3,82	0	0	0,50	0,87	231,28	115,64	200,29	3,64	160,16	0,01	1,77	38,20	139,05	1,23	3 899,73
6	3,41	3,70	0	0	0,60	0,80	224,01	134,41	179,21	3,82	168,08	0,01	1,59	37,00	141,34	1,25	3 777,22
7	3,41	3,11	0	0	0,70	0,71	188,29	131,80	134,47	4,08	179,52	0,01	1,19	31,10	126,89	1,12	3 174,91
8	3,41	1,92	0	0	0,80	0,60	116,24	93,00	69,75	3,66	161,04	0,01	0,62	19,20	70,27	0,62	1 960,07
9	2,09	0,59	0	0	0,90	0,44	35,72	32,15	15,57	3,01	132,44	0,01	0,14	5,90	17,76	0,16	602,31
SOMME								754,07			1 405,36		13,14				29 002,93

K<sub>ss</sub>=1,88

K<sub>as</sub>=1,67

### ANNEXES III

#### Calcul de stabilité pour R =34.21m talus aval fin de construction

N	b	h1	h2	h3	sin a	cos a	Gn	T=Gn*sin a	N=Gn*cos a	dli	C*dli	tg phi	N*tang phi	Ui	Ui*dli	Ui*dli*tang phi	a*dn*Gn
0	3,34	1,10	0	0	0	1,00	66,83	0	66,83	3,40	149,60	0,01	0,59	11,00	37,40	0,33	694,57
1	3,41	2,70	0	0	0,10	0,99	164,04	16,40	163,22	3,43	150,92	0,01	1,44	27,00	92,61	0,82	2 870,43
2	3,41	4,24	0	0	0,20	0,98	257,61	51,52	252,40	3,42	150,48	0,01	2,23	42,40	145,01	1,28	4 507,64
3	3,41	4,80	0	0	0,30	0,95	291,63	87,49	278,20	3,44	151,36	0,01	2,46	48,00	165,12	1,46	5 102,99
4	3,41	4,20	0	0	0,40	0,92	255,18	102,07	233,88	3,45	151,80	0,01	2,07	42,00	144,90	1,28	4 465,12
5	3,41	4,46	0	0	0,50	0,87	270,98	135,49	234,67	3,47	152,68	0,01	2,08	44,60	154,76	1,37	4 741,53
6	3,41	4,50	0	0	0,60	0,80	273,41	164,04	218,73	3,76	165,44	0,01	1,94	45,00	169,20	1,50	4 784,05
7	3,41	4,11	0	0	0,70	0,71	249,71	174,80	178,33	4,01	176,44	0,01	1,58	41,10	164,81	1,46	4 369,44
8	3,41	3,06	0	0	0,80	0,60	185,92	148,73	111,55	4,05	178,20	0,01	0,99	30,60	123,93	1,10	3 253,16
9	2,09	1,10	0	0	0,90	0,44	66,83	60,15	29,13	3,60	158,40	0,01	0,26	11,00	39,60	0,35	1 169,44
SOMME								940,70			1 435,72		15,05				35 263,79

K<sub>ss</sub>=1,54

K<sub>as</sub>=1,41

### ANNEXES III

#### Calcul de stabilité pour R =34.42m talus aval régime permanent

N	b	h1	h2	h3	sin a	cos a	Gn	T=Gn*sin a	N=Gn*cos a	dli	C*dli	tg phi	N*tang phi	Ui	Ui*dli	Ui*dli*tang phi	a*dn*Gn
-1	3,44	1,24	0	0	-0,10	0,99	75,80	-7,58	75,42	3,51	154,44	0,01	0,67	12,40	43,52	0,39	1 366,56
0	3,44	2,49	0	0	0	1,00	152,21	0	152,21	3,45	151,80	0,01	1,35	24,90	85,91	0,76	2 744,14
1	3,44	4,14	0	0	0,10	0,99	253,08	25,31	251,81	3,45	151,80	0,01	2,23	41,40	142,83	1,26	4 562,54
2	3,44	5,08	0	0	0,20	0,98	310,54	62,11	304,27	3,48	153,12	0,01	2,69	50,80	176,78	1,56	5 598,48
3	3,44	4,88	0	0	0,30	0,95	298,31	89,49	284,57	3,55	156,20	0,01	2,52	48,80	173,24	1,53	5 378,07
4	3,44	4,02	0	0	0,40	0,92	245,74	98,30	225,23	3,56	156,64	0,01	1,99	40,20	143,11	1,27	4 430,29
5	3,44	4,10	0	0	0,50	0,87	250,63	125,32	217,05	3,48	153,12	0,01	1,92	41,00	142,68	1,26	4 518,46
6	3,44	3,40	0	0	0,60	0,80	207,84	124,71	166,27	3,55	156,20	0,01	1,47	34,00	120,70	1,07	3 747,01
7	3,44	2,12	0	0	0,70	0,71	129,60	90,72	92,55	4,42	194,48	0,01	0,82	21,20	93,70	0,83	2 336,37
8	3,44	0,85	0	-	0,80	0,60	51,96	41,57	31,18	2,64	116,16	0,01	0,28	8,50	22,44	0,20	936,75
SOMME								657,51	1 800,56		1 237,72		13,92		1 144,92	10,13	31 507,97

K<sub>ss</sub>=1,89

K<sub>as</sub>=1,36

### ANNEXES III

#### Calcul de stabilité pour R =33.81m talus aval régime permanent

N	b	h1	h2	h3	sin a	cos a	Gn	T=Gn*sin a	N=Gn*cos a	dli	C*dli	tg phi	N*tang phi	Ui	Ui*dli	Ui*dli*tang phi	a*dn*Gn
0	3,92	0,20	0	0	0	1,00	13,92	0	13,92	2,91	128,04	0,01	0,12	2,00	5,82	0,05	248,07
1	3,38	2,47	0	0	0,10	0,99	148,32	14,83	147,57	3,99	175,56	0,01	1,31	24,70	98,55	0,87	2 642,40
2	3,38	3,92	0	0	0,20	0,98	235,38	47,08	230,63	3,39	149,16	0,01	2,04	39,20	132,89	1,18	4 193,60
3	3,38	3,71	0	0	0,30	0,95	222,77	66,83	212,51	3,47	152,68	0,01	1,88	37,10	128,74	1,14	3 968,94
4	3,38	3,60	0	0	0,40	0,92	216,17	86,47	198,12	3,30	145,20	0,01	1,75	36,00	118,80	1,05	3 851,27
5	3,38	3,88	0	0	0,50	0,87	232,98	116,49	201,77	2,05	90,20	0,01	1,79	38,80	79,54	0,70	4 150,81
6	3,38	3,77	0	0	0,60	0,80	226,38	135,83	181,10	3,78	166,32	0,01	1,60	37,70	142,51	1,26	4 033,13
7	3,38	3,15	0	0	0,70	0,71	189,15	132,40	135,08	4,05	178,20	0,01	1,20	31,50	127,58	1,13	3 369,86
8	3,15	1,81	0	0	0,80	0,60	101,26	81,01	60,76	4,61	202,84	0,01	0,54	18,10	83,44	0,74	1 804,03
SOMME								680,93	1 381,46		1 260,16		12,10		917,86	8,12	28 014,04

K<sub>ss</sub>=1,86

K<sub>as</sub>=1,55

### ANNEXES III

#### Calcul de stabilité pour R =34.08m talus aval régime permanent

N	b	h1	h2	h3	sin a	cos a	Gn	T=Gn*sin a	N=Gn*cos a	dli	C*dli	tg phi	N*tang phi	Ui	Ui*dli	Ui*dli*tang phi	a*dn*Gn
0	3,08	1,10	0	0	0	1,00	60,17	0	60,17	3,21	141,24	0,01	0,53	11,00	35,31	0,31	1 084,77
1	3,41	2,52	0	0	0,10	0,99	152,53	15,25	151,76	3,42	150,48	0,01	1,34	25,20	86,18	0,76	2 749,77
2	3,41	3,86	0	0	0,20	0,98	233,63	46,73	228,91	3,41	150,04	0,01	2,03	38,60	131,63	1,17	4 211,94
3	3,41	4,62	0	0	0,30	0,95	279,63	83,89	266,75	3,44	151,36	0,01	2,36	46,20	158,93	1,41	5 041,24
4	3,41	3,97	0	0	0,40	0,92	240,29	96,12	220,23	3,50	154,00	0,01	1,95	39,70	138,95	1,23	4 331,97
5	3,41	4,16	0	0	0,50	0,87	251,79	125,89	218,06	3,61	158,84	0,01	1,93	41,60	150,18	1,33	4 539,29
6	3,41	3,99	0	0	0,60	0,80	241,50	144,90	193,20	2,77	121,88	0,01	1,71	39,90	110,52	0,98	4 353,79
7	3,41	3,51	0	0	0,70	0,71	212,45	148,71	151,72	1,29	56,76	0,01	1,34	35,10	45,28	0,40	3 830,03
8	3,41	2,43	0	0	0,80	0,60	147,08	117,66	88,25	1,42	62,48	0,01	0,78	24,30	34,51	0,31	2 651,56
9	1,57	0,69	0	0	0,90	0,44	19,24	17,32	8,39	0,88	38,72	0,01	0,07	6,90			
SOMME								796,47	1 587,43		1 005,84		13,52		891,48	7,89	31 709,59

K<sub>ss</sub>=1,27

K<sub>as</sub>=1,10

### ANNEXES III

#### Calcul de stabilité pour R =37.45 m talus amont vidange rapide

N	b	h1	h2	h3	sin a	cos a	Gn	T=Gn*sin a	N=Gn*cos a	dli	C*dli	tg phi	N*tang phi	ui	Ui*dli	Ui*dli*tang phi	a*dn*Gn
-3	3,75	0,37	0,92	0	-0,30	0,95	75,60	-22,68	72,12	3,96	174,24	0,01	0,64	12,90	51,08	0,45	360,78
-2	3,75	1,62	1,86	0	-0,20	0,98	210,84	-42,17	206,58	3,85	169,40	0,01	1,83	34,80	133,98	1,19	1 006,17
-1	3,75	3,24	2,38	0	-0,10	0,99	347,41	-34,74	345,67	3,78	166,32	0,01	3,06	56,20	212,44	1,88	1 657,90
0	3,75	4,93	2,75	0	0	1,00	480,32	0	480,32	3,75	165,00	0,01	4,25	76,80	288,00	2,55	2 292,18
1	3,75	6,36	2,67	0	0,10	0,99	571,00	57,10	568,14	3,77	165,88	0,01	5,03	90,30	340,43	3,01	2 724,90
2	3,75	7,97	2,17	0	0,20	0,98	650,37	130,07	637,23	3,78	166,32	0,01	5,64	101,40	383,29	3,39	3 103,67
3	3,75	8,80	1,30	0	0,30	0,95	657,35	197,21	627,07	3,98	175,12	0,01	5,55	101,00	401,98	3,56	3 137,00
4	3,75	8,98	0	0	0,40	0,92	597,27	238,91	547,41	4,35	191,40	0,01	4,85	89,80	390,63	3,46	2 850,28
5	3,75	8,56	0	0	0,50	0,87	569,34	284,67	493,06	4,51	198,44	0,01	4,36	85,60	386,06	3,42	2 716,97
6	3,75	7,40	0	0	0,60	0,80	492,18	295,31	393,75	4,96	218,24	0,01	3,49	74,00	367,04	3,25	2 348,78
7	3,75	5,74	0	0	0,70	0,71	381,77	267,24	272,64	5,07	223,08	0,01	2,41	57,40	291,02	2,58	1 821,89
8	3,75	2,90	0	0	0,80	0,60	192,88	154,31	115,73	5,85	257,40	0,01	1,02	29,00	169,65	1,50	920,47
9	3,75	0,58	0	0	0,90	0,44	38,58	34,72	16,82	1,31	57,64	0,01	0,15	5,80	7,60	0,07	184,09
SOMME								1 559,94			2 328,48		42,28				25 125,08

$$K_{ss}=1,52$$

$$K_{as}=1,06$$

### ANNEXES III

#### Calcul de stabilité pour R =36.25 m talus amont vidange rapide

N	b	h1	h2	h3	sin a	cos a	Gn	T=Gn*sin a	N=Gn*cos a	dli	C*dli	tg phi	N*tang phi	ui	Ui*dli	Ui*dli*tang phi	a*dn*Gn
-2	3,63	1,38	0	0	-0,20	0,98	88,84	-17,77	87,05	3,62	159,28	0,01	0,77	13,80	49,96	0,44	405,14
-1	3,63	3,56	0	0	-0,10	0,99	229,19	-22,92	228,04	3,66	161,04	0,01	2,02	35,60	130,30	1,15	1 045,14
0	3,63	4,93	0,18	0	0	1,00	327,05	0	327,05	3,64	160,16	0,01	2,89	49,30	179,45	1,59	1 491,37
1	3,63	6,76	0,24	0	0,10	0,99	448,08	44,81	445,84	3,63	159,72	0,01	3,95	67,60	245,39	2,17	2 043,30
2	3,63	8,07	0	0	0,20	0,98	519,55	103,91	509,05	3,64	160,16	0,01	4,51	80,70	293,75	2,60	2 369,17
3	3,63	7,82	0	0	0,30	0,95	503,45	151,04	480,26	3,70	162,80	0,01	4,25	78,20	289,34	2,56	2 295,78
4	3,63	7,14	0	0	0,40	0,92	459,67	183,87	421,30	3,72	163,68	0,01	3,73	71,40	265,61	2,35	2 096,14
5	3,63	6,97	0	0	0,50	0,87	448,73	224,36	388,61	3,80	167,20	0,01	3,44	69,70	264,86	2,34	2 046,24
6	3,63	5,86	0	0	0,60	0,80	377,27	226,36	301,81	4,50	198,00	0,01	2,67	58,60	263,70	2,33	1 720,37
7	3,63	4,44	0	0	0,70	0,71	285,85	200,09	204,14	4,77	209,88	0,01	1,81	44,40	211,79	1,87	1 303,48
8	3,63	2,07	0	0	0,80	0,60	133,27	106,61	79,96	4,52	198,88	0,01	0,71	20,70	93,56	0,83	607,71
9	3,63	0,58	0	0	0,90	0,44	37,34	33,61	16,28	1,35	59,40	0,01	0,14	5,80	7,83	0,07	170,28
SOMME								1 251,74			1 800,92		30,12				17 188,97

K<sub>ss</sub>=1,46

K<sub>as</sub>=1,07

### ANNEXES III

#### Calcul de stabilité pour R =36.81 m talus amont vidange rapide

N	b	h1	h2	h3	sin a	cos a	Gn	T=Gn*sin a	N=Gn*cos a	dli	C*dli	tg phi	N*tang phi	ui	Ui*dli	Ui*dli*tang phi	Bi	a*dn*Gn
-2	3,68	1,52	0	0	-0,20	0,98	99,37	-19,87	97,36	3,84	168,96	0,01	0,86	15,20	58,37	0,52	20,00	210,76
-1	3,68	3,03	0,76	0	-0,10	0,99	239,49	-23,95	238,29	3,74	164,56	0,01	2,11	37,90	141,75	1,25	20,00	507,95
0	3,68	4,93	1,34	0	0	1,00	395,30	0	395,30	3,69	162,36	0,01	3,50	62,70	231,36	2,05	20,00	838,41
1	3,68	6,17	1,33	0	0,10	0,99	475,82	47,58	473,43	3,56	156,64	0,01	4,19	75,00	267,00	2,36	20,00	1 009,19
2	3,68	7,64	1,12	0	0,20	0,98	560,48	112,10	549,15	3,70	162,80	0,01	4,86	87,60	324,12	2,87	20,00	1 188,75
3	3,68	8,78	0,53	0	0,30	0,95	602,86	180,86	575,09	3,82	168,08	0,01	5,09	93,10	355,64	3,15	20,00	1 278,65
4	3,68	8,26	0	0	0,40	0,92	539,99	216,00	494,91	3,95	173,80	0,01	4,38	82,60	326,27	2,89	20,00	1 145,31
5	3,68	7,94	0	0	0,50	0,87	519,07	259,54	449,53	4,42	194,48	0,01	3,98	79,40	350,95	3,11	20,00	1 100,94
6	3,68	7,15	0	0	0,60	0,80	467,43	280,46	373,94	4,62	203,28	0,01	3,31	71,50	330,33	2,92	20,00	991,40
7	3,68	5,97	0	0	0,70	0,71	390,29	273,20	278,72	4,68	205,92	0,01	2,47	59,70	279,40	2,47	20,00	827,78
8	3,68	3,87	0	0	0,80	0,60	253,00	202,40	151,80	5,48	241,12	0,01	1,34	38,70	212,08	1,88	20,00	536,60
9	3,68	1,35	0	0	0,90	0,44	88,26	79,43	38,47	3,26	143,44	0,01	0,34	13,50	44,01	0,39	20,00	187,19
SOMME								1 627,61			1 976,48		35,57					9 612,18

K<sub>ss</sub>=1,24

K<sub>as</sub>=1,07

## IV.I DIMENSIONNEMENT DU PK.WEIR

Récemment, un nouveau type d'évacuateur labyrinthe appelé PK-Weir (Piano Key Weir, ou déversoir en touches de piano) a été développé par Hydrocoop (France), en collaboration avec le laboratoire de l'Université de Biskra (Algérie) et le laboratoire d'Electricité de France (EDF), LNHE Chatou.

Les caractéristiques de ce type de déversoir sont :

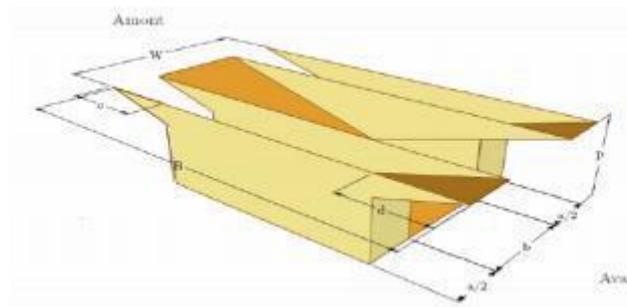
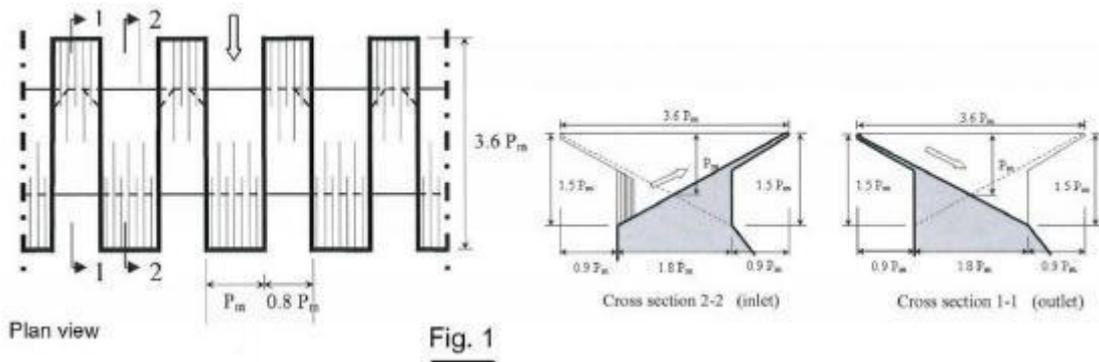
déversoir de type seuil libre labyrinthe avec des alvéoles alternées s'apparentant à des touches de piano, d'où le nom de Piano Keys Weir (PK-Weir) ;

- fond incliné pour les alvéoles amont et aval ;
- portes à faux présents à l'amont et éventuellement à l'aval.

Deux types de PK-Weirs, type A et type B, sont couramment distingués :

- Type A : PK-Weir avec porte-à-faux Amont-Aval : Ce type de PK-Weirs est couramment utilisés pour des débits spécifiques allant jusqu'à 20-30 m<sup>3</sup>/s/ml. Ce type de PK-Weir favorise l'utilisation d'éléments préfabriqués en béton armé.
- Type B : PK-Weir avec porte-à-faux uniquement à l'amont ce qui permet d'augmenter le gain de rendement de 10 % environ. Ce type de PK-Weir est couramment utilisé pour des débits spécifiques important pouvant aller jusqu'à 100 m<sup>3</sup>/s.
- Type A : PK-Weir avec porte-à-faux Amont-Aval : Ce type de PK-Weirs est couramment utilisés pour des débits spécifiques allant jusqu'à 20-30 m<sup>3</sup>/s/ml. Ce type de PK-Weir favorise l'utilisation d'éléments préfabriqués en béton armé.
- Type B : PK-Weir avec porte-à-faux uniquement à l'amont ce qui permet d'augmenter le gain de rendement de 10 % environ. Ce type de PK-Weir est couramment utilisé pour des débits spécifiques important pouvant aller jusqu'à 100 m<sup>3</sup>/s.

D'après Lempérière, la géométrie générale de pré-dimensionnement d'un PK.Weir Type A est la suivante :



**Figure IV.1** :Géométrie type PKweir , type A

avec :

$P_m$  : profondeur du module ;

$H = 1,5P_m$  : Hauteur totale du module ;

$a = 0,8 P_m$  : largeur des alvéoles « *outlet* » ;

$b = P_m$  ; largeur des alvéoles « *inlet* »

$c = 0,9P_m$  : Porte à faux amont ;

$d = 0,9P_m$  : Porte à faux aval ;

$B = 3,6P_m$  : Emprise amont-aval ;

$W = a + b = 1,8P_m$  : Longueur droite d'un module ;

$L = a + b + 2*B = 1,8P_m + 2*3,6P_m = 9P_m$  ;

Rapport  $L/W = 5$ ;

Rapport  $W/H = 1,2$ .

**Tableau IV.1 :Pré-dimensionnement du module Type A**

Pm	Pm profondeur de module	$H=1.5*Pm$	$a=0.8*Pm$	$b=Pm$	$c=0.9*pm$	$d=0.8*Pm$	$B=3.6*Pm$	Rapport L/W	Rapport W/H
1.8	1.8	2.7	1.44	1.8	1.62	1.44	6.48	2.05	2.9
2	2	3	1.6	2	1.8	1.6	7.2	2.05	2.9

On se basera dans le cadre de ce dimensionnement sur l'hypothèse de Lemprière (2000) de considérer une profondeur de module (Pm) au minimum égale à la lame d'eau de projet NPHE soit donc 1.8 m et pour une raison de sécurité nous prendrons une lame d'eau supérieure égale à 2 m.

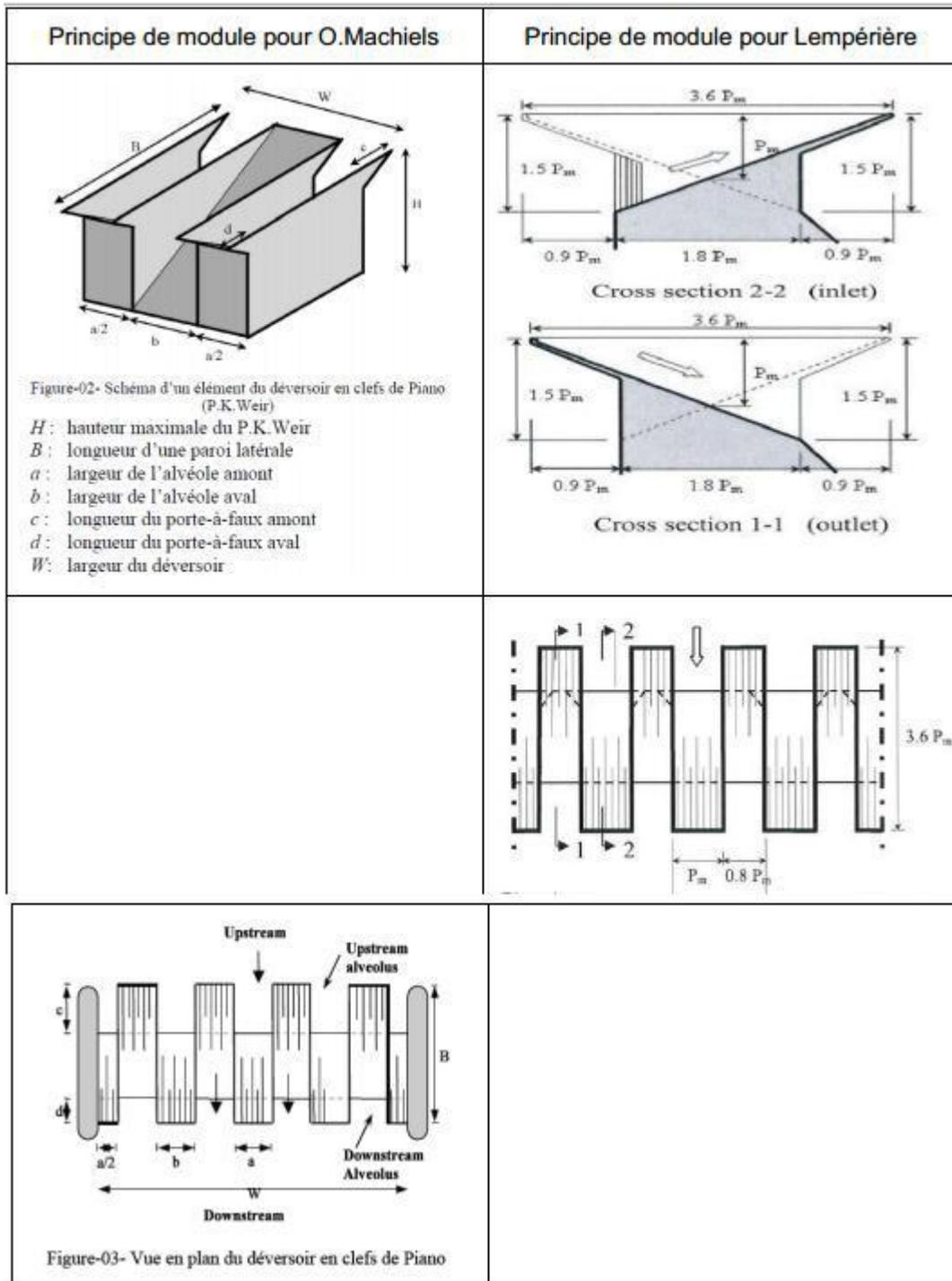


Figure IV.2 :montre le principe de module pour O.Machiels et Lempérière (O.Machiels,2009)

Si B est la largeur du seuil déversant soit donc 32 m, la largeur efficace Be est égale :

$$Be = B - 2K_p H$$

Avec:

$K_p = 0,05$  pour les piles latérales ;

$K_p = 0,025$  pour la pile centrale ;

Soit une moyenne de 0,0375 et  $H = 2$  m (lame déversante du PHE).

La largeur efficace est donc :

$$Be = 32 - 2 * 0,0375 * 2 = 31.85 \text{ m.}$$

Valeurs du coefficient n de Manning

Nature des surfaces	Etats des parois			
	Parfait	Bon	Assez bon	Mauvais
<b>A) Canaux artificiels</b>				
Ciment lissé	0,01	0,011	0,012	0,013
Mortier de ciment	0,011	0,012	0,013	0,015
Aqueducs en bois raboté	0,01	0,012	0,013	0,014
Aqueducs en bois non raboté	0,011	0,013	0,014	0,015
Canaux revêtus de béton	0,012	0,014	0,016	0,018
Moëllons bruts	0,017	0,02	0,025	0,03
Pierres sèches	0,025	0,03	0,033	0,035
Moëllons dressés	0,013	0,014	0,015	0,017
Aqueducs métalliques à section demi-circulaire lisse	0,011	0,012	0,013	0,015
Aqueducs métalliques à section demi-circulaire plissée	0,0225	0,025	0,0275	0,030
Canaux en terre droits et uniformes	0,017	0,020	0,0225	0,025
Canaux avec pierres, lisses et uniformes	0,025	0,030	0,033	0,035
Canaux avec pierres, rugueux et irréguliers	0,035	0,040	0,045	-
Canaux en terre à larges méandres	0,0225	0,025	0,0275	0,030
Canaux en terre dragués	0,025	0,0275	0,030	0,033
Canaux à fond en terre, côtés avec pierres	0,028	0,030	0,033	0,035
<b>B) Cours d'eau naturels</b>				
1) Propres, rives en ligne droite	0,025	0,0275	0,030	0,033
2) Idem 1 avec quelques herbes et pierres	0,030	0,033	0,035	0,040
3) Avec méandres, avec quelques étangs et endroits peu profonds, propres	0,035	0,040	0,045	0,050
4) Idem 3, l'eau à l'étiage, pente et sections plus faibles	0,040	0,045	0,050	0,055
5) Idem 3, avec quelques herbes et pierres	0,033	0,035	0,040	0,045
6) Idem 4, avec pierres	0,045	0,050	0,055	0,060
7) Zones à eau coulant lentement avec herbes ou fosses très profondes	0,050	0,060	0,070	0,080
8) Zones avec beaucoup de mauvaises herbes	0,075	0,100	0,125	0,150

Figure V.01 : valeur de coefficient de Manning

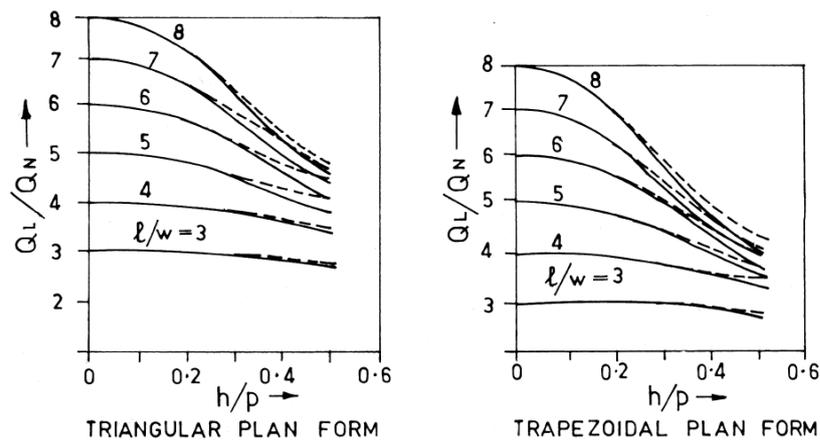
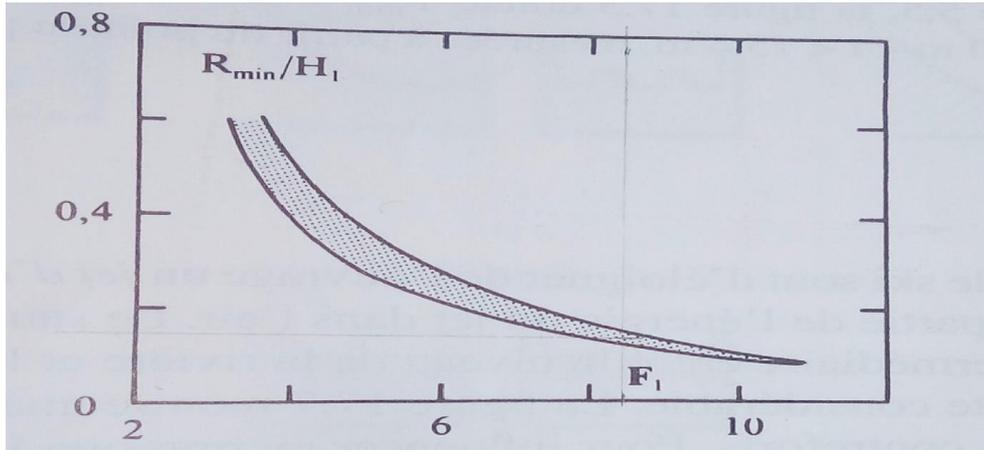


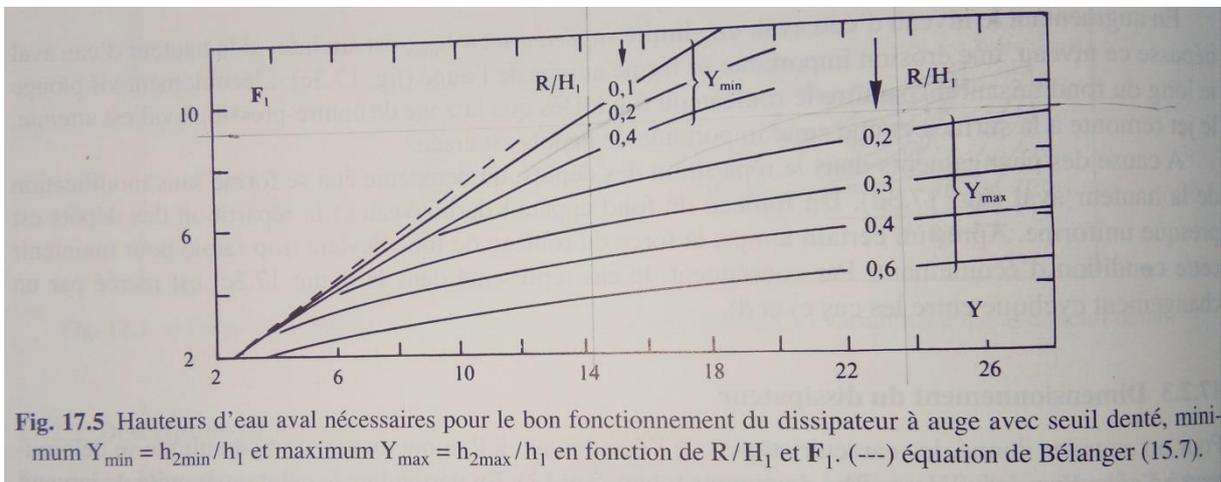
Figure 3 Design charts for labyrinth weir (shown in Hay and Taylor 1970):

**Abaque V. 02:** Dimensionnement du déversoir labyrinthe (Khatsuria -hydraulics of spillways and energy dissipators,2005)

ANNEXES V



**Abaque V.03** : rayon minimal relatif  $R_{min}/H_1$  en fonction de  $F_1$  (saut de ski)



**Fig. 17.5** Hauteurs d'eau aval nécessaires pour le bon fonctionnement du dissipateur à auge avec seuil denté. minimum  $Y_{min} = h_{2min}/h_1$  et maximum  $Y_{max} = h_{2max}/h_1$  en fonction de  $R/H_1$  et  $F_1$ . (---) équation de Bélanger (15.7).

**Abaque V.04** : Hauteur d'eau aval (saut de ski)



## PN 10/16 - DN 40...600

KAT-A 1030-1033-F5-prep-EA

### Caractéristiques du produit et avantages

- Etanchéité souple selon EN 1074 (DIN 3352 - 4B)
- Encombrement selon EN 558, série de base 15 (DIN 3202, F5)
- Raccordement à brides selon EN 1092-2
- Couple de manœuvre réduit grâce au guidage de l'opercule
- Préparé pour actionneur électrique
- Tige sans maintenance
- Tige avec étanchéité par 3 joints toriques
- Faible usure grâce au guidage de l'opercule et palier prolongé de la tige
- Etanche jusqu'à 90% de vide

### Matériaux

- Corps: Fonte ductile EN-GJS-400-15 (GGG-40)
- Couvercle: Fonte ductile EN-GJS-400-15 (GGG-40)
- Opercule: Fonte ductile EN-GJS-400-15 (GGG-40) entièrement surmoulé EPDM (eau/eau de mer), pour les eaux usées entièrement surmoulé NBR
- Visserie: Inox A2 (DIN EN ISO 3506)
- Tige: Inox 1.4021 (eau)
- Ecrou de tige: Laiton (eau)

### Protection anticorrosion

- Revêtement intérieur et extérieur en époxy selon les directives GSK

### Versions

- Variante standard comme décrite
- Tige en inox 1.4057, écrou de tige en bronze et opercule en fonte ductile EN-GJS-400-15 (GGG-40) entièrement surmoulé NBR (eaux usées)
- Tige en inox 1,4462, écrou de tige en bronze et opercule en fonte ductile EN-GJS-400-15 (GGG-40) entièrement surmoulé EPDM (eau de mer)

### Applications

- Montage en regard
- Installation aérienne



### Contrôles et homologations

- Test final selon EN 12266
- Certifié et agréé DVGW
- Elastomères certifiés selon W 270 (EPDM)

### Indication

Pour la conformité du montage et la sécurité de l'utilisation, se référer à la notice d'utilisation et de montage suivante:  
"Notice d'utilisation et de montage des vannes"

### Domaine d'utilisation

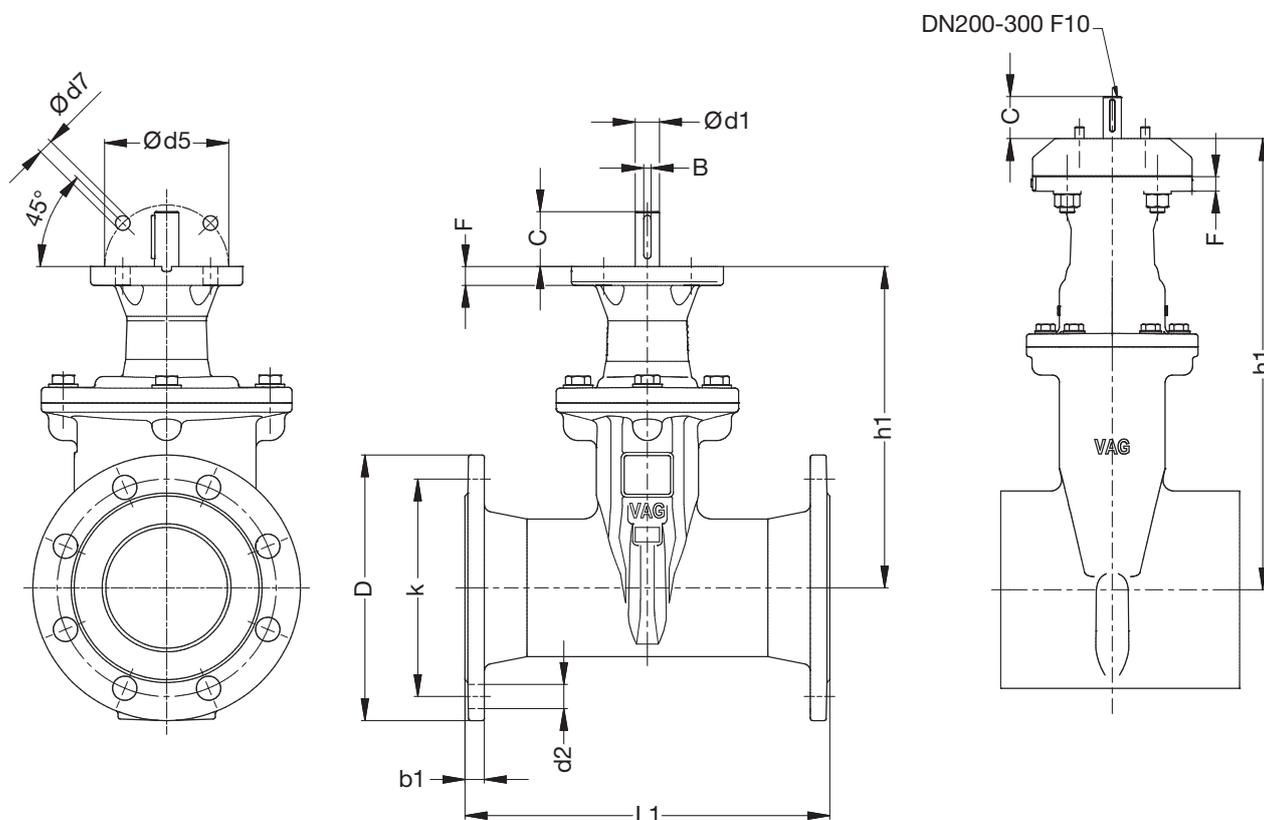
DN	PN	Pression de service maximale autorisée [bar]	Température de service autorisée pour les liquides neutres [°C]
40...600	16	16	50
40...600	10	10	50

### Contrôle de pression selon EN 12266

Pression de contrôle dans le corps à l'eau [bar]	Pression de contrôle dans le siège à l'eau [bar]
24	17,6
15	11



Plan



DN 600 - PN 10: Passage identique au DN 500  
DN 500 - 600 avec bypass DN 40

Détails techniques

PN 10

DN		40	50	65	80	100	125	150	200	250	300	350	400
C	[mm]	45	45	45	45	45	45	45	45	65	65	65	63
D	[mm]	150	165	185	200	220	250	285	340	400	455	520	580
k	[mm]	110	125	145	160	180	210	240	295	350	400	460	515
B	[mm]	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	8	8
F	[mm]	15	15	15	15	15	15	15	16	16	16	25	25
L1	[mm]	240	250	270	280	300	325	350	400	450	500	550	600
b1	[mm]	19	19	19	19	19	19	19	20	22	24,5	26,5	28
d1	[mm]	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	30	30
d2	[mm]	19	19	19	19	19	19	23	23	23	23	23	28
d5	[mm]	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	140	140
d7	[mm]	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	18	18
h1	[mm]	192	197	232	237	266	303	342	498	605	669	846	920
Nombre de trous		4	4	4	8	8	8	8	8	12	12	16	16
tr/course		12	14,5	20,5	21,5	21,5	26,5	32	34	43	51	59	50
Type d'entraînement		SA07.6	SA10.2	SA10.2	SA14.2	SA14.6							
Raccord ISO 5210		F10	F14	F14									
Poids app.	[kg]	11,30	12,00	17,00	18,50	22,00	30,50	36,00	68,50	105,00	141,00	283,00	353,00



## Détails techniques

### PN 10

DN		500	600
C	[mm]	63	63
D	[mm]	670	780
k	[mm]	620	725
B	[mm]	8	8
F	[mm]	25	25
L1	[mm]	700	800
b1	[mm]	26,5	30
d1	[mm]	30	30
d2	[mm]	28	31
d5	[mm]	140	140
d7	[mm]	18	18
h1	[mm]	1070	1070
Nombre de trous		20	20
tr/course		64	64
Type d'entraînement		SA14.6	SA14.6
Raccord ISO 5210		F14	F14
Poids app.	[kg]	495,00	525,00

### PN 16

DN		40	50	65	80	100	125	150	200	250	300	350	400
C	[mm]	45	45	45	45	45	45	45	45	65	65	65	63
D	[mm]	150	165	185	200	220	250	285	340	400	455	520	580
k	[mm]	110	125	145	160	180	210	240	295	355	410	470	525
B	[mm]	6	6	6	6	6	6	6	6	8	8	8	8
F	[mm]	15	15	15	15	15	15	15	16	16	16	25	25
L1	[mm]	240	200	270	280	300	325	350	400	450	500	550	600
b1	[mm]	19	19	19	19	19	19	19	20	22	24,5	26,5	28
d1	[mm]	20	20	20	20	20	20	20	20	30	30	30	30
d2	[mm]	19	19	19	19	19	19	23	23	28	28	28	31
d5	[mm]	102	102	102	102	102	102	102	102	140	140	140	140
d7	[mm]	12	12	12	12	12	12	12	12	19	19	18	18
h1	[mm]	192	197	232	237	266	303	342	498	563	627	846	920
Nombre de trous		4	4	4	8	8	8	8	12	12	12	16	16
tr/course		12	14,5	20,5	21,5	21,5	26,5	32	34	43	51	59	50
Type d'entraînement		SA07.6	SA07.6	SA07.6	SA07.6	SA7.6	SA10.2	SA10.2	SA10.2	SA14.2	SA14.2	SA14.2	SA14.6
Raccord ISO 5210		F10	F10	F10	F10	F10	F10	F10	F10	F14	F14	F14	F14
Poids app.	[kg]	11,30	12,00	17,00	18,50	22,00	30,50	36,00	67,00	97,70	137,00	282,00	353,00

### PN 16

DN		500	600
C	[mm]	63	63
D	[mm]	715	840
k	[mm]	650	770
B	[mm]	8	8
F	[mm]	25	25
L1	[mm]	700	800
b1	[mm]	31,5	36
d1	[mm]	30	30
d2	[mm]	34	37
d5	[mm]	140	140
d7	[mm]	18	18
h1	[mm]	1070	1070
Nombre de trous		20	20
tr/course		64	64
Type d'entraînement		SA14.6	SA14.6
Raccord ISO 5210		F14	F14
Poids app.	[kg]	520,00	587,00

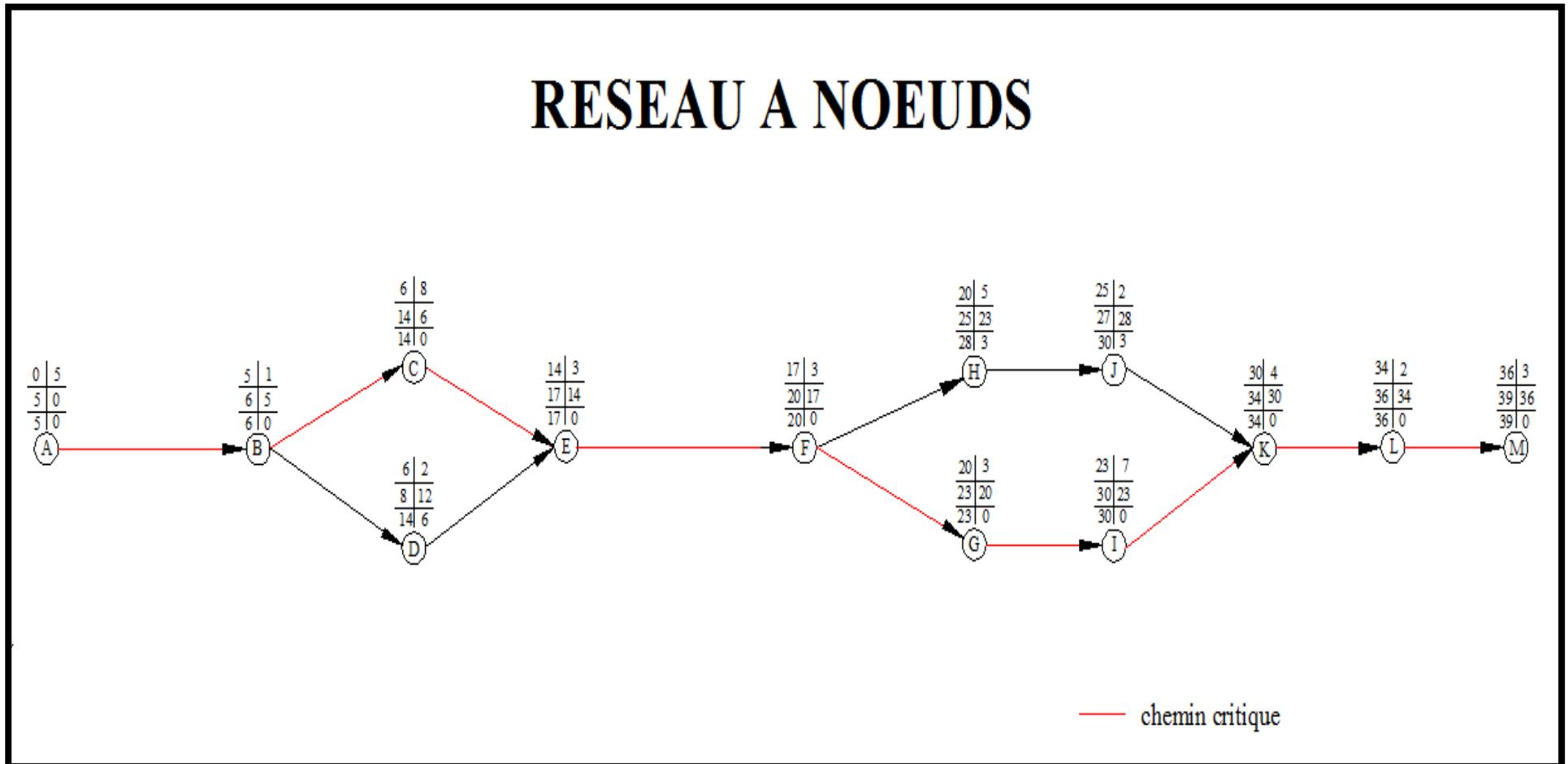


Figure VI.1 : Réseau a nœuds

