الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

NATIONAL HIGHER SCHOOL FOR HYDRAULICS
"The MujahidAbdellah ARBAOUI"

المدرسة الوطنية العليا للري
"المجاهد عبد الله عرباوي"
ⵜⴰⵙⴷⴰⵡⵜ ⵜⴰⵏⴰⵎⵓⵔⵜ ⵏ ⵜⵓⵙⵙⵔⵉⵡⵉⵏ ⵏ ⵜⵣⵔⴼⵜ

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat en Hydraulique

Option : CONCEPTION DES OUVRAGES HYDROTECHNIQUES

THEME :

ETUDE DES VARIANTES DE L'EVACUATEUR DE CRUE DU BARRAGE OULDJET MELLEGUE (W.Tébessa)

Présenter par :

HOUCHATI imad abdelhalim

Devant les membres du jury

Nom et Prénoms	Grade	Qualité
A.HADJ SADOK	Professeur	Président
I.ZAIBAK	M.A.A	Examinateur
M.BOUZIANE	M.A.A	Examinateur
A.ZEROUAL	M.C.A	Promoteur

Session septembre …….. 2021

Dédicaces

Je dédie se travail avec des signes de respect de remerciement et de gratitude pour :

- *Mes parents qui m'ont encouragé et m'ont accompagné tout au long de mon parcours.*
- *L'ensemble de mes amies qui ont encouragé aussi durant les périodes difficiles.*
- *Mes collègues les plus proches de mois qui ont laissées une empreinte dans ma vie.*
- *Toutes les personnes qui ont un impact sur le développement de ma personnalité positivement*

HOUCHATI imad abdelhalim 2021

Remerciements

Tous d'abord je dois dire El hamdoulilah. Je tien a remercié en premier lieu mes parents qui sont les personnes les plus importants dans ma vie et qui ont tous l'honneur pour la place que j'ai maintenant et qui je vais l'obtenir plus tard de ma vie.

Je tien a remercié infiniment aussi tous mes enseignants de tous mon parcoure académique et surtout les enseignants de l'école nationale supérieure d'hydraulique avec un remercîment spéciale pour mon encadreur ***Mr. ZEROUAL ayoub*** *pour tous ces conseils et travail qui ont m'aider pour la réalisation de mon MFE.*

Je remercier encore tous mes collègue de l'ENSH et surtout mes proches de ma promo 2016 pour tous les bons moments que j'ais passées durant les Cinque années passées.

Je remercier encore tous mes amies en dehors de l'ENSH et les personnes qui ont laissées une empreinte positive dans ma vie jusqu'au ce jour-là.

HOUCHATI imad abdelhalim 2021

ملخص

سد ولجت ملاق يقع على مستوى ولاية تبسة. الهدف من بناء السد هو من أجل سقي المحاصيل الزراعية المتواجدة في المنطقة وبالأخص منطقة الونزة بصفة أساسية، بالإضافة الى نسبة ضئيلة موجهة للشرب. هو عبارة عن سد اسمنتي مزود بعدة أجهزة للمحافظة عليه من بينها جهاز لإلغاء الفيضانات الذي يقع في وسط السد بكمية استيعاب تقدر بحوالي 462.222 م3 من المياه في كل ثانية. للسد ارتفاع يقدر ب 39.257 م وبقدرة استيعاب قصوى تصل الى 33.95 مليون م3.

الهدف من هذا العمل هو اختيار نوعين من أجهزة صرف المياه الزائدة في السد والمناسبة لنوعية بنا السد، والقيام بتصميمهما كليا واختيار التصميم الأفضل للسد وذلك بالقيام بدراسة حسب خصائص كل جهاز والتكلفة الاجمالية لكل جهاز والقيام بدراسة هندسية لنوعية الجهاز المختار. من أجل القيام بكل هذه الدراسات يجب البحث واستعمال المعطيات الطبوغرافية والجيولوجية والمناخية والقيام بدراسة هيدرولوجية لكافة منطقة حوض سد ولجت ملاق لتحديد الأبعاد المناسبة لكلا جهازي تصريف المياه الزائدة في السد.

الكلمات المفتاحية: السد، جهاز صرف الفيضانات، البيانات الطبوغرافية، الجيولوجية، المناخية، دراسة الهندسة المدنية، الدراسة الهيدرولوجية.

Résume

Le barrage d'Ouldjet Mellegue est situé au niveau de Wilaya de Tébessa. Le but de la construction du barrage est d'irriguer les cultures agricoles situées dans la zone, en particulier la zone d'Ouenza avec petit pourcentage destiné à la consommation humaine. Est un barrage en BCR équipé de plusieurs dispositifs pour la protection, dont l'évacuateur de crues, qui est situé au centre du barrage a une capacité d'évacuation de 462.222 m3/s. Le barrage à une hauteur estimée à 39,257 m et une capacité maximale de 33,95 millions de m3.

Le but de ce travail est de choisir deux types d'évacuateur de crue pour l'excès d'eau dans le barrage qui sont adaptés à la nature de notre barrage, de les concevoir complètement et de choisir la meilleure conception pour le barrage en réalisant une étude selon les caractéristiques de chaque évacuateur et le coût total et de faire une étude génie civil pour la variante choisit. Afin de mener à bien toutes ces études, il est nécessaire de rechercher et d'utiliser les données topographiques, géologiques et climatiques, et de mener une étude hydrologique pour toute la zone du bassin versant du barrage de Ouldjet Mellegue afin de déterminer les dimensions appropriées à la fois pour le l'évacuateur de crue.

Mots clés : Barrage, évacuateur de crue, données topographique, géologique, climatique, étude génie civil, étude hydrologique.

Abstract

The Ouldjet Mellegue dam is located at Wilaya de Tébessa. The purpose of the construction of the dam is to irrigate the agricultural crops located in the area, in particular the area of Ouenza with a small percentage intended for human consumption. It is a BCR dam equipped with several devices for protection, including the spillway, which is located in the centre of the dam with a discharge capacity of 462,222 m3 /s. The dam has an estimated height of 39.257 m and a maximum capacity of 33.95 million m3. The aim of this work is to choose two types of spillway for the excess water in the dam, which are suitable for the nature of our dam. To design them completely and to choose the best design for the dam by making a study according to the characteristics of each spillway and the total cost and to carry out a civil engineering study for the variant chosen. In order to carry out all these studies, it is necessary to research and use topographic, geological and climatic data, and to conduct a hydrological study for the entire watershed area of the Ouldjet Mellegue dam in order to determine the appropriate dimensions for the spillway.

Keywords: Dam, spillway, topographic, geological, climatic data, civil engineering study, hydrological study.

Sommaire

CHAPITRE I : Synthèse des études réalisé
INTRODUCTION 2
I.1. Localisation du site 2
I.2. Description du site 4
I.3. Caractéristique de la retenue 4
I.4. Objective de barrage 5
I.5. Description de l'aménagement 5
I.5.1. Barrage en BCR et digues de col : 5
I.5.2. Evacuateur de crue : 6
I.5.3. Prise d'eau : 6
I.5.4. Dérivation provisoire : 7
I.6. Fiche Synoptique (regroupant les caractéristiques du Barrage suivant l'étude de l'ANBT et Bureau d'étude ENERGOPROGECT) 7
I.7. Synthèse des études (Géologique, géotechnique et hydrologique) 9
I.7.1. Synthèse de l'étude géologique et géotechnique 9
a. Synthèse de l'étude géologique et hydrogéologie 9
b. Synthèse de l'étude Géotechnique 10
I.7.2. Synthèse de l'étude Hydrologique 14
I.7.3. Synthèse des variantes de l'évacuateur de crue 16
a. Classification et types des évacuateurs de crue 16
b. Principaux critères pour choisir le type d'évacuateur de crue 16
Conclusion 17
CHAPITRE II : Etude Géologique et Géotechnique
INTRODUCTION 17
II.1. Etude Géologique 17
II.1.1. Au niveau régional 17
a. La Morphologie 17
b. Lithologie 17
II.1.2. Au niveau de la Retenu 18
a. Géologie 18
II.1.3. Au niveau du Site 19
a. Géomorphologie 19
b. Lithologie 19
c. Structure géologique 19

II.2. Etude Géotechnique 20
II.2.1. Sondage carottés 20
II.2.2. Essais réalisé 22
a. Essai de perméabilité 22
b. Estimation des caractéristiques de la fondation par la méthode de Hoek et Brown 22
c. Essais au laboratoire 25
II.2.3. Zonage Géotechnique 25
II.2.4. Matériaux de construction 27
a. Zone d'argile 27
b. Zone d'emprunt de sables et graviers 27
d. Zone d'emprunt d'alluvions grossières 27
II.2.5. Aléa sismique 28
Conclusion 29

CHAPITRE III : Etude Hydrologique

INTRODUCTION 30
III.1. Présentation du Bassin versant 30
III.2. Caractéristique du bassin versant 32
III.2.1. Caractéristiques géométriques 32
III.2.1.1 La surface du Bassin versant 32
III.2.1.2. Le périmètre du bassin versant 32
III.2.1.3. Longueur du thalweg principale 32
III.2.1.4.Altitude du Bassin versant : 32
III.2.2. Caractéristiques morphologiques 32
III.2.2.1.Indice de compacité de Gravelieus Kc 32
III.2.2.2. Coefficient d'allongement Kp 33
III.2.2.3. l'hypsométrie du bassin versant 33
III.2.2.5. Pente moyenne du bassin versant 36
III.2.2.5. Indice de pente globale 37
III.2.2.6. Indice de pente moyenne 37
III.2.3. Caractéristiques hydrographiques 38
III.2.3.1.Réseau hydrographique 38
III.2.3.2. Pente moyenne du coure d'eau principale 39
III.2.3.3. Densité de drainage 39
III.2.3.4. Le coefficient de torrentialité Ct 39
III.2.3.5. Temps de concentration 40
III.2.3.6. Vitesse de ruissèlement 41
III.2.4. Caractéristique climatologique 42

III.2.4.1. La température 42
III.2.4.2. L'évaporation 43
III.2.4.3. La vitesse du vent et nombre de jours de sirocco 44
III.2.4.4. Pluviométrie 45
III.2.4.5. Les précipitations maximales journalières 46
III.2.4.6. Pluies de courte durée 51
III.3. Etudes des Apports 57
III.3.1. Apports calculées par formules empiriques 57
- Formule de SAMIE 57
- Formule de MEDINGUER 57
- Formule de l'ANRH 57

III.3.2. Apports liquide suivant les données de la station 58
III.3.3. Caractéristique de l'écoulement 59
III.3.3.1. Module de l'écoulement 59
III.3.3.2. Module de l'écoulement relatif 60
III.3.3.3. Lame d'eau écoulée 60
III.3.3.4. Coefficient de l'écoulement 60
III.3.4. Apports fréquentielle 60
1. Choix de la loi d'ajustement 60
III.3.5. Apports solide et calcule du volume mort 62
III.3.5.1. Formule de TIXERONT en suspension 63
III.4. Etudes des Crues 64
III.4.1. Choix de la loi d'ajustement 64
III.4.1.1. Ajustement par la loi de GUMBEL 65
III.4.2. Détermination des débits maximaux fréquentiels par la méthode du GRADEX 66
III.4.2.1. Description de la méthode de GRADEX 66
III.4.2.2. Hypothèse de la méthode 66
III.4.2.3. Principe de la méthode 66
III.4.2.4. Etapes de la méthode de GRADEX 66
III.4.2.5. Application de la méthode de GRADEX 67
III.4.3. Hydrogramme de crue 69
III.4.4. Choix de crue de projet 76
III.4.5. Choix de crue de chantier 79
III.5. Régularisation 81
III.5.1. Répartition mensuelle d'apports 80% 81
III.5.1.1. Apports fréquentielle. 81
II.5.2. Répartition mensuelle de la demande 81

III.5.3. Courbe « Hauteur-Capacité-Surface » 82
III.5.4. Calcule du volume utile 83
III.5.4.1. Régularisation saisonnière sans tenir compte des pertes 84
III.5.4.2. Régularisation saisonnière en tenant compte des pertes 85
III.6. Laminage des crues 88
III.6.1. Méthode de MUSKINGUM (Fread, Hsu 1993) 88
III.6.1.1. Laminage d'une onde de crue dans un tronçon de rivière 88
III.6.1.2. Méthode de MUSKINGUM 89
III.6.1.3. Principe de la méthode 90
III.6.1.4. Calcule le débit de sortie 91
III.6.1.5. Calcule du volume stocké 92
III.7. Etude d'optimisation 104
III.7.1. La revanche 104
a. Formule de STEVENSON GAILLARD 104
b. Formule (Mallet, Pacquant 1951) 105
c. Formule simplifiée 105
III.7.2. tassement du barrage 106
III.7.3. Largeur en crête 106
a. Formule de T. KNAPPEN 106
b. Formule E.F. PREECE 106
c. Formule Simplifiée (Anonyme) 106
d. Formule Pratique (USBR) 106
III.7.4. Hauteur du barrage 106
III.7.5. Longueur de la crête 108
III.7.6. Calcule le coût 108
a. Coût de la digue 108
b. Cout de déversoir 109
c. Coût de coursier 109
d. Coût de canal d'approche 110
e. Coût totale du barrage 111
Conclusion 113
CHAPITRE IV : Etude des variantes de l'évacuateur de crue
INTRODUCTION 114
IV.1. Synthèse des variantes 114
IV.1.1. description du site du barrage 114
IV.1.2. construction de la digue 114
IV.1.3. classification et types des évacuateurs de crue 114

IV.1.3.1. selon le type de fonctionnement hydraulique ou régime d'écoulement 114
IV.1.3.2. L'emplacement par rapport à la digue 114
IV.1.3.3. Mode de régale du débit 114
IV.1.4. principaux critères pour choisir le type d'évacuateur de crue 115
IV.1.5. Classification des évacuateurs selon leurres emplacement 115
IV.1.5.1. Evacuateur centrale intégré au corps du barrage 115
IV.1.5.2. Evacuateur de crue posée sur la rive 115
IV.1.5.3. Evacuateur de crue de type siphon 115
IV.1.5.3. Evacuateur de forme tulipe 115
IV.1.6. Choix de type d'évacuateur pour notre cas d'étude 115
IV.2. Dimensionnement des variantes d'évacuateur choisis 116
IV.2.1. Evacuateur centrale de type GREAGER à coursier lisse et bassin de dissipation de type USBR. 116
a. Vitesse d'approche 116
b. Déversoir 116
c. Calcule de coursier 118
d. Bassin de dissipation 122
e. Canal de fuite 126
IV.2.2. Evacuateur centrale en déversoir labyrinthe avec coursier lisse et un dissipateur de type saut de ski. 127
a. Vitesse d'approche 127
b. Déversoir en labyrinthe 128
c. Coursier lisse 132
d. Ouvrage de restitution : 137
IV.3. Choix de type de l'évacuateur 139
IV.3.1. Critères de choix de la variante favorable. 140
• Côté conception 140
Conclusion 140
CHAPITRE V : Etude de la variante choisi
INTRODUCTION 141
V.1. Etude de stabilité 141
V.1.1. Stabilité du déversoir 141
• Poids propre du déversoir 142
• Poids propre de la tranche d'eau appliquée sur le déversoir 142
• Force hydrostatique 142
a. Stabilité en renversement 142
b. Stabilité au glissement 143

V.1.2. Stabilité des murs bajoyer de coursier 144
- Forces verticales 144
- Forces horizontales 145

a. Stabilité au renversement 145
b. Stabilité au glissement 146

V.1.3. Stabilités des murs bajoyer du bassin de dissipation 147
- Calculs des forces verticales 147
- Forces horizontales 149

a. Stabilité au reversement 150
b. Stabilité au glissement 151
c. Stabilité au poinçonnement 151

V.2. Ferraillage des éléments d'évacuateur 153

V.2.1. Ferraillage du déversoir 153
a. Données de départ 153
b. Calcule des moments de chaque tranche 153
d. Calcul des aciers 154

V.2.2. Ferraillage de coursier avec mur bajoyer 157

1. Ferraillage de mur de coursier 157
a. Données de départ 157
b. Calcule le moment de mur de coursier 157
c. Calcul des aciers 157

2. Ferraillage de la semelle de coursier 159
a. Calcule des contraintes effectuées à la semelle 159
b. Calcule la section d'acier 161

V.2.3. Ferraillage de mur du bassin dissipation avec semelle 163

1. Ferraillage de mur du bassin 164
a. Calcule les charges appliquant pour chaque tranche 164
b. Ferraillage du mur 164

2. Ferraillage du contre fort 167
a. Calcul les charges 167
b. Ferraillage du contre fort 168

3. Ferraillage de la semelle 170
a. Calcule des contraintes effectuées à la semelle 170
b. Calcule la section d'acier 171

Conclusion 173

CHAPITRE VI : Organisation de chantier

INTRODUCTION 174

VI.1. Organisation des données préparatoire et technique 174
VI.2.Principaux intervenants dans le chantier 174
VI.2. 1Maitre d'ouvrage 174
VI.2.2. Maitre d'œuvre. 174
VI.2.3. L'entrepreneure 175
VI.3. Les différentes phases de chantier. 175
VI.3.1. Préparation et ouvertures des accès pour le chantier et zones d'emprunts. 175
VI.3.2. Installation de chantier et travaux préparatoire 175
a. Installation destiné au personnelle 175
b. Installation destinés mettre les engins et réparation des engins 175
c. Installation pour le stockage des matériaux de construction 175
d. Installation destinés à la préfabrication 175
VI.3.3. Travaux de réalisation 176
a. Implantation des ouvrages sur le chantier 176
b. Travaux de terrassement 176
c. Travaux d'excavation 176
d. Travaux secondaires 176
VI.4. Les moyennes de chantier 176
VI.4.1. Moyennes humaines 176
VI.4.2. Les engins de terrassement 177
VI.4.3. Le matériel de bétonnage 177
VI.4.4. Matériels spécifique 177
VI.5. Planification de chantier 178
VI.5.1. Attribution des durées de chaque opération 178
VI.5.2. Délai de construction et programme des travaux 178
VI.5.3. Programme de réalisation pour le barrage d'Ouldjet Mellegue 178
VI.5.4. Symboles et temps de réalisation pour chaque période 178
VI.5.5.Les techniques de planification 179
1. Méthode basé sur le réseau 179
2. Méthode basé sur le tableau 184
3. Méthode basé sur le graphique (diagramme de GANTT) 184
Conclusion 186
CHAPITRE VII : Protection au travail
INTRODUCTION 187
VII.1. Accident de travail et maladie professionnel 187
VII.1.1. Définition de l'accident de travail 187

VII.1.2.Définition d'une maladie professionnelle 187
VII.2.Les risques des accidents de travail 187
VII.2.1. Risques lié aux matériels : 187
VII.2.2. Risques lié aux personnes 187
VII.2.3. Risques lié à la nature de travail : 188
VII.2.4. causes et risques lié aux matériels de réalisation 188
VII.2.5. Risques lié aux matériels dans le cas de mauvaises conditions 188
VII.2.6. Risques liés au personnelles 188
VII.2.4. Risques aux natures des travaux 188
a. Risques au travail en hauteur 188
b. Risques liés au travail en extérieur 189
c. Risques chimiques 189
d. Risques organisationnelle 189
e. Risques routiers 189
VII.3.Protection du travail 190
VII.3.1.Protection du travail pour les engins de construction 190
a. Sécurisation des engins 190
b. Règlementation pour le mouvement des engins dans le chantier 190
c. Règlementation routier d'engins 190
VII.3.2.Protection du travail pour les travailleurs 190
1. Protection collectif 191
a. Principaux moyens de la protection collective 191
b. Principaux techniques de protection collective dans un chantier 192
2. Protection individuelle 192
a. Formation des conducteur travaux 192
b. Equipement de protection individuelle 192
Conclusion 193
CHAPITRE VIII : Etude d'impact sur l'environnement
INTRODUCTION 194
VIII.1. L'utilité des barrages 194
VIII.2. Impacte de construction d'un barrage 194
VIII.2.1. Impacts positive 194
a. Impacts positive direct 194
b. Impacts positive indirecte 194
VIII.2.2. Impacts négative de la zone de construction du barrage 195
a. Impacts sur la zone a inondé 195
b. Impacts des travaux de construction 195

c. Impacts sur la phase d'exploitation 197
Conclusion 197
Conclusion générale 198

Liste des figures

Chapitre I : Synthèse des études réalisé

Figure I. 1 : Carte de situation du Barrage Ouldjet Mellegue (extrait à partir de la carte d'état-major de l'Algérie) 3
Figure I. 2 : Courbe Hauteur-Capacité-Surface du Bassin versant 4
Figure I. 3 : retenue du barrage Ouldjet Mellegue « Carte de retenue » (Source : ANBT) 5
Figure I. 4 : Fuseau granulométrique des alluvions grossiers (Source : ANBT) 13
Figure I. 5 : Histogramme des pluies mensuelles au niveau de la station Ouenza (Source : ANRH) 14
Figure I. 6 : Histogramme des apports moyens mensuels au niveau du Bassin versant Oueldjet Mellegue (Source : ANRH)..... 15

Chapitre II : Etude Géologique

Figure II. 1 : Carte géologique de la retenue du barrage (Source : ANBT) 18
Figure II. 2 : Carte géologique du Site (Source : ANBT) 20
Figure II. 3 : L'emplacement des sondages (Source : ANBT)..... 21
Figure II. 4 : Coupe géologique de la digue principale avec position des sondages (Source : ANBT)..... 21
Figure II. 5 : Résultats de l'essai Lugeo (Source : ANBT) 22
Figure II. 6 : Estimation des paramètres géomécaniques avec le critère Hoek & Brown (Source : ANBT) 23

Chapitre III : Etude Hydrologique

Figure III. 1 : Délimitation du Bassin versant du Barrage Ouldjet Mellegue 31
Figure III. 2 : Carte hypsométrique du bassin Ouldjet Mellegue..... 34
Figure III. 3 : Courbe hypsométrique du bassin versant Ouldjet Mellegue 35
Figure III. 4 : Réseau hydrographique du bassin Ouldjet Mellegue 38
Figure III. 5 : Les températures moyennes pour le bassin versant Ouldjet Mellegue (Source : ANRH) 43
Figure III. 6 : Les valeurs d'évaporation moyenne au niveau de la retenue Ouldjet Mellegue (Source : ANRH)..... 44
Figure III. 7 : Les valeurs des vitesses moyennes du bassin versant et nombres de jours du sirocco Ouldjet Mellegue 45
Figure III. 8 : Histogramme des précipitations moyennes mensuelles 46
Figure III. 9 : Graphe d'ajustement par la loi de GUMBEL (papier normale) 48
Figure III. 10 : Graphe d'ajustement par la loi de GALTON log-normale..... 50
Figure III. 11 : Graphe de comparaison entre loi de GUMBEL et loi de GALTON 51
Figure III. 12 : Graphe des pluies de courte durée 56
Figure III. 13 : Histogramme des apports liquides au niveau de la station Ouenza en Mm3 .. 58
Figure III. 14 : Histogramme des apports liquide au niveau du bassin versant Ouldjet Mellegue..... 59
Figure III. 15 : Graphe d'ajustement des apports par la loi de GALTON log-normale..... 61
Figure III. 16 : Apports mensuels 80% au niveau du bassin versant Ouldjet Mellegue 62

Figure III. 17 : Graphe d'ajustement par la loi de GUMBEL (papier normale) 65
Figure III. 18 : Hydrogramme de crue probable pour le bassin versant Ouldjet Mellegue..... 76
Figure III. 19 : Comparaison entre l'hydrogramme de crue de débits 1000 ans pour la station d'Ouenza et par méthode de GRADEX 77
Figure III. 20 : Hydrogramme de crue de projet 78
Figure III. 21 : Hydrogramme de crue de chantier..... 80
Figure III. 22 : Courbe Hauteur-Capacité-Volume 83
Figure III. 23 : Graphe d'exploitation du barrage 85
Figure III. 24 : différence de temps et de quantité entre débit d'entré et de sortie du barrage (Ngo, 2014; Zhang et al., 2007) 90
Figure III. 25 : barrage déversoir (évacuation a surface libre)..... 91
Figure III. 26 : Courbe Hauteur-Capacité 93
Figure III. 27 : Courbe Hauteur-Surface 93
Figure III. 28 : Courbe caractéristique du barrage pour b=20 m..... 95
Figure III. 29 : Graphe d'hydrogramme sortant en fonction des différentes largeurs d'évacuateur de crue..... 103
Figure III. 30 : Graphe des couts (digue, évacuateur et totale) 112

Chapitre VI : Etude des variantes de l'évacuateur de crue

Figure IV. 1 : profile en long de déversoir de type GREAGER (Source USBR design of small dams (Duncan et al., 1987)..... 117
Figure IV. 2 : Profile du déversoir de type GREAGER..... 118
Figure IV. 3 : Courbe de ligne d'eau au niveau du coursier 121
Figure IV. 4 : Bassin de dissipation USBR de Type III (Source : USBR desigh of small dams (Duncan et al., 1987))..... 123
Figure IV. 5 : schéma d'un déversoir en labyrinthe (Source : support de coure Mr. Zeroual) 128
Figure IV. 6 : abaque de relation entre Cw, h/P et L/w (Darvas, 1971)..... 129
Figure IV. 7 : abaque relation μw, h/P et l/w (Zarrouk et al., 1995)..... 130
Figure IV. 8 : schéma de déversoir labyrinthe avec dimension 132
Figure IV. 9 : Courbe de ligne d'eau au niveau du coursier 135
Figure IV. 10 : schéma d'un évacuateur avec saut de ski (source : USBR désign of small dams (Duncan et al., 1987))..... 137
Figure IV. 11 : schéma d'un saut de ski (source : Google image) 137

Chapitre V : Etude de la variante choisi

Figure V. 1 : schéma explicatifs des différentes longueurs dans le déversoir..... 141
Figure V. 2 : schéma explicatif des différentes longueurs dans le coursier 144
Figure V. 3 : schéma explicatif de différentes charges et longueur dans le bassin de dissipation 147
Figure V. 4 : schéma des charges et longueur pour vérifier le poinçonnement 151
Figure V. 5 : schéma expliquant les tranches du déversoir..... 153
Figure V. 6 : schéma explicatif de ferraillage du mur de coursier 159
Figure V. 7 : diagramme de contraintes appliquées sur la semelle 160
Figure V. 8 : Schéma de ferraillage de la semelle..... 163

Figure V. 9 : représentation de l'allure des moments en travers et en appui de mur (Source : Support de coure Beton 2)..... 164
Figure V. 10 : Schéma de ferraillage d'une tranche du mur..... 167
Figure V. 11 : représentation des charges appliquées au contre fort (Source : Support de cour Beton 2)..... 167
Figure V. 12 : Diagramme de contraintes appliquées sur la semelle..... 171
Figure V. 13 : Schéma de ferraillage de la semelle du bassin dissipation (tranche a-b)..... 172
Figure V. 14 : Schéma de ferraillage de la semelle du bassin dissipation (tranche c-d)..... 173

Chapitre VI : Organisation de chantier

Figure VI. 1 : Schéma du réseau a nœud du barrage Ouldjet Mellegue..... 183
Figure VI. 2 : Diagramme de GANTT pour le barrage d'Ouldjet Mellegue..... 185

Chapitre VII : Protection au travail

Figure VII. 1 : Schéma de prévention à partir de mesuré le risque jusqu'à choisir type de protection (source : Wikipédia (méthodes de sécurité de travail))..... 191
Figure VII. 2 : l'ensemble des types de protection individuelle (Source : Support de cour PST de Mr. Kahlerrase)..... 193

Liste des Tableaux

Chapitre I : Synthèse des études réalisé

Tableau I. 1 : Situation du Barrage 7
Tableau I. 2 : Caractéristiques hydrologiques 7
Tableau I. 3 : Caractéristiques de la retenue 7
Tableau I. 4 : Caractéristiques du Barrage principale en BCR 8
Tableau I. 5 : Caractéristiques de l'évacuateur de crue 8
Tableau I. 6 : Caractéristiques de la vidange du fond 8
Tableau I. 7 : Caractéristique de l'ouvrage de prise 9
Tableau I. 8 : Résultats de l'essai Lugeon (Source : ANBT) 10
Tableau I. 9 : Caractéristiques des zones géotechnique – Fondation du barrage principale (Source : ANBT) 11
Tableau I. 10 : Caractéristique des zones géotechnique – Fondation de la digue de col (Source : ANBT) 11
Tableau I. 11 : Essais au laboratoire pour des zones d'emprunt d'argile (Source : ANBT) 12
Tableau I. 12 : Essais au laboratoire pour les zones d'emprunt sable et gravier (Source : ANBT) 13
Tableau I. 13 : Précipitation moyennes mensuelles au niveau de la station Ouenza (Source : ANRH) 14
Tableau I. 14 : Apports moyennes mensuelles du Barrage Ouldjet Mellegue (Source : ANRH) 15
Tableau I. 15 : Principaux résultats de l'étude hydrologique 16

Chapitre II : Etude Géologique

Tableau II. 1 : Estimation RMR pour Site de la digue principale (Source : ANBT) 24
Tableau II. 2 : Essais au laboratoire pour la digue de col (Source : ANBT) 25
Tableau II. 3 : Essais au laboratoire pour les terrains de la rive droite (Source : ANBT) 25
Tableau II. 4 : Essais au laboratoire pour la fondation de la digue principale (Source : ANBT) 25
Tableau II. 5 : Zonage géotechnique pour la digue principale (Source : ANBT) 26
Tableau II. 6 : Zonage géotechnique pour la digue de col (Source : ANBT) 27
Tableau II. 7 : valeurs d'accélération horizontale au niveau d'Ouldjet Mellegue (Source : ANBT) 28
Tableau II. 8 : Classification des ouvrages selon les différentes zones sismiques suivant RPA (2003) (Source : ANBT) 28

Chapitre III : Etude Hydrologique

Tableau III. 1 : Surface hypsométriques du bassin Ouldjet Mellegue 34
Tableau III. 2 : produit des surfaces par les altitudes du bassin 36
Tableau III. 3 : Longueurs des courbes de niveau du bassin versant Ouldjet Mellegue 37
Tableau III. 4 : résultats du temps de concentration par les trois formules 41
Tableau III. 5 : Récapitulation des paramètres calculés 42

Tableau III. 6 : les températures moyennes au niveau du bassin versant Ouldjet Mellegue (Source : ANRH) 43
Tableau III. 7 : Les valeurs d'évaporation moyenne de la retenue Ouldjet Mellegue (Source : ANRH) 43
Tableau III. 8 : Les vitesses moyennes du vent au niveau du bassin versant Ouldjet Mellegue (Source : ANRH) 44
Tableau III. 9 : Identification des stations pluviométrique (Source : ANRH) 45
Tableau III. 10 : Les précipitations moyennes mensuelles (Source : ANRH) 46
Tableau III. 11 : caractéristique de la série maximale journalière 47
Tableau III. 12 : Résultats d'ajustement par la loi de GUMBEL 48
Tableau III. 13 : Comparaison des caractéristiques de la loi de GUMBEL et de l'échantillon 49
Tableau III. 14 : Résultats de l'ajustement par la loi de GALTON log-normal 49
Tableau III. 15 : Comparaison des caractéristiques de la loi de GALTON log-normale et de l'échantillon 50
Tableau III. 16 : les Précipitations et les intensités pour les différentes fréquences 52
Tableau III. 17 : les Précipitations et les intensités pour les différentes fréquences (suite) 53
Tableau III. 18 : les Précipitations et les intensités pour les différentes fréquences (suite) 54
Tableau III. 19 : Les Précipitations et les intensités pour les différentes fréquences (suite et fin) 55
Tableau III. 20 : Apports liquides au niveau de la station Ouenza (Source : ANRH) 58
Tableau III. 21 : Apports liquides au niveau du site Ouldjet Mellegue 59
Tableau III. 22 : Résultats d'ajustement de la série des apports par la loi de GALTON log-normale 61
Tableau III. 23 : Répartition mensuelle de l'apport 80% pour le site Ouldjet Mellegue 62
Tableau III. 24 : Valeurs de α en fonction de la perméabilité (Source : ANBT) 63
Tableau III. 25 : Récapitulation des résultats 64
Tableau III. 26 : Résultats d'ajustement de la série des débits maximaux par la loi de GUMBEL 65
Tableau III. 27 : Comparaison des caractéristiques de la loi de GUMBEL et de l'échantillon 66
Tableau III. 28 : Résultats d'ajustement par la méthode de GUMBEL 67
Tableau III. 29 : Résultats de la méthode de Gradex pour le site d'Ouldjet Mellegue 69
Tableau III. 30 : Comparaison des débits maximaux entre la station d'Ouenza et par la méthode de GRADEX 69
Tableau III. 31 : Valeurs de coefficients de l'hydrogramme de crue δ suivants (Source : ANRH) 70
Tableau III. 32 : Résultats de temps de monté et décrue 71
Tableau III. 33 : Résultats de temps de monté et décrue (suite) 72
Tableau III. 34 : Résultats de temps de monté et décrue (suite et fin) 73
Tableau III. 35 : crues de projets recommandé (Source : ANBT) 76
Tableau III. 36 : Choix de crue de projet (Source : ANBT) 77
Tableau III. 37 : Répartition mensuelle de l'apport annuelle 80% 81
Tableau III. 38 : Répartition mensuelle de la demande (Source : ANBT) 81
Tableau III. 39 : surface et volume en fonction de la hauteur 82
Tableau III. 40 : Régularisation saisonnière sans tenir compte des pertes (Mm3) 84
Tableau III. 41 : les valeurs de coefficient δ (Source : ANBT) 86
Tableau III. 42 : Régularisation saisonnière en tenir compte des pertes en (Mm3) 87
Tableau III. 43 : Résultats d'étude de régularisation 87
Tableau III. 44 : Valeurs de h et les plages de variation en période de crue 91

Tableau III. 45 : Résultat de calcul de la Courbe caractéristique du barrage pour b=20 m 94
Tableau III. 46 : Calcule de l'hydrogramme de sortie pour b=20m 95
Tableau III. 47 : Calcule de l'hydrogramme sortant pour différentes largeurs 99
Tableau III. 48 : Tableau récapitulatif des résultats de la méthode de Muskingum 104
Tableau III. 49 : Récapitulation des résultats de la revanche 105
Tableau III. 50 : résultats des caractéristiques du barrage suivant les différentes largeurs d'évacuateur de crue 107
Tableau III. 51 : Résultats de cout de la digue pour les différentes largeurs d'évacuateur de crues 108
Tableau III. 52 : Résultats de cout de déversoir de crue pour les différentes largeurs 109
Tableau III. 53 : Cout de coursier suivant les variantes de largeurs d'évacuateur 110
Tableau III. 54 : Cout de canal d'approche 111
Tableau III. 55 : Cout totale du barrage suivant les différentes largeurs d'évacuateur 111
Tableau III. 56 : Résultat finale de l'étude d'optimisation 112
Tableau III. 57 : Récapitulation des résultats de l'étude hydrologique 113

Chapitre IV : Etude des variantes de l'évacuateur de crue

Tableau IV. 1 : Coordonnées de déversoir de type GREAGER 117
Tableau IV. 2 : Résultats de calcule itératif 120
Tableau IV. 3 : Résultats de calcule de phénomène d'aération et les vagues roulantes 122
Tableau IV. 4 : Types des bassins de dissipation suivant nombre de Froude et vitesse d'écoulement (Source : ANBT) 123
Tableau IV. 5 : Résultats de dimensionnement des blocs de chute 124
Tableau IV. 6 : Résultats de dimensionnement de seuil denté 124
Tableau IV. 7 : Résultats de calcule itératif de coursier 134
Tableau IV. 8 : Résultats de calcule de phénomène d'aération et les vagues roulantes 136
Tableau IV. 9 : Résultats de calcules des hauteurs et distances suivants les différentes angles de jet 138
Tableau IV. 10 : Récapitulation des résultats de calcule 139
Tableau IV. 11 : Cout de la conception totale de chaque variante 140

Chapitre V : Etude de la variante choisi

Tableau V. 1 : Données de départ pour le ferraillage du déversoir 153
Tableau V. 2 : Résultats de calcul des moments pour chaque tranche de déversoir 154
Tableau V. 3 : Résultats de calcule de μi 154
Tableau V. 4 : section des aciers utilisés (Source : ANBT) 155
Tableau V. 5 : Résultats de calcul de ferraillage du déversoir 156
Tableau V. 6 : Données de départ pour le ferraillage du coursier 157
Tableau V. 7 : nombres des armatures suivants la section des aciers ordinaire 158
Tableau V. 8 : nombres des armatures suivants la section des aciers ordinaire 162
Tableau V. 9 : Récapitulation des résultats trouvés 163
Tableau V. 10 : Résultats de calcules des charge pour chaque tranche 164
Tableau V. 11 : Résultats de calcule de moment Ma et Mt pour chaque tranche 165
Tableau V. 12 : Résultats de la section d'acier nécessaire 166
Tableau V. 13 : Nombres des barres nécessaires pour chaque tranche 166

Tableau V. 14 : Nombres des barres réparties pour chaque tranche 167
Tableau V. 15 : Résultats de calcul des nombres des barres pour la section repartie de la semelle..... 173

Chapitre VI : Organisation du chantier

Tableau VI. 1 : différentes engins avec leurres utilisation (Source : Support de coure ODC de Mr. Kahlerrase) 177
Tableau VI. 2 : symbole et temps de réalisation pour chaque étape de construction (Source : ANBT)..... 179
Tableau VI. 3 : résultats des opérations précède et succède pour le barrage d'Ouldjet Mellegue 182
Tableau VI. 4 : Détermination du chemin critique par la méthode du tableau 184

Chapitre VII : Protection au travail

Tableau VII. 1 : catégories d'engins suivants la nature des travaux (Source : Support de cour PST de Mr. Kahlerrase) 192

Chapitre VIII : Etude d'impact sur l'environnement

Tableau VIII. 1 : Evaluation d'impact pour les différents milieux existants (Source : L'ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL) 196

Liste des Planches

PLANCHE N°1 : Plan de situation du barrage Ouldjet Mellegue
PLANCHE N°2 : plan d'aménagement de l'ouvrage
PLANCHE N°3 : plan de la coupe géologique sur l'axe du barrage principale.
PLANCHE N°4 : plans des variantes de l'évacuateur de crue.
PLANCHE N°5 : Diagramme de GANTT pour le barrage d'Ouldjet Mellegue

Liste des abréviations

ANRH : Agence nationale des ressources en eau.
ANBT : Agence nationale des barrages et transferts.
Arcgis : Utile de gestion des images satellitaires.
R.N : route nationale.
BV : Bassin versant.
ODC : Organisation de chantier.

Introduction Générale

En Algérie la situation démographique varie d'une année à une autre avec une augmentation chaque année (HAFFAD 2015), cette population qui est chaque année en augmentation nécessite la présence de l'eau pour ces divers besoins journaliers.

La situation de présence de l'eau en Algérie est assez difficile, car selon (Hadef, Hadef 2001) les études ont montré un déficit dans la quantité de l'eau à fournir. Pour cela l'Algérie met en évidence la construction des ouvrages de stockage de l'eau, parmi des nombreux barrages réalisés, on a le barrage d'Ouldjet Mellegue qui se trouve au niveau d'Oued Mellegue Tébessa.

La construction d'un barrage est indispensable, car c'est la meilleure technique pour le stockage superficiel de l'eau. Ce barrage est destiné en premier lieu à la consommation agricole de la région Ouenza et Tébessa avec une faible consommation domestique.

Dans un barrage on a de plusieurs ouvrages qui travaillent pour garder le bon fonctionnement de tout le barrage, parmi ces ouvrages importants on a l'évacuateur de crue (Houichi 2007), qui a un rôle de vider la quantité en excès de l'eau vers le cours d'eau pour la protection du barrage.

Pour ce mémoire de fin d'étude, on va aborder sur les différentes variantes possibles de la construction de l'évacuateur de crue d'Ouldjet Mellegue et choisir la variante la plus adéquate pour notre ouvrage avec la détermination des différentes côtes pour assurer la sécurité.

Pour le contenu de MFE, on a la présence de sept (7) chapitres, ces derniers nous permettent de faire une étude détaillée sur le barrage, en commençant par une synthèse qui donne un résumé des résultats de l'étude de faisabilité par l'ANBT et Bureau ENERGOPROGECT. Par la suite, on a le chapitre Géologique qui a pour but d'identifier la morphologie, géologie et lithologie de la région, retenue et site du barrage. Ensuite, nous abordons l'étude hydrologique, qui est le chapitre le plus important de ce travail car grâce à L'étude hydrologique, on peut déterminer les différentes caractéristiques du bassin versant du barrage et l'évolution des précipitations en quelques mois plus tard, et déterminer également l'arrivée L'inondation du barrage et la contribution à l'alimentation en eau du barrage pour déterminer les différentes dimensions qui déterminent la hauteur totale du barrage (pour assurer la sécurité des travaux et du milieu environnemental).
Puis on entame vers proposer les variantes d'évacuateur de crue qui sont adéquats pour un barrage en BCR, avec le dimensionnement de tous les éléments qui constituent chaque évacuateur d'après les variantes proposées. Après avoir choisi la variante la plus adéquate de côté (réalisation et économie), on aborde vers le chapitre de calcul génie civil qui nous permet de vérifier la stabilité générale de l'ouvrage et la section d'armature nécessaire pour chaque élément de l'évacuateur.

Après, on aura une étude sur l'organisation de chantier du barrage en identifiant les étapes à suivre en les respectant par l'utilisation des méthodes d'organisation les plus utilisées en pratique.

Finalement, on va parler sur l'influence du barrage sur l'environnement qui l'entoure, car maintenant à cause de risque de pollution chaque projet de construction doit répandre aux certaines exigences pour la protection de la nature.
À la fin de travail une conclusion générale sera donnée.

CHAPITRE I : Synthèse des études réalisé

INTRODUCTION

Le barrage d'Ouldjet Mellegue et l'un des quatre barrages qui se trouvent au niveau de la Wilaya de Tébessa, L'aménagement hydraulique d'Ouldjet Mellegue a fait l'objet d'une étude de faisabilité menée entre 1986 et 1988 par le bureau d'études ENERGOPROJECT.

La synthèse de l'étude de faisabilité provient de l'étude d'avant-projet détaillée du barrage suivant le travail de l'ANBT et le bureau d'étude ENERGOPROGECT. A pour but de donner une description générale de l'aménagement incluant une synthèse descriptive et explicative du site, la retenue et les objectives du barrage avec les solutions proposées.

I.1. Localisation du site

Le site de l'aménagement étudié se trouve dans le Nord Est de l'Algérie, à environ 75 km au Nord-Ouest de la ville de Tébessa et à 10 km en amont de la ville d'Ouenza (suivant la localisation de l'ouvrage sur la carte topographique). Il est situé au débouché (ouldjet) de la rivière Mellegue à droite du Djebel Krorza.

Le site du barrage d'Ouldjet Mellegue a pour coordonnées géographiques dans le système WGS84 :

$$\left\{\begin{array}{l}\text{Longitude : } 08°01' 50'' \text{ E} \\ \text{Latitude : } 35°58' 35'' \text{ N}\end{array}\right\}$$

Le site est accessible depuis la route N°82 reliant Ouenza à Taoura : après avoir traversé le pont permettant à la N°82 de franchir l'oued Mellegue, une route goudronnée de 7 km puis une piste de 2 km permet d'accéder facilement au site (Suivant la carte topographique de la région du barrage). L'extrait du carte ci-dessous illustre la situation du site du barrage à l'échelle régionale.



Figure I. 1 : Carte de situation du Barrage Ouldjet Mellegue (extrait à partir de la carte d'état-major de l'Algérie source : ANBT)

I.2. Description du site

Le rétrécissement de la vallée de l'Oued Mellegue à l'endroit où elle coupe le djebel Krorza impose naturellement le site du barrage choisi. La pente de l'oued Mellegue est d'environ 0.5% à l'amont du site et d'environ 0.3% à l'aval (Suivant l'étude de l'ANBT).

En rive gauche, à quelques centaines de mètres du lit de l'oued, la ligne de crête du djebel a formé le verrou et rabaissé brusquement de 20 à 30 m au droit d'une faille reconnue par cartographie géologique et prospection géophysique. Il en résulte un col relativement peu profond mais étendu qui doit être fermé par une digue d'une longueur d'environ 900 m.

À l'emplacement du barrage, les principales caractéristiques morphologiques sont les suivants :

- lit de l'oued à la cote 531 m NGA.
- les pentes des deux rives présentent le même pendage général, de l'ordre de 30°.
- fond alluvial à la cote 540.0 m NGA d'une largeur d'environ 100 m.
- largeur de la vallée d'environ 320 m à la cote 575.0 m NGA.

I.3. Caractéristique de la retenue

Les caractéristiques de la retenue ont été établies sur la base du levé topographique au 1/5 000ème de la cuvette réalisés en 2005

Les caractéristiques hauteurs / superficie du réservoir ont été déterminé par l'étude hydraulique sur le bassin versant d'Ouldjet Mellegue. Le volume de la retenue aux différentes côtes a été déduit suivant la surface à chacun variation d'altitude (5m).

La loi Hauteur/Superficie/Volume (loi HSV) illustrée sur la Figure I.2. A la côte de Retenue Normale (570.50 m NGA).

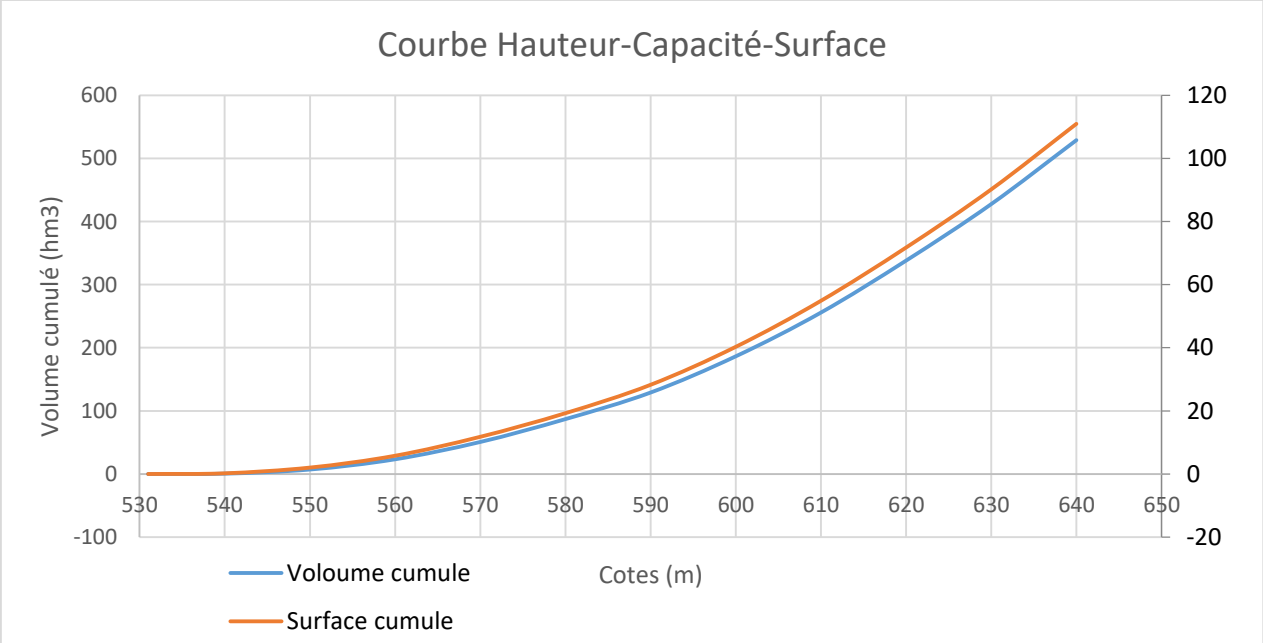


Figure I. 2 : Courbe Hauteur-Capacité-Surface du Bassin versant

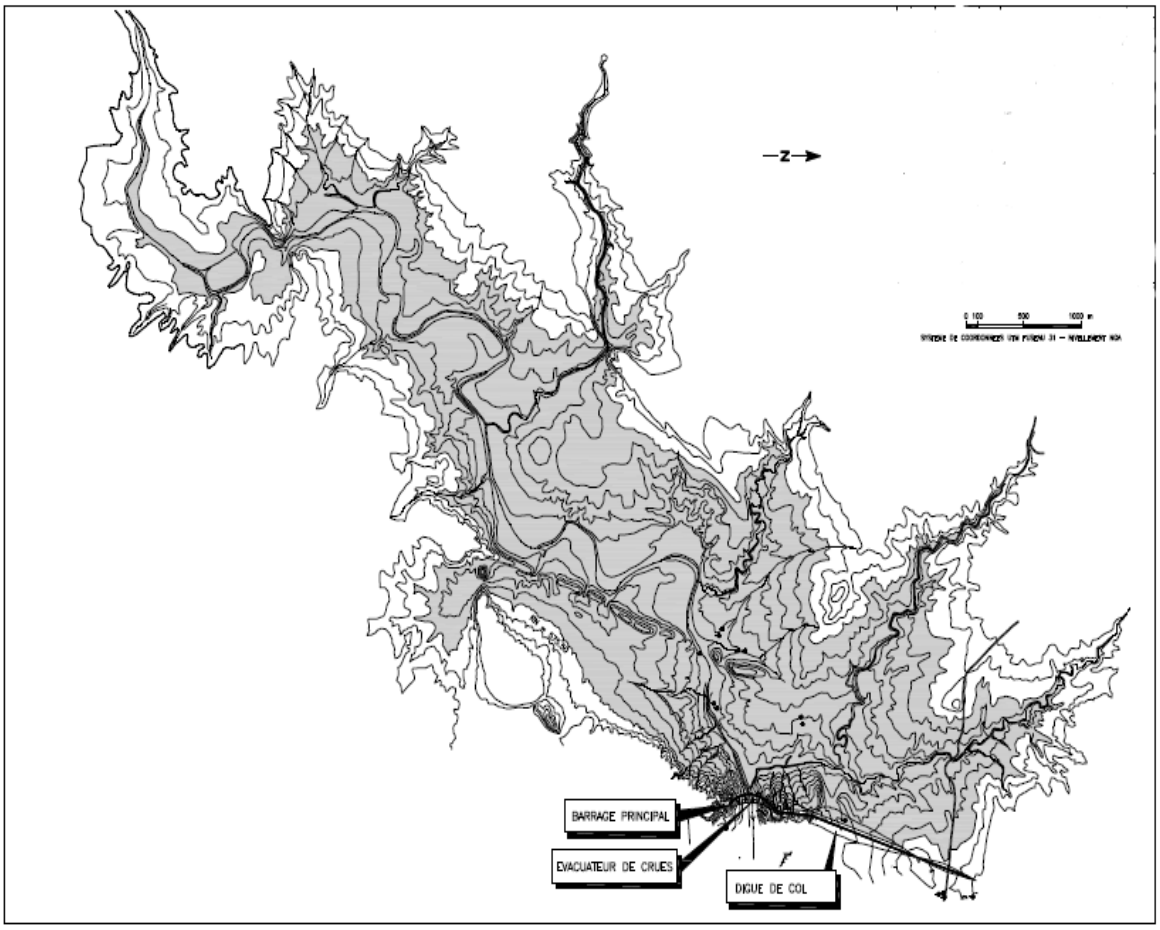


Figure I. 3 : retenue du barrage Ouldjet Mellegue « Carte de retenue » (Source : ANBT)

I.4. Objective de barrage

La demande du l'eau d'irrigation dans la région est assurée par le barrage d'ouldjet Mellegue (Suivant les données de demande du l'eau d'irrigation de la région Ouenza qui fait partie de l'étude de l'ANBT au niveau d'Oued Mellegue) et qui est l'un des principaux cours d'eau au niveau de la Wilaya de Tébessa et qui se trouve à côté droit du Djebel Krorza, avec une capacité de plus de 35.52 millions m^3.
Utilisation de l'eau de barrage pour l'irrigation des zones agricoles au niveau de la région d'Ouenza.

I.5. Description de l'aménagement

I.5.1. Barrage en BCR et digues de col :

L'implantation du barrage est pratiquement imposée par la topographie du site (le choix du site du barrage fait partie d'une étude de bureau d'étude ENERGOPROJECT) qui présente un rétrécissement de la vallée de l'Oued Mellegue à l'endroit où elle coupe le massif de Krorza.
À l'amont du site, la vallée est large. Le Djebel Krorza, qui constitu l'appui rive gauche, culmine à la côte 585 m NGA, contrainte topographique qui fixe la hauteur du barrage économiquement faisable.

Suivant les résultats de l'étude fournis par l'ANBT et bureau d'études, l'ouvrage de fermeture principale est constitué d'un barrage en BCR, de 50.5 m de hauteur maximale sur fondation. La crête de l'ouvrage est calée à la côte 578.50 m NGA.

Le barrage principal en BCR sera fondé au toit du substratum sain et peu fracturé. La profondeur d'excavation prévue est de l'ordre de 7 à 8 mètres dans les deux rives et de 3 mètres en font d'Oued. Des injections de consolidation systématiques sous l'emprise du barrage sont prévues jusqu'à 6 m de profondeur et un voile d'injection mono linéaire descendant jusqu'à 40 m de profondeur maximale.

En rive gauche, le barrage se prolonge par une digue du col en BCR, puis par une digue du col principal en remblais. Enfin, à l'extrémité de la rive gauche, une digue du col secondaire barre la dépression localisée au droit de la route existante.

Ces ouvrages de fermetures créent ainsi un réservoir amont de 25.912 millions de mètres cubes sous la côte 565 m NGA de retenue normale (RN).

Le volume global de béton est estimé à environ 200 000 m3 pour le barrage principal, et 40 000 m3 pour la digue du col en BCR.

La digue en remblais rive gauche s'étend sur une longueur de 950 m environ, et présente une hauteur maximale sur fondation de 32 m. La liaison entre les digues en remblais et en BCR est assurée par une zone de transition dans laquelle la géométrie de l'ouvrage en béton a été adoucie à 0.5H/1V afin de permettre un appui correct du noyau argileux.

Le dernier ouvrage du fermeture en rive gauche n'est en fait baigné par la retenue amont qu'en cas de crues, lorsque le plan d'eau du réservoir s'élève au-dessus de la côte de retenue normale. Il est constitué par une digue homogène, de 5 m de hauteur maximale.

Le volume global de remblais à mettre en œuvre pour les digues du col s'élève à environ 1,3 millions de m3, dont 210 000 m3 de matériaux argileux pour le noyau étanche.

I.5.2. Evacuateur de crue :

Dans le cas du barrage d'Ouldjet Mellegue et suivant l'étude de faisabilité faite par la même entreprise ANBT à l'aide du bureau d'étude ENERGOPROGECT, l'évacuateur de crue d'une longueur d'environ 52 m en partie centrale du barrage. Cette limitation résulte directement de la topographie du site et de la géométrie particulière du barrage qui est arqué sur chaque rive

L'ouvrage est implanté sur le corps du barrage principal en BCR. Le coursier en marche d'escalier est directement aménagé sur le parement aval du barrage. Un ouvrage de dissipation constitué par une dalle généralisée en béton armé, de 1,80 m d'épaisseur et 25 m de longueur, est implanté au pied avale de la digue. Il permet d'assurer la restitution correcte des débits dans le lit naturel de l'oued.

Au niveau de la crête du barrage, un pont composé de six travées enjambe le seuil déversant, et permet d'assurer la continuité d'accès sur chaque rive.

La crue de projet, de période de retour 1000 ans, est évacuée sous la côte 567.50 m NGA, soit une surélévation du plan d'eau de 2.96 m. Le débit de pointe restitué à l'aval sous cette côte par l'évacuateur est alors de 498.43 m3/s.

I.5.3. Prise d'eau :

L'ouvrage de prise d'eau étagée est constitué de l'amont vers l'aval :

- d'une tour de prise verticale aménagée sur le parement amont du barrage, en rive droite, est équipée de trois prises étagées aux côtes 553, 565 et 564 m NGA.
- d'une conduite unique Ø 1000 mm traversant le corps du barrage, dont l'axe est situé à la côte 545,50 NGA. Le débit d'équipement de la prise d'eau est de 1,2 m3/s.

I.5.4. Dérivation provisoire :

Les études hydrauliques ont mis en évidence des débits de pointe significative en phase de travaux (résultats de l'étude fournis par l'ANBT).
La solution retenue consiste à laisser passer la rivière dans son lit naturel durant la première phase des travaux, durant laquelle trois pertuis de dérivation provisoires sont réalisés au pied de la rive gauche, à l'abri de batardeaux. Dans une seconde étape, les débits de l'oued sont dérivés à travers les pertuis provisoires pour permettre l'exécution des fouilles et la mise en place du BCR dans la partie centrale de la vallée. En phase définitive deux pertuis provisoires sont bouchés et le troisième est équipé en vidange du fond. Le débit maximal de la vidange s'élève à 178 m3/s, pour un plan d'eau amont à la côte de Retenue Normale.

I.6. Fiche Synoptique (regroupant les caractéristiques du Barrage suivant l'étude de l'ANBT et Bureau d'étude ENERGOPROGECT)

Tableau I. 1 : Situation du Barrage

Cours d'eau	Oued Mellegue
Ville la plus proche	Ouenza
Fonction du barrage	Irrigation
Volume régularisé annuellement	38 hm^3

Tableau I. 2 : Caractéristiques hydrologiques

Superficie du bassin versant	4 371.35 Km^2
Précipitations annuelles moyennes	324 mm
Apport annuel moyen	38 hm^3
Débit de pointe de la crue de projet (T=1000 ans)	750 m^3/s
Volume de la crue de projet	153 hm^3
Transport solide annuel moyen	322468.35 t/an
Salinité moyenne des eaux de la retenue	3,0 g/l

Tableau I. 3 : Caractéristiques de la retenue

Cote de Retenue Normale	567.50 NGA
Cote des Plus Hautes Eaux	577.10 NGA
Cote du Niveau Minimum d'Exploitation	554.96 NGA
Superficie de la retenue à la cote de RN	2.94 Km2
Capacité totale de la retenue sous RN	35.52 hm3
Tranche morte sous NME	16.65 hm3
Capacité utile initiale	18.87 hm3

Tableau I. 4 : Caractéristiques du Barrage principale en BCR

Type	**Barrage poids en BCR**
Terrain de fondation	Marnes et calcaire
Hauteur maximum sur fondation	50.5 m
Longueur en crête	380,5 m
Largeur en crête	9 m
Largeur maximale au niveau du terrain naturel	44.34 m
Fruit moyen du parement amont	vertical
Fruit moyen du parement aval	0,9 H/1V
Altitude de la crête du barrage	578.50 NGA
Altitude de la crête du déversoir	567.50 NGA
Volume total du corps du barrage	139702,867 m3

Ouvrages annexes :

Tableau I. 5 : Caractéristiques de l'évacuateur de crue

Type	Seuil de type GREAGER
Emplacement	Au niveau cote NNR
Longueur du seuil	52 m
Débit évacué sous PHE	498.43 m3/s

Tableau I. 6 : Caractéristiques de la vidange du fond

Type	pertuis blindé et vanné
Emplacement	en rive gauche
Vannes	une vanne de garde sous carter 3,50m x 2,00m manœuvrée depuis la plate-forme aval une vanne de réglage 3,00mx2, 00m manœuvrée depuis la plate-forme aval
Débit évacué sous RN	178 l/s

Tableau I. 7 : Caractéristique de l'ouvrage de prise

Type	tour de prise verticale aménagée sur le parement amont du barrage relié à une conduite 1 000 mm
Emplacement	rive gauche
Nombre de prises	3 prises
Débit nominal	1,2 m3/s

I.7. Synthèse des études (Géologique, géotechnique et hydrologique)

I.7.1. Synthèse de l'étude géologique et géotechnique

a. Synthèse de l'étude géologique et hydrogéologie

- **Généralité**

La zone du projet est située dans le prolongement oriental de la chaîne de l'Atlas, au sud-ouest de l'unité des Beni Barbar et au nord-ouest du djebel Ouenza.

- **Géomorphologie**

Le rétrécissement de la vallée de Mellegue à l'endroit où il coupe djebel Krorza impose naturellement la place du barrage choisi. À droite du barrage principal, la Fondation Rock se compose d'un complexe de fruits de mer-calcaire du Crétacé supérieur. La variation de la fréquence d'argile/carbonate conduit à une couche alternative parfois plus de marneux, parfois plus calcaire. En raison de sa résistance relativement plus élevée.

- **Lithologie**

Le substrat rocheux des ouvrages attendus est entièrement composé de sédiments d'âge du Crétacé. Il serait plus précisément des séries Cénomaniennes à l'ancienne et de Sénonien.
Le substrat comprend des couches alternées de calcaire marneux, marno-calcaires et marnes. Les calcaires sont prédominants au sommet de la séquence, sont observés dans l'affleurement dans les deux supports du barrage principal.

- **Structures géologiques**

La structure géologique est caractérisée par le manque de plissements majeurs et une petite suspension des couches en amont. Les formations cénomaniennes forment un synclinal ver sud-ouest et nord-est, généralement dans le centre de la cuvette de la retenue.

- **L'hydrogéologie**

➢ **Niveau aquifère :**

Sur la rive droite, en fond de la vallée et au-dessous du bas de la rive gauche, le toit de la nappe, relativement plate, se situe entre les deux côtes 532 à 533 m NGA, soit le toit du rochet qui est un peu facturé du lit de l'oued. Le contour de la nappe dans la rive gauche pour atteindre la côte 542m.

- **Les mesures de la perméabilité du substratum :**

La répartition des valeurs de la perméabilité est donnée comme suivant par tranche du profondeur dans le tableau suivant :

Tableau I. 8 : Résultats de l'essai Lugeon (Source : ANBT)

UL	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	>50	Total	%
0-2	9	29	17	13	1	2	71	58.7%
2-5	3	6	3	4	0	0	16	13.2%
5-10	2	2	1	0	0	0	5	4.1%
10-15	2	2	1	0	0	0	5	4.1%
15-20	1	0	0	0	0	0	1	0.8%
20-30	3	5	1	0	0	2	11	9.1%
30-100	0	2	3	2	1	0	8	6.6%
>100	1	2	1	0	0	0	4	3.3%
Total	21	48	27	19	2	4	121	100.0%

*Les résultats dans le tableau précèdent montre que :

-71,9% (87 essais) des mesures effectuées sont inférieures à 5 UL.

-58,7% (71 essais) sont inférieures à 2 UL et 13,2% (16 essais) sont comprises entre 2 et 5 UL.

-28,1% (34 essais) des mesures effectuées sont supérieures à 5 UL.

Remarque I-1 : L'examen de ces graphiques montre qu'en général, il y a une diminution des valeurs de perméabilité avec la profondeur. Cette tendance est nette à partir de 30 m de profondeur.

b. Synthèse de l'étude Géotechnique

- **Zonage géotechnique**

L'analyse intégrée des données géologiques, géophysiques et géotechniques conduit à distinguer plusieurs unités géotechniques. Les tableaux suivants présentent les caractéristiques principales, mesurées ou estimées :

Tableau I. 9 : Caractéristiques des zones géotechnique – Fondation du barrage principale (Source : ANBT)

	Zone 1	**Zone 2**	**Zone 3**
Type de terrains / lithologie	Colluvions et alluvions, matrice argilolimoneuse ou sableuse, peu plastique	Calcaires marneux et marnes, fortement à moyennement décomprimés	Substratum marnocalcaire
Epaisseur	0 à 7 m en RD 0 à 3 m en RG	3 à 12 m moyenne : 5 m	-
Perméabilité	Faible (zones plus argileuses) à modérée (zones sableuses)	Très variable : soit très faible, soit très fort	Généralement très faible, localement très forte, jusqu'à 35 m de profondeur

Tableau I. 10 : Caractéristique des zones géotechnique – Fondation de la digue de col (Source : ANBT)

	Zone 1	**Zone 2**	**Zone 3**
Type de terrains / lithologie	Sols éluviaux, fragments marneux dans matrice argilolimoneuse peu plastique	Marnes, plus ou moins calcaires, fortement à moyennement décomprimés	Substratum marneux sain
Epaisseur	1 à 3 m côté sud <1 m côté nord	4 à 12 m	-
Perméabilité	Faible	Forte, de 20 à 50 UL	Généralement faible

- **Essais de laboratoire pour les différentes zones d'emprunt**

➢ **Zone d'emprunt d'argile :**

Tableau I. 11 : Essais au laboratoire pour des zones d'emprunt d'argile (Source : ANBT)

Essai / analyse	**Résultats**	**Nombre d'essais / analyses**
Classification USBR	CL – Argiles limono-sableuses de faible plasticité CH/MH – Argiles limono-sableuses très plastiques	3
Granulométrie	Fraction argileuse : 24 – 49% Taille maximale des grains : 1 – 2 mm	3
Limites de liquidite (LL)	42 – 54	8
Limites de plasticité (PL)	19 – 28	6
Limites d'Atterberg (IP)	22 – 30	6
Limites d'Atterberg (IC)	1,1 – 1,3	6
Poids spécifique	2,78 – 2,79	3
Densité in situ (kN/m3)	17,2 – 17,4	4
Teneur en eau	13% – 16%	3
Teneur en matière organique	4,9 – 15,3	4
Teneur en carbonate	6,3 – 42,3	4
Proctor standard	Wopt = 18,5 – 21,2 gd max = 16,4– 17,2 kN/m3	4
Proctor modifié	Wopt = 15,5 – 18,5 gd max = 17,0 – 18,0 kN/m3	4
Triaxial UU	F = 0° C = 120 kN/ m2	3
Triaxial Cup	F' = 9,1 – 15,6° C' = 0 – 60 kN/ m2	3
Cisaillement direct drainé	F' = 11,3 – 17,2° C' = 55 – 60 kN/ m2	1
Perméabilité	< 5,4 x 10-9 cm/s	3
Consolidation (Module oedométrique)	3,5 – 5,0 MPa sous une charge de 0,1 MPa 16,0 – 28,5 MPa sous une charge de 12 MPa	4

- **Zone d'emprunt de sables et graviers :**

Tableau I. 12 : Essais au laboratoire pour les zones d'emprunt sable et gravier (Source : ANBT)

Essai / analyse	Résultats	Nombre d'essais / analyses
Classification USBR	GW – Graves bien classées	3
Granulométrie	Fraction < 80 µ	3
Poids spécifique	2,73	1

Les quantités disponibles sont largement suffisantes pour les besoins du projet. Il convient toutefois de noter les inconvénients suivants :
-Tenu compte de leur granulométrie, il sera nécessaire de cribler et de concasser les granulats naturels afin d'obtenir la granulométrie adéquate pour les filtres.
-Le niveau phréatique est très proche de la surface (1 à 2 m de profondeur).

- **Zone d'emprunt d'alluvions grossières :**

La zone étudiée s'étend sur 6 km environ de part et d'autre de l'axe du barrage (à l'amont et à l'aval suivant la synthèse des études préliminaires faite par l'ANBT). 161 puits à la pelle mécanique ont été foncés dans ces alluvions. Les matériaux de la zone d'emprunt d'alluvions grossières se répartissent de la manière suivante :
-26% de cailloux.
-50% de graviers.
-24% de sables.

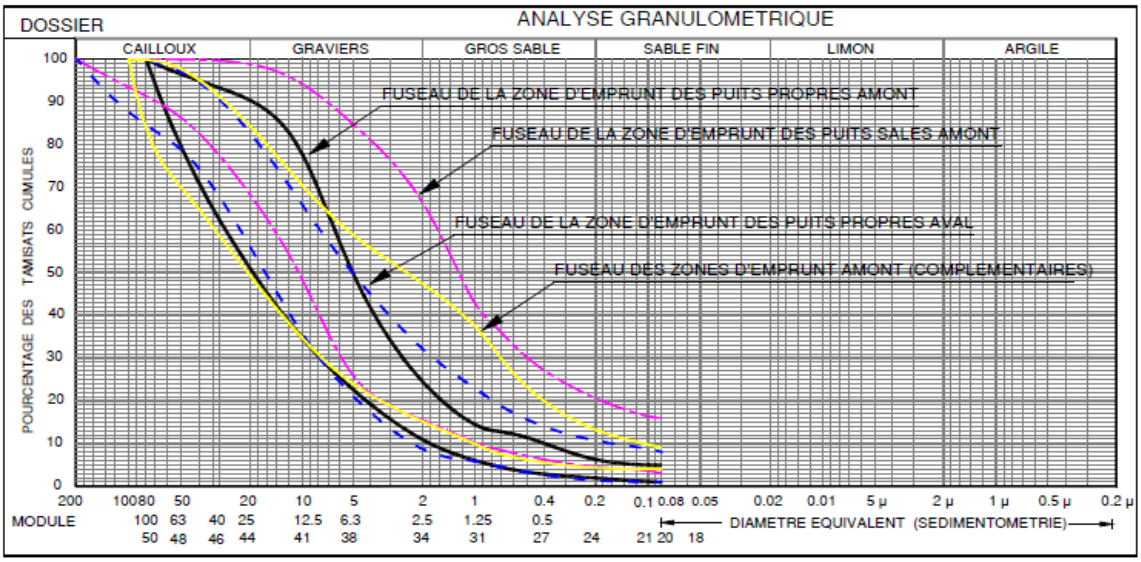


Figure I. 4 : Fuseau granulométrique des alluvions grossiers (Source : ANBT)

Un volume d'alluvions grossières disponible dans l'ensemble des zones étudiées qui s'étalent sur le lit majeur de l'oued, est de l'ordre de 1 260 000 m3, des réserves complémentaires peuvent être estimées à environ 300 000 m3.

I.7.2. Synthèse de l'étude Hydrologique

- **Généralité :**

Le climat du bassin versant d'Ouldjet Mellegue est un climat des Hautes Plaines Telliennes à tendances continentales et semi aride (Suivant les données de l'ANRH). Le sirocco est assez fréquent en été. Selon les données d'ANBT le bassin versant Ouldjet Mellegue est inclus dans le bassin versant Ouenza qui se caractérise par la station hydrométrique Ouenza.

- **Analyse des pluies moyennes annuelles**

Les résultats d'étude sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau I. 13 : Précipitation moyennes mensuelles au niveau de la station Ouenza (Source : ANRH)

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Janv	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout	total
Pluies moy mensuelles (mm)	70.2	21.8	63	4.7	25.9	50.9	36.9	48.3	63.3	17.1	15	0.8	417.9
Pourcentage %	16.79	5.21	15.07	1.12	6.19	12.17	8.82	11.55	15.14	4.09	3.58	0.19	100

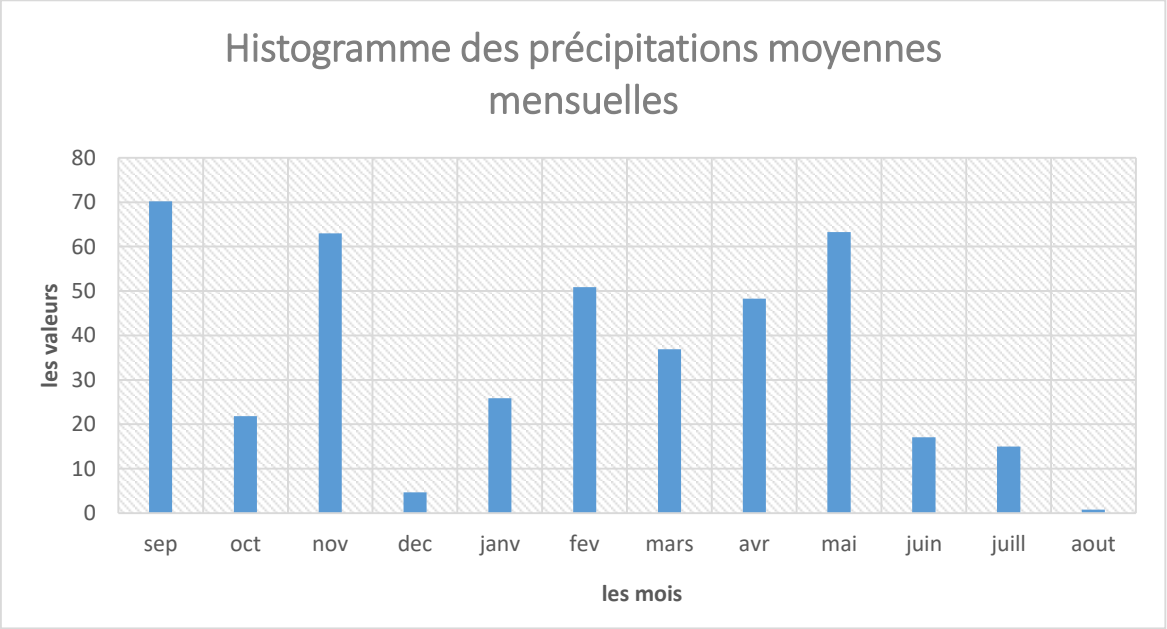


Figure I. 5 : Histogramme des pluies mensuelles au niveau de la station Ouenza (Source : ANRH)

- **Analyse des apports mensuels et annuels**

Dans le tableau suivant on a les résultats de l'apport mensuel au niveau du bassin versant Ouldjet Mellegue.

Tableau I. 14 : Apports moyennes mensuelles du Barrage Ouldjet Mellegue (Source : ANRH)

Les mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Janv	fev	mars	avr	mai	juin	juill	aout	Apport annuelle
Apports Mm3	3.40	5.78	27.34	5.65	42.99	11.41	2.86	17.71	1.19	1.72	2.09	0.96	123.12
Pourcentage %	2.76	4.69	22.20	4.58	34.91	9.26	2.32	14.38	0.97	1.40	1.70	0.78	100

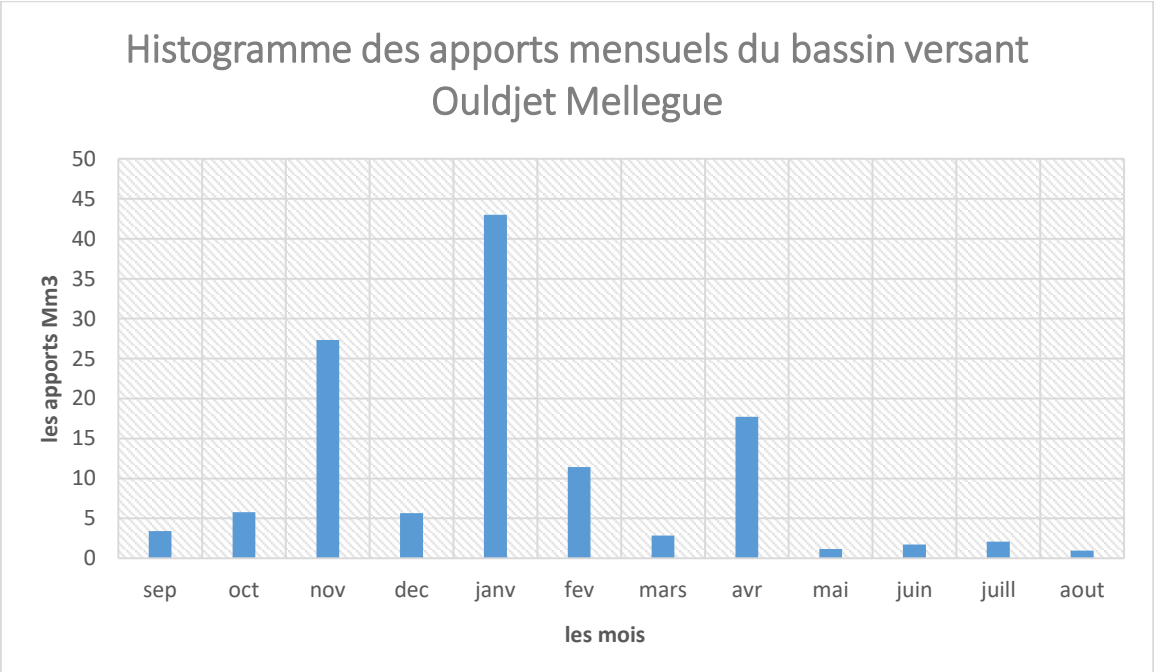


Figure I. 6 : Histogramme des apports moyens mensuels au niveau du Bassin versant Oueldjet Mellegue (Source : ANRH)

- **Caractéristique hydrologique du bassin versant Ouldjet Mellegue**

  Les principaux caractéristiques du barrage suivant les résultats des études de l'ANBT et bureau d'étude ENERGOPROGECT sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau I. 15 : Principaux résultats de l'étude hydrologique

Désignation	Unité	Valeurs
Volume mort	Mm3	16.65
Volume utile	Mm3	18.87
Volume NNR	Mm3	35.52
Cote du fond	m NGA	531
Cote NVM	m NGA	554.96
Cote NNR	m NGA	567.50
Cote NPHE	m NGA	577.10
Cote NCR	m NGA	578.50
Hauteur du barrage	m	50.5
Larguer en crête	m	9
Longueur en crête	m	380.5
Largeur du déversoir	m	52
Charge maximale déversant	m	2.96

I.7.3. Synthèse des variantes de l'évacuateur de crue

a. Classification et types des évacuateurs de crue

- **selon le type de fonctionnement hydraulique ou régime d'écoulement**
  - ✓ Évacuateur de surface (entonnement frontal, latéral, labyrinthe…).
  - ✓ Évacuateur en charge (puits, siphon sommaire pour les petits barrages, siphon a faible charge et fort débit).
- **L'emplacement par rapport à la digue**
  - ✓ Evacuateur centrale.
  - ✓ Evacuateur latérale (latérale a entonnement frontale, latérale a entonnement latérale).
- **Mode de régale du débit**
  - ✓ Seuil vannée.
  - ✓ Seuil non vannée.

b. Principaux critères pour choisir le type d'évacuateur de crue

- ✓ La facilité d'entretien.
- ✓ La facilité de modification.
- ✓ Le coût de l'ouvrage.
- ✓ La sûreté et la sécurité de fonctionnement.
- ✓ Les exigences typographiques du site.
- ✓ Les exigences géologiques du site.
- ✓ Les difficultés de réalisation.

Conclusion

Le chapitre synthèse de l'étude de faisabilité résume l'ensemble des données nécessaires en commençant par la localisation du site du barrage à construire et sa description ainsi que la description des différents ouvrages annexes à réaliser (digue, évacuateur de crue, ouvrage de prise et dérivation provisoire). Ce chapitre nous permet aussi de donner une synthèse générale sur les différentes études effectuées suivant l'ANBT et le bureau d'étude ENERGOPROGECT. En premier lieu, on a une synthèse de l'étude géologique et géotechnique qui permet de déterminer la nature de la fondation sur laquelle le barrage avec ces ouvrages seront installées et une synthèse de l'étude hydrologique pour la détermination des différentes variables hydrologiques (Température, précipitation, évaporation et crues du projet…etc.). Dans les prochains chapitres, on va refaire l'étude hydrologique et le dimensionnement des variantes d'évacuateurs de crues en basant sur les données collectées à partir de l'ANBT et l'ANRH (mise à jour de l'étude suivant la mise à jour des données) pour avoir une comparaison entre nos résultats de calcul et les résultats de l'ancienne étude de l'ANBT et le bureau d'étude ENERGOPROGECT.

CHAPITRE II : Etude Géologique et Géotechnique

INTRODUCTION

Les études géologiques et géotechniques ont une grande importance pour la faisabilité des ouvrages hydrotechniques et qui sont dans notre cas le barrage d'Ouldjet Mellegue Tébessa. Ces deux types d'études permettent de découvrir la nature des sous-sols, les caractéristiques mécaniques et hydrodynamiques de la fondation. Elle permet aussi de la détermination des paramètres nécessaires qui nous renseignent sur la faisabilité de l'ouvrage et dirigent vers les solutions à proposer en cas d'un risque déterminé. Dans ce chapitre tous les résultats mentionnés sont d'après les résultats de l'étude de faisabilité de l'ANBT et le bureau d'étude ENERGOPROJECT.

II.1. Etude Géologique

II.1.1. Au niveau régional

a. La Morphologie

Le relief de la région est fortement influencé par la lithologie et la structure géologique. Le Contraste est saisissant entre :

- ✓ De larges étendues au relief peu marqué, correspondant aux assises principalement marneuses ou bien aux séries à stratification subhorizontale, recouvertes partiellement par des limons récents : c'est notamment le cas de la cuvette de la retenue.
- ✓ Des hauteurs isolées, correspondant soit à des rides anticlinales, dont l'exemple le plus notable est le djebel Ouenza, soit à des assises calcaires, plus résistantes, tel le djebel Krorza qui culmine à environ 651 m d'altitude, au droit du site de l'aménagement.

b. Lithologie

La région est largement dominée par les séries argilo-carbonatées du Crétacé supérieur, plus particulièrement par les sédiments cénomaniens, dans la région, on constate les résultats suivants :

- ✓ Marnes argileuses verdâtres à veinules de calcite fibreuse : environ 60 m d'épaisseur.
- ✓ Alternance de calcaires gris, légèrement argileux, en petits bancs bien lités, et des marnes calcaires gris noir : environ 10 m d'épaisseur.
- ✓ Quelques niveaux calcaires ou marno-calcaires avec des inters lits marneux : environ 5 m d'épaisseur.
- ✓ Marnes argileuses verdâtres à plaquettes de calcite fibreuse : environ 30 m d'épaisseur.

Les dépôts turoniens faisant suite à la série cénomanienne se distinguent à l'échelle régionale par leur calcaires massifs qui forment des corniches très caractéristiques, dont la hauteur peut atteindre 300 m. Ce faciès n'a pas été reconnu à proximité de la zone du projet.

Par ailleurs, le Turonien est également réputé pour l'irrégularité de ses dépôts, comportant des variations de faciès et d'épaisseur très marquées.

Le Sénonien affleure notamment au nord-ouest du Djebel Ouenza. Ces dépôts sont essentiellement composés de marnes argileuses, avec des intercalations calcaires ou marno-calcaires. Les divers sous-ensembles cumulent environ

300 m d'épaisseur.

II.1.2. Au niveau de la Retenu

a. Géologie

En amont du site du barrage, le gradient de la rivière est faible. Les formations géologiques qui constituent le substratum du futur réservoir sont du même type que celles du site du barrage : ce sont des dépôts sédimentaires, datés du Cénomanien et composés de marnes, finement litées, en alternance avec des calcaires marneux. En particulier, les levés de terrain n'ont pas mis en évidence la présence de dépôts salifères dans l'emprise de la retenue ou dans les versants. Sachant que les analyses d'eau ont indiqué une salinité élevée, on en déduit que la source de la contamination se situe à l'amont.

Dans l'emprise de la retenue, le substratum est en majeure partie recouvert par les dépôts récents. Il affleure principalement dans la zone du barrage principal et sur environ 1 km à l'amont de celui-ci. Plus en amont, les affleurements sont discontinus.

Les formations quaternaires distinguées sur la carte géologique de la retenu sont :

- ✓ les alluvions récentes : majoritairement composées de graves et de sables plus ou moins argileux.
- ✓ Basses terrasses : peu répandues, notamment le long de l'oued Mellegue, elles sont principalement constituées par des sables argileux.
- ✓ Hautes terrasses : bien représentées dans les rives de l'oued Mellegue, présentent un léger pendage vers la vallée ; la composition est hétérogène, en général dominée par des argiles sableuses.
- ✓ Dépôts torrentiels : bien représentés, du fait de la forte érodabilité des roches en présence, se superposent parfois aux dépôts des terrasses.
- ✓ Colluvions : recouvrent des surfaces étendues, mais leur épaisseur est généralement faible

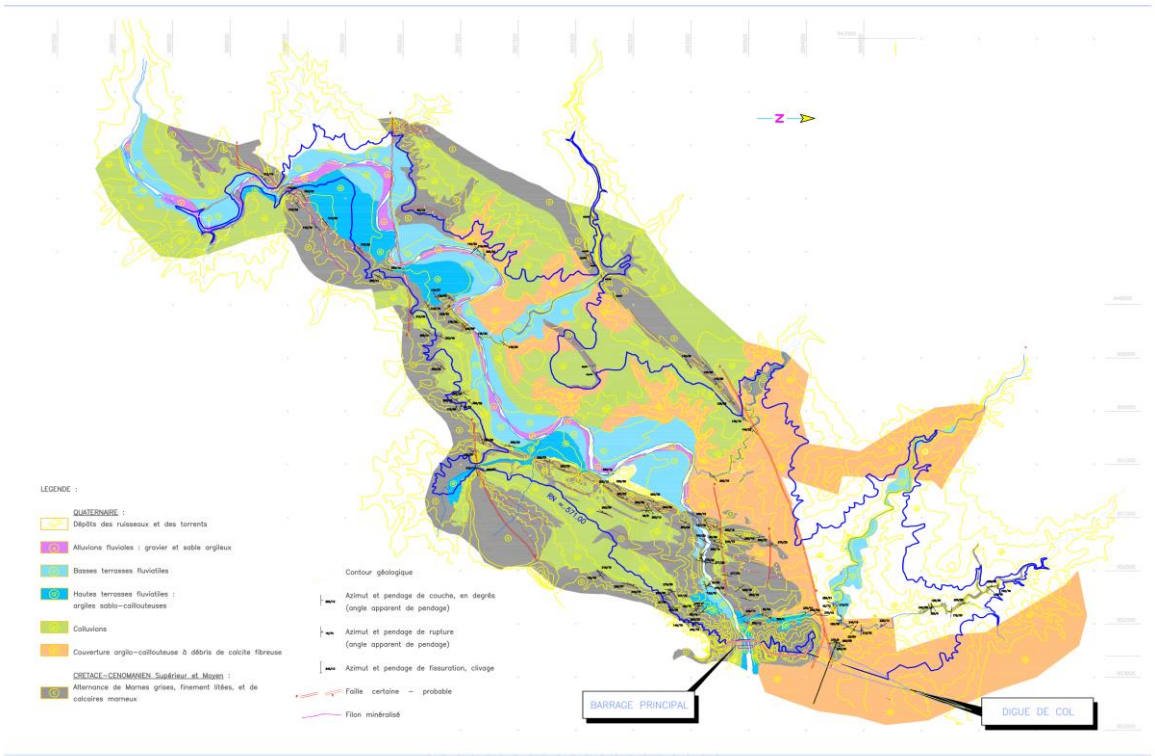


Figure II. 1 : Carte géologique de la retenue du barrage (Source : ANBT)

II.1.3. Au niveau du Site

a. Géomorphologie

Le rétrécissement de la vallée de l'Oued Mellegue à l'endroit où elle coupe le djebel Krorza impose naturellement le site du barrage choisi. Au droit du site du barrage principal, la fondation rocheuse est constituée d'un complexe marno-calcaire du Crétacé supérieur. La variation du ratio argiles/carbonates conduit à une alternance de couches tantôt plus marneuses, tantôt plus calcaires. Du fait de leur résistance relativement plus grande à l'érosion, les niveaux à contenu plus élevé en carbonate forment le verrou caractéristique du site, tandis que les horizons marneux, plus tendres, sont prédominants en fond de vallée.

En rive gauche, à quelques centaines de mètres du lit de l'oued, la ligne de crête du djebel ayant formé le verrou est rabaissé brusquement de 20 à 30 m au droit d'une faille reconnue par cartographie géologique et prospection géophysique.

b. Lithologie

On droit du site du barrage en rencontre :

- ✓ Des marnes bleuâtres ou gris noir, généralement à forte composante calcaire, en alternance de couches plus ou moins résistantes, vers le milieu de la série, des variations latérales de faciès ont été observées, cette unité cumule environ 65 à 75 m d'épaisseur.
- ✓ Des calcaires argileux, constituant les reliefs de djebel Krorza, comportant dans la partie inférieure une intercalation notable de marnes gris noir relativement chargées en calcaire, l'épaisseur de cette série est d'environ 80 à 85 m.

Les calcaires marneux sont prédominants dans la partie supérieure de la séquence ; on les observe à l'affleurement dans les deux appuis du barrage principal. Les marnes deviennent majoritaires plus en profondeur.

Les terrains meubles de couverture ont généralement une faible épaisseur au droit du barrage principal et de la digue de col. Le long de l'axe de barrage retenu ils sont notamment présents dans la partie basse de la rive droite, où ils atteignent 6 m d'épaisseur. A cet endroit, ils forment une terrasse principalement composée de dépôts argileux ou argilo-sableux englobant des fragments plus ou moins grossiers.

c. Structure géologique

A l'échelle du site, la structure géologique est caractérisée par l'absence de plissements majeurs et par un faible pendage des couches vers l'amont. Les formations cénomaniennes décrivent un synclinal orienté SO-NE, globalement centré sur la cuvette de la retenue.

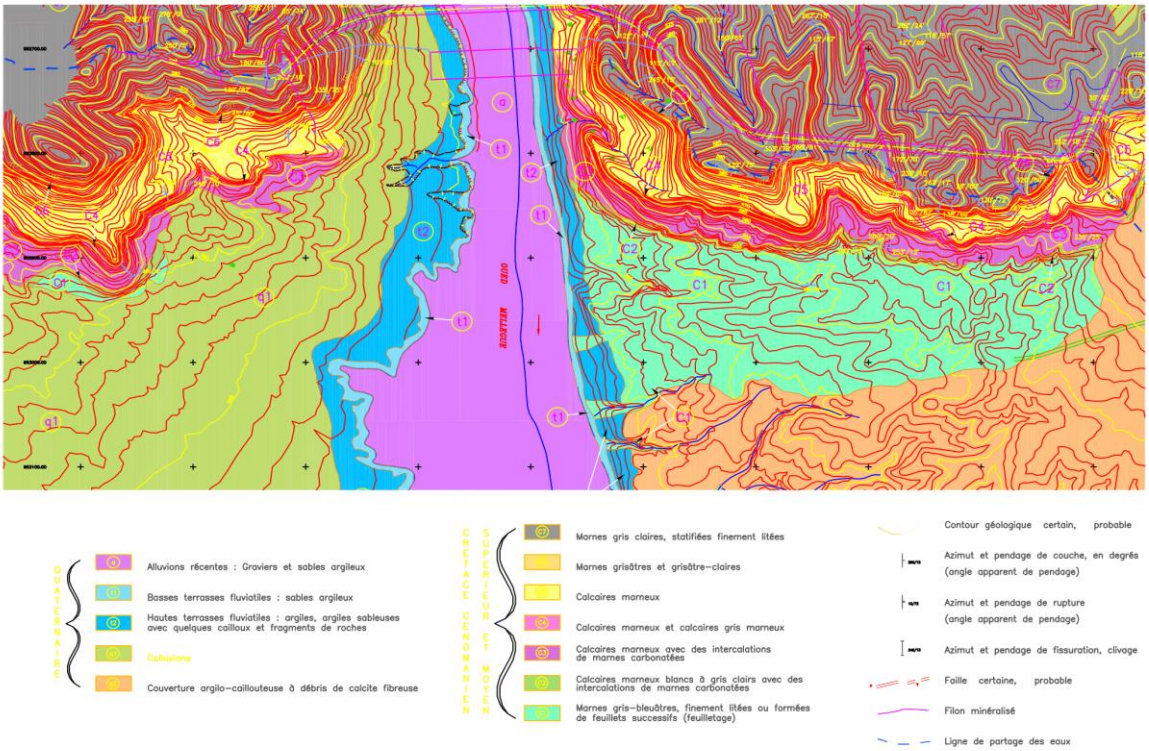


Figure II. 2 : Carte géologique du Site (Source : ANBT)

II.2. Etude Géotechnique

II.2.1. Sondage carottés

Suivant les résultats de l'étude faisabilité du barrage Ouldjet Mellegue par l'ANBT, à l'emplacement du barrage principal ou l'évacuateur de cru a été installé, ont été réalisés 6 sondages, S1 à S6, d'une profondeur comprise entre 35 et 60 m. Tous les sondages ont été inclinés afin de traverser convenablement les familles de discontinuités principales.

Les terrains de couverture ont été rencontrés notamment dans les sondages S-2, S-3 et S-4, qui ont traversé les dépôts des terrasses récentes, ayant une épaisseur comprise entre 4 et 6 m. Dans le sondage S-5, situé en RG à la cote 562, les terrains meubles de nature colluvions ont une épaisseur de 3 m. Les deux sondages situés aux cotes les plus hautes, S-1 en RD et S-6 en RG, ont débuté directement dans le rocher.

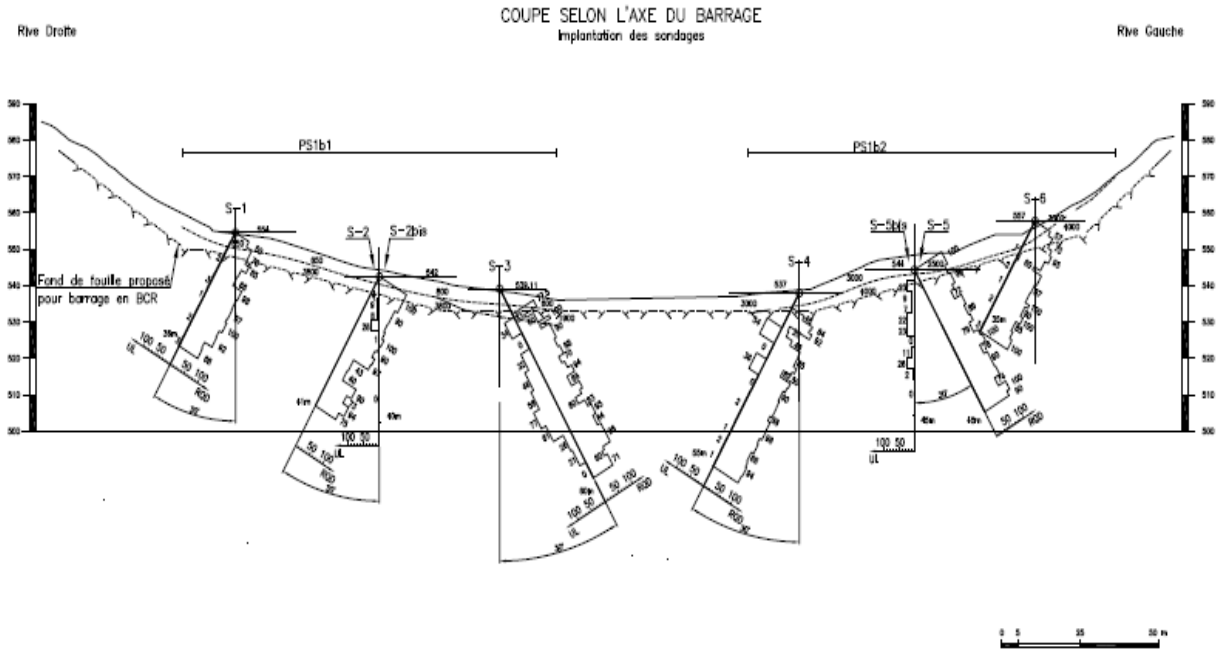


Figure II. 3 : L'emplacement des sondages (Source : ANBT)

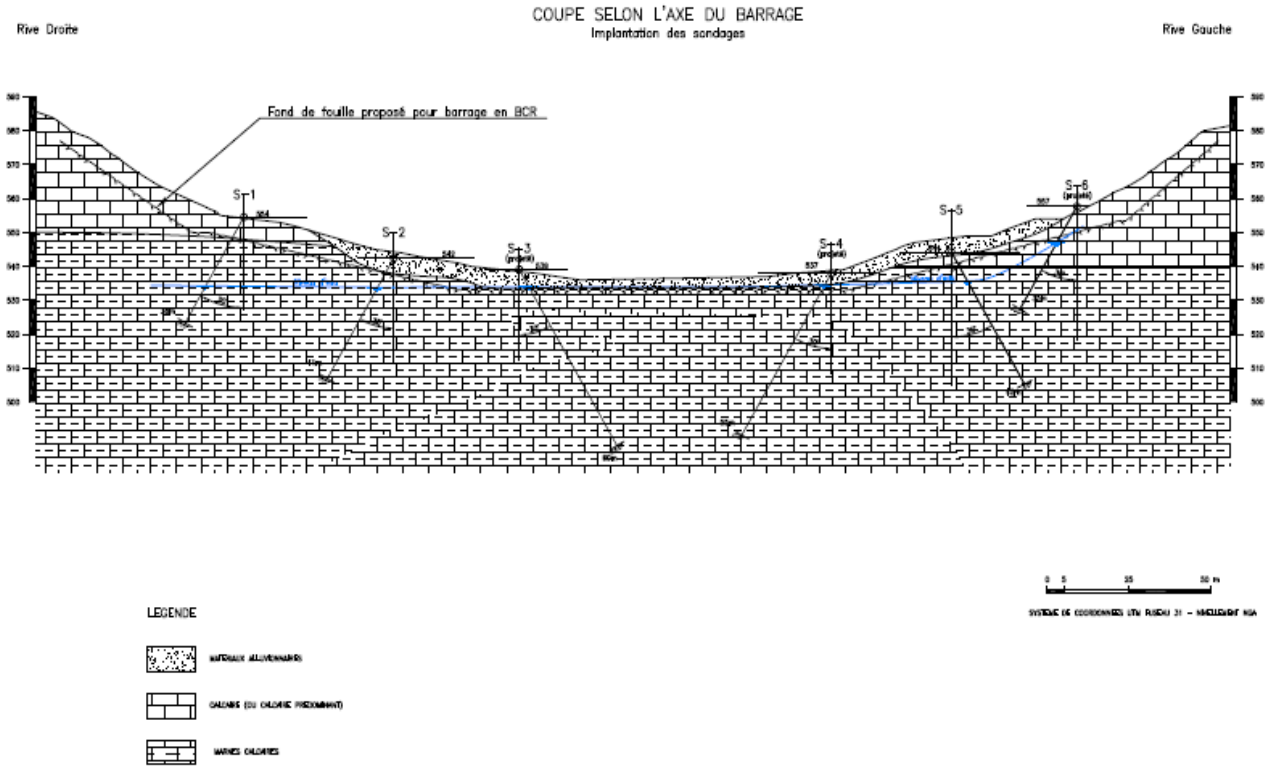


Figure II. 4 : Coupe géologique de la digue principale avec position des sondages (Source : ANBT)

II.2.2. Essais réalisé

a. Essai de perméabilité

Les essais de perméabilité sont effectués suivant l'essai lugeon qui correspond à l'observation de 1 litre d'eau par mètre de forage et par minute sous une pression de 1Mpa. On a 1 unité de lugeo = 10^-7 m/s.

Les résultats de l'essai lugeo au niveau des sondages réalisé suivant la digue principale où on a la position de l'évacuateur de crue sont représentés dans les tableaux suivants.

Sondage	de	à	UL	Observation
S1	3	8	-	Contournement
	8	13	3	-
	13	18	3	-
	18	23	2	-
	23	28	2	-
	28	33	3	-
	33	36	3	-
S2	6	11	-	Contournement
	11	16	>100	-
	16	21	6	-
	21	27	>100	-
	27	31	>100	-
	31	36	>100	-
	36	41	1	-
S3	9	14	>100	Pmax 2 bars
	14	19	1	-
	19	24	-	Pmax 5,5 bars
	24	29	-	Pmax 4 bars
	30	35	>100	Pmax 3,5 bars
	35	40	>100	Pmax 3 bars
	40	45	>100	Pmax 3,5 bars
	45	50	>100	Pmax 1,5 bars
	50	55	>100	Pmax 1,4 bars
	55	60	4	-
S4	6	11	-	Contournement
	11	16	>100	Pmax 3 bars
	16	21	1	-
	21	26	-	Pmax 6 bars
	26	31	1	-
	31	36	2	-
	36	41	2	-
	41	46	1	-
	46	50	2	-
	50	55	2	-

Sondage	de	à	UL	Observation
S5	5	10	-	Contournement
	10	15	7	-
	16.5	21	>100	Pmax 0,5 bars
	21	26	>100	Pmax 1,0 bars
	26	31	>100	Pmax 1,2 bars
	31	36	>100	Pmax 1,5 bars
	36	41	3	-
	41	45	3	-
S6	2	7	>100	Pmax 1 bar
	7	12	2	-
	12	17	2	-
	17	22	2	-
	22	27	2	-
	27	32	2	-
	32	35	3	-

Figure II. 5 : Résultats de l'essai Lugeo (Source : ANBT)

b. Estimation des caractéristiques de la fondation par la méthode de Hoek et Brown

Cette approche est basée sur l'appréciation de l'indice GSI (Geological Strength Index), lui-même calculé à partir de l'indice RMR du massif rocheux défini par Bieniawski, dont les éléments d'appréciation sont la résistance en compression de la matrice intacte, le RQD, la persistance des discontinuités et la condition des discontinuités (rugosité, ouverture, remplissage, cisaillement, humidité).

Il est important de noter que l'analyse préalable des structures géologiques et des familles de discontinuités a montré qu'une éventuelle rupture dans la fondation rocheuse du barrage principal solliciterait forcément la matrice intacte de la roche, car il ne semble pas y avoir de discontinuité défavorable.
La figure suivante présente les paramètres utilisés, l'enveloppe de rupture et les caractéristiques calculées pour une gamme de contraintes normales.

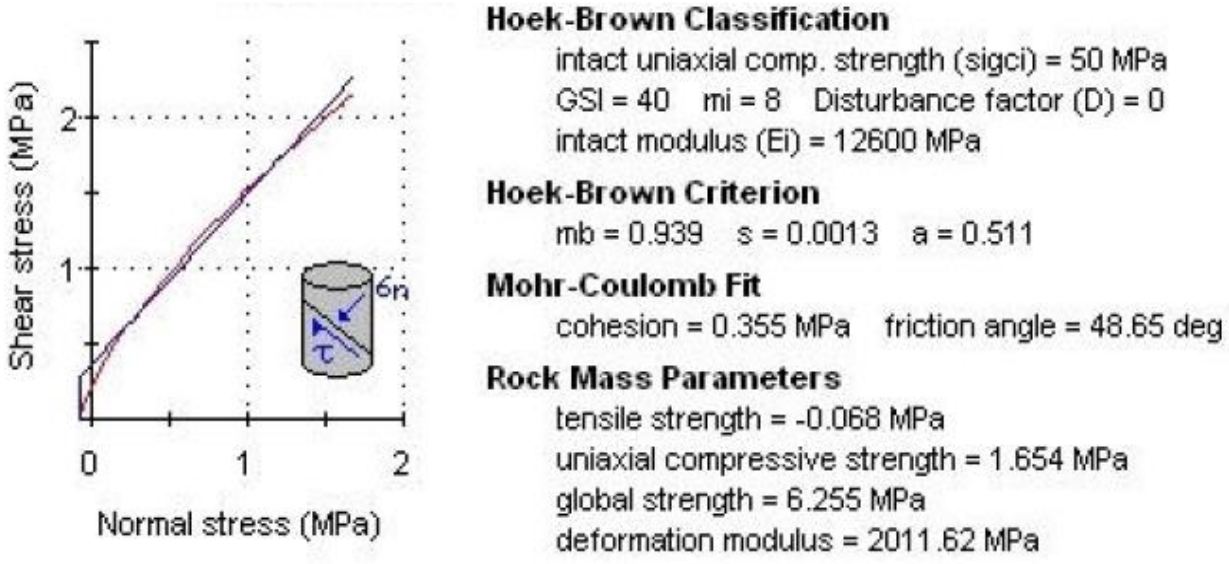


Figure II. 6 : Estimation des paramètres géomécaniques avec le critère Hoek & Brown (Source : ANBT)

*L'estimation des paramètres RMR est présentée dans le Tableau II-2.

Tableau II. 1 : Estimation RMR pour Site de la digue principale (Source : ANBT)

Paramètre			Plage de valeurs							Note min	Note max
1	Résistance de la roche (matrice intacte)	Indice franklin	>10 Mpa	4-10 Mpa	2-4 Mpa	1-2Mpa	Pour les faibles valeurs en résistance de compression uniaxiale				
		Comp. uniaxiale	>250 Mpa	100-250Mpa	50-100Mpa	25-50Mpa	5-25Mpa	1-5Mpa	<1Mpa	4	7
	Notation		15	12	7	4	2	1	0		
2	RQD		90-100%	75-90%	50-75%	25-50%	<25%			13	17
	Notation		20	17	13	8	3				
3	Espacement des discontinuités		>2m	0.6-2m	200-600mm	60-200mm	<60mm			15	15
	Notation		20	15	10	8	5				
4	Nature des discontinuités		Surface très rugueuses non continues Epontes en contact Epontes non altérées	Surface légèrement rugueuses Epaisseur <1mm Epontes faiblement altérées	Surface légèrement rugueuses Epaisseur <1mm Epontes fortement altérées	Surface lustrées Ou Remplissage <5mm Ou Epaisseur de 1 à 5mm Joint continu	Remplissage >5mm Ou Epaisseur >5mm Joint continu				
	Notation		30	25	20	10	0			10	20
						Totale RMR=89				42	59
						Pour RMR 89>23 GSI=RMR89 GSI=				37	54

c. Essais au laboratoire

Les tableaux suivants rappellent les essais réalisés et synthétisent leurs résultats.

Tableau II. 2 : Essais au laboratoire pour la digue de col (Source : ANBT)

DIGUE DE COL		
Essai / analyse	**Résultats**	**Nombre d'essais / analyses**
Classification USBR	Argiles et limons argileux très plastiques	Estimation visuelle

Tableau II. 3 : Essais au laboratoire pour les terrains de la rive droite (Source : ANBT)

SITE DU BARRAGE PRINCIPAL – TERRAINS MEUBLES RD			
Essai / analyse		**Résultats**	**Nombre d'essais / analyses**
Classification USBR		Argiles limoneuses de faible plasticité	4
Granulométrie		Fraction argileuse : 26 à 31%	2
Limites d'Atterberg	LL	25 – 35	4
	PL	18 – 20	4
	IP	7 – 15	4
	IC	1,0 – 1,3	2
Densité in situ (kN/m3)		15,4 – 17,7	2
Teneur en eau		16 % – 19 %	2

Tableau II. 4 : Essais au laboratoire pour la fondation de la digue principale (Source : ANBT)

SITE DU BARRAGE PRINCIPAL – ROCHER DE FONDATION		
Essai / analyse	**Calcaires marneux (5 essais)**	**Marnes**
Résistance à la compression	Sec : 53 – 109 MPa Saturé : 31 – 74 MPa	Sec : 85 MPa Saturé : 54 MPa
Masse volumique	2590 – 2620 kg/m3	2120 kg/m3
Poids spécifique	2610 – 2680	2380
Porosité	1,5% - 3,4%	5,8%
Absorption d'eau	1,4%	6,1%

II.2.3. Zonage Géotechnique

Considérant pour chacun du barrage (digue) principale et digue de col 3 zones (la longueur a été devisée en trois), où les puits ont été réalisé, l'objective de ces puits et de la détermination des caractéristiques géologiques et géotechniques pour les trois zones comme été illustré dans la synthèse géotechnique du chapitre I, les résultats citez dans le chapitre I et les autres résultats suivant l'étude de faisabilité fait par l'ANBT , ils sont représentés dans les tableaux suivants :

Tableau II. 5 : Zonage géotechnique pour la digue principale (Source : ANBT)

	Zone 1	**Zone 2**	**Zone 3**
Type de terrains / lithologie	Colluvions et alluvions, matrice argilolimoneuse ou sableuse, peu plastique	Calcaires marneux et marnes, fortement à moyennement décomprimés	Substratum marnocalcaire
Epaisseur	0 à 7 m en RD 0 à 3 m en RG	3 à 12 m moyenne : 5 m	-
Altération	-	Modérée à faible (III à II selon SIMR)	Rocher sain ou faiblement altéré (II et I selon SIMR)
Fracturation (espacement caractéristique des discontinuités)	-	Discontinuités rapprochées à moyennement espacées (60 à 600 mm)	Discontinuités moyennement espacées à espacées (200 à 2000 mm)
Vitesses Vp (m/s)	300 – 900	1800 – 3000	3500 – 4000
Résistance en compression de la matrice intacte du rocher saturé (MPa)	-	25 – 50	50 – 100
Perméabilité	Faible (zones plus argileuses) à modérée (zones sableuses)	Très variable : soit très faible, soit très fort	Généralement très faible, localement très forte, jusqu'à 35 m de profondeur

Tableau II. 6 : Zonage géotechnique pour la digue de col (Source : ANBT)

	Zone 1	**Zone 2**	**Zone 3**
Type de terrains / lithologie	Sols éluviaux, fragments marneux dans matrice argiloli-moneuse peu plastique	Marnes, plus ou moins calcaires, fortement à moyennement décomprimés	Substratum marneux sain
Epaisseur	1 à 3 m côté sud <1 m côté nord	4 à 12 m	-
Altération	-	Forte à faible (IV à II selon SIMR)	Rocher sain ou faiblement altéré (II et I selon SIMR)
Fracturation (espacement caractéristique des discontinuités)	-	Discontinuités rapprochées à moyennement espa-cées (60 à 600 mm)	Discontinuités moyennement espacées à espacées (200 à 2000 mm)
Vitesses Vp en m/s	500	800 – 1900	3000 – 3500
Résistance en compression de la matrice intacte du rocher saturé (MPa)	-	10 – 25	25 – 50
Perméabilité	Faible	Forte, de 20 à 50 UL	Généralement faible, localement très forte

II.2.4. Matériaux de construction

a. Zone d'argile

Une zone d'emprunt d'argile pour le noyau étanche a été identifiée dans la cuvette de la retenue, à environ 1 km à l'ouest de l'axe de la digue de col. Les résultats des reconnaissances par puits et sismique réfraction ont montré que l'épaisseur moyenne des terrains argileux dans cette zone est supérieure à 5 m, ce qui conduit à un volume disponible de 1,5 millions m3.Des réserves supplémentaires sont aussi disponibles dans les zones adjacentes.
Les résultats détaillés des travaux de reconnaissance réalisés sont présentés dans les rapports d'essais représenter dans le tableau I-10 (CHAPITRE I : Essais de laboratoire pour les différentes zones d'emprunt).

b. Zone d'emprunt de sables et graviers

La zone d'emprunt potentiel s'étend sur une longueur considérable dans le lit de l'Oued Mellegue. Les caractéristiques de ces matériaux et leurres utilisation sont données dans le tableau I-11 (CHAPITRE I : Zone d'emprunt de sables et graviers) et le paragraphe qui le suit.

d. Zone d'emprunt d'alluvions grossières

Les caractéristiques sont représenté dans la figure I-4 (CHAPITRE I : Zone d'emprunt d'alluvions grossières). Les alluvions grossières du lit actuel ont été reconnues en détail afin :

- ✓ De les utiliser dans les recharges de la digue de col et de réduire ainsi le volume de matériaux nécessaires à son édification,
- ✓ De les utiliser éventuellement comme agrégats pour le BCR, au moins dans la partie haute du barrage.

Les résultats des essais Los Angeles exécutés en vue de l'utilisation de ces matériaux comme agrégats à bétons donnent des valeurs relativement élevées, mais dans les limites acceptables (< 30%).

Remarque II.1 : A noter que ces zones sont d'accès faciles. Au-delà du premier mètre, ces matériaux seront exploités en général sous le niveau de la nappe, ce qui réduira probablement le pourcentage de fines.

II.2.5. Aléa sismique

Le site d'Ouldjet Mellegue est situé dans le nord-est de l'Algérie, à proximité de la frontière convergente entre les plaques Afrique et Eurasie.

Les accélérations horizontales maximales de référence au site d'Ouldjet Mellegue ont été obtenues à partir des éléments propres à l'analyse sismo-tectonique régionale du site et de l'analyse de la sismicité historique et instrumentale, suivant une approche déterministe.

- ✓ le SBE correspond à un séisme de magnitude 5.6 localisé à une distance épicentrale de 10 km et à une profondeur de 10 km.
- ✓ le SMD correspond à un séisme de magnitude 6.1 localisé à une distance épicentrale de 10 km et à une profondeur de 10 km.
- ✓ le SMP correspond à un séisme de magnitude 6.6 localisé à une distance épicentrale de 10 km et à une profondeur de 10 km.

Dans le tableau suivant, on a les accélérations horizontales maximales (valeurs médiane) :

Tableau II. 7 : valeurs d'accélération horizontale au niveau d'Ouldjet Mellegue (Source : ANBT)

Ouldjet Mellegue	SBE	SMD	SMP
Accélération horizontale	0.14 g	0.19 g	0.26 g

D'après le RPA 2003, l'Algérie est devise au plusieurs zones sismiques, le tableau suivant englobe les différentes zones sismiques suivant l'importance de l'ouvrage.

Tableau II. 8 : Classification des ouvrages selon les différentes zones sismiques suivant RPA (2003) (Source : ANBT)

Classification des ouvrages	Zone I	Zone II-a	Zone II-b	Zone III
Ouvrages d'importance vitale	0.15	0.25	0.30	0.40
Ouvrages de grande importance	0.12	0.20	0.25	0.30
Ouvrages courants	0.10	0.15	0.20	0.25
Ouvrages de faible importance	0.07	0.10	0.14	0.18

Le barrage d'Ouldjet Mellegue est considéré comme un ouvrage courant qui se trouve au niveau de la wilaya de Tébessa qui se trouve dans la zone I selon le classement de RPA 2003

Conclusion

La qualité de la fondation rocheuse qui affleure au droit du site du barrage principal apparaît adaptée aux types d'ouvrages actuellement envisagés. Des horizons marneux, moins résistants, sont rencontrés plus en profondeur. Afin de caractériser la résistance et la déformabilité de ces matériaux, des échantillons ont été prélevés et envoyés au laboratoire. Les valeurs obtenues de résistance à la compression uniaxiale sont faibles : il semble que la formation et l'extraction des éprouvettes de marnes sont en partie responsables du changement de la condition de l'échantillon, ce qui est traduit par une sous-estimation de la résistance de la roche en place. L'analyse préalable des structures géologiques et des familles de discontinuités a montré qu'une éventuelle rupture dans la fondation rocheuse du barrage principal sollicitera forcément la matrice intacte de la roche. Du fait de la qualité des affleurements et de la présence d'une fracturation régulière, il a été possible de caractériser les familles de discontinuités et d'estimer empiriquement les paramètres physiques et mécaniques à l'échelle du massif rocheux suivant l'approche développée par Hoek & Brow.

CHAPITRE III : Etude Hydrologique

INTRODUCTION

L'étude de mouvement de l'eau au niveau du bassin versant, c'est-à-dire identifier leur cycle nécessaire pour connaitre quelques notions. Pour cela l'hydrologie est la science responsable sur la détermination des différents paramètres et valeurs du cycle de l'eau (précipitation, évaporation et infiltration). Dans ce chapitre on va faire une étude hydrologique avec laminage des crues au niveau du bassin versant d'Ouldjet Mellegue suivant les données collectés de l'ANBT et l'ANRH, en déterminant les différents caractéristiques et paramètres afin de la réalisation du barrage et précisément pour choisir la variante de l'évacuateur de crue. En fin, on aura une petite comparaison entre les résultats de notre propre étude hydrologique et les résultats de l'ancienne étude de l'ANBT et le bureau ENERGOPROGECT.

III.1. Présentation du Bassin versant

Le bassin versant d'Ouldjet Mellegue est l'un des plus grands bassins au niveau de l'est algérien, il se trouve entre les trois wilayas (Tébessa, Souk-Ahras et khenchla). Il est composé de cinq sous bassins, à l'exutoire de ce bassin versant se trouve le barrage d'ouldjet Mellegue qui est réalisé pour l'accumulation de l'eau du bassin.

La figure ci-dessous représente la délimitation du bassin versant d'Ouldjet Mellegue par Arc gis 10.5.

Les coordonnées de l'exutoire du bassin est :

Cordonné x = -124464 m

Cordonné y = 4003200 m

Cordonné z = 531

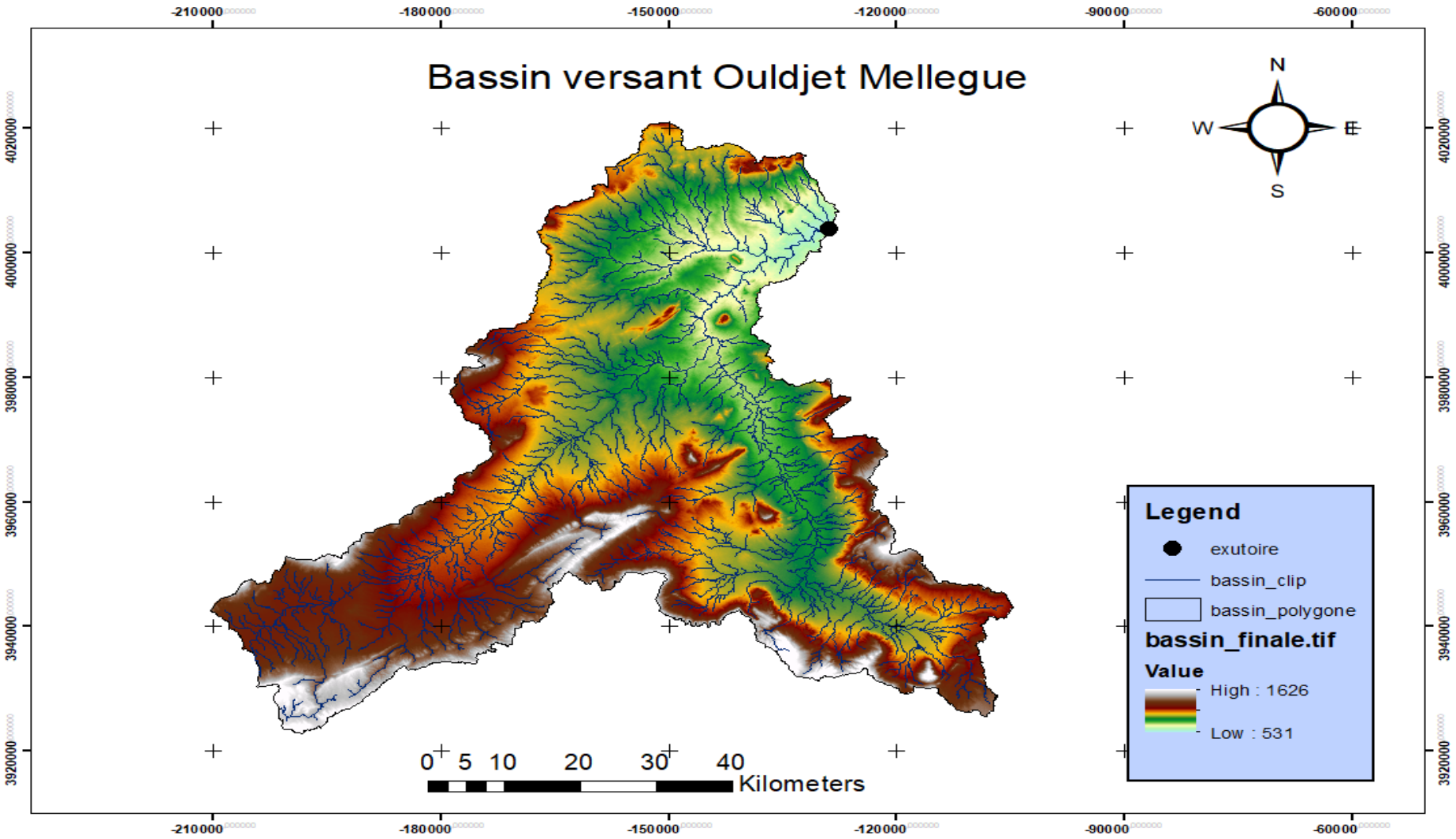


Figure III. 1 : Délimitation du Bassin versant du Barrage Ouldjet Mellegue

III.2. Caractéristique du bassin versant

III.2.1. Caractéristiques géométriques

III.2.1.1 La surface du Bassin versant

La surface est l'un des paramètres importants à reconnaitre l'or d'une étude hydrologique d'un bassin versant. Pour notre cas la surface du bassin versant d'Ouldjet Mellegue suivant le logiciel Arcgis 10.5 est estimé à :

$$S = 4371.35\ Km^2$$

III.2.1.2. Le périmètre du bassin versant

Le périmètre et aussi un paramètre important car c'est lui qui donne la délimitation du bassin est bien sûr qu'à chaque fois le périmètre augmente le bassin devient plus grand. Pour le Bassin d'Ouldjet Mellegue suivant le logiciel Arcgis 10.5 on a :

$$P = 520.117\ Km$$

III.2.1.3. Longueur du thalweg principale

Le thalweg principale représente le coure d'eau qui a la longueur la plus grande dans le bassin suivant logiciel Arcgis 10.5 on a :

$$L_{cd} = 116\ Km$$

III.2.1.4.Altitude du Bassin versant :

Déterminer suivant logitiel Arcgis 10.5

- Altitude max : 1626 m
- Altitude min : 531 m

III.2.2. Caractéristiques morphologiques

III.2.2.1.Indice de compacité de Gravelieus Kc

Le coefficient Kc représente le rapport entre le périmètre du bassin versant et le périmètre du cercle qui a la même superficie du bassin.

On a: $K_c = \frac{P}{Pc}$ ……..…….. (III.1)

Avec P : périmètre du bassin versant.
Pc=$2\pi r$: périmètre du cercle de la même superficie du bassin

On a : $S = \pi \times r^2 \quad \rightarrow \quad r = \sqrt{\frac{S}{\pi}} \quad \rightarrow \quad P_C = 2\pi \times \sqrt{\frac{S}{\pi}}$

S : surface du bassin versant.

Alors : $K_C = \frac{P}{2\pi \times \sqrt{\frac{S}{\pi}}} \quad \rightarrow \quad K_C = 0.282 \times \frac{P}{\sqrt{S}}$ …….... (III.2)

AN : $K_c = 0.282 \times \frac{520.117}{\sqrt{4371.35}}$

$$\boldsymbol{K_C} = 2.218$$

On a : $Kc \leq 1.128$ → Bassin ramassé.
$Kc > 1.128$ → Bassin allongé.

Dont notre cas on a trouvé que $\boldsymbol{Kc} = 2.218$ alors on peut dire que notre bassin est allongé.

III.2.2.2. Coefficient d'allongement Kp

On a :

$$K_P = \frac{{L_{cd}}^2}{S} \text{ ……..……..... (III.3)}$$

Avec L_{cd}: longueur du thalweg principale.
S : superficie du bassin versant.

AN :

$$K_p = \frac{116^2}{4371.35}$$

$$K_P = 3.078$$

Plus La valeur du coefficient Kp est grande, le bassin est allongé (c'est-à-dire le temps que fait une goutte d'eau pour arriver au exutoire sera long, signifie que le temps de concentration est important). Dans notre cas le coefficient d'allongement est grand alors le temps de concentration est grand.

III.2.2.3. l'hypsométrie du bassin versant

L'hypsométrie du bassin versant représente les différentes classes de la surface du bassin par rapport à la hauteur, dans notre cas la répartition des surfaces hypsométriques du bassin Oueldjet Mellegue a été déterminer par le logiciel Arc Gis. Les résultats sont représentés dans la figure (III-3) et le tableau (III-1).

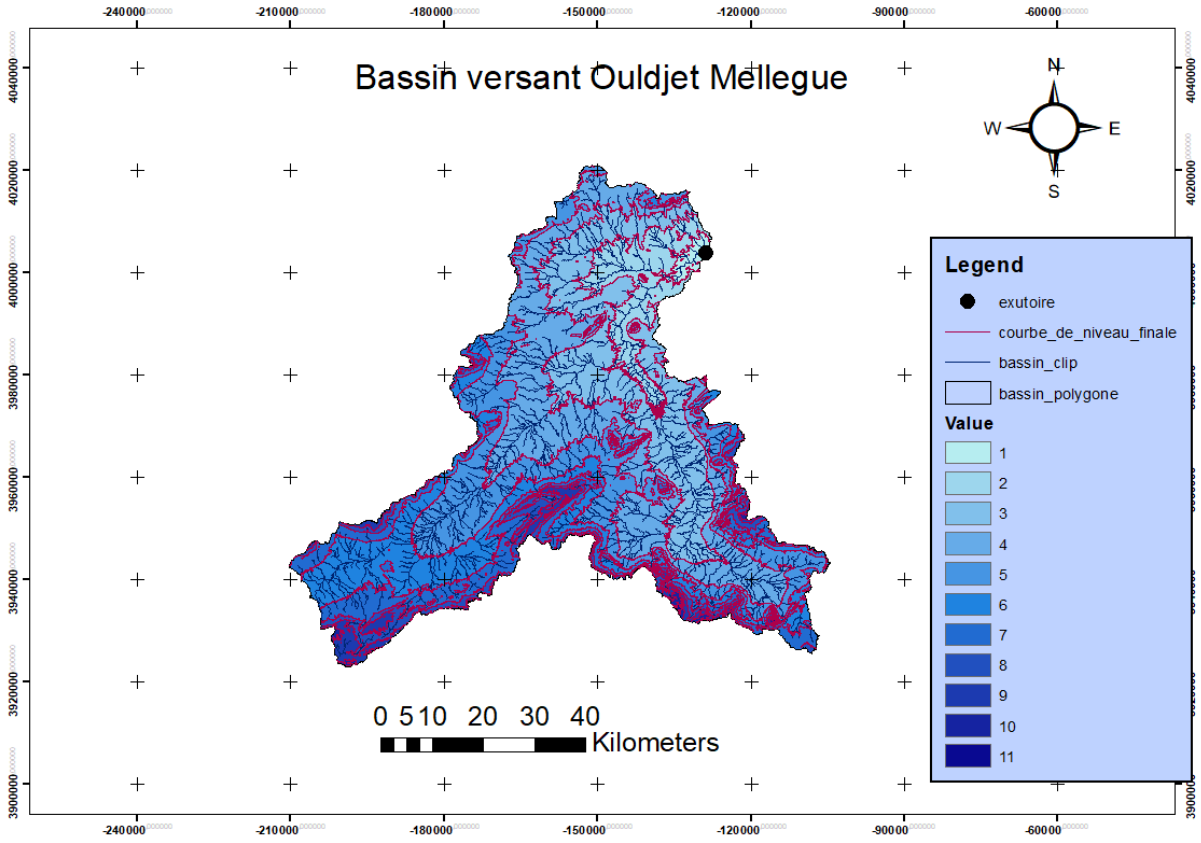


Figure III. 2 : Carte hypsométrique du bassin Ouldjet Mellegue

Tableau III. 1 : Surface hypsométriques du bassin Ouldjet Mellegue

Hauteur(m)	Hauteur moyenne(m)	Polygone	Surface (Km2)	Surface %	Cumules surface %
1500-1626	1563	1	3.33	0,07	0,076
1400-1500	1450	2	21.79	0,49	0,57
1300-1400	1350	3	122.63	2,80	3,38
1200-1300	1250	4	211,96	4,84	8,23
1100-1200	1150	5	421,47	9,64	17,87
1000-1100	1050	6	666,18	15,24	33,11
900-1000	950	7	796,78	18,22	51,34
800-900	850	8	976,06	22,33	73,67
700-800	750	9	799,78	18,29	91,97
600-700	650	10	310,96	7,11	99,08
531-600	565,5	11	40,32	0,92	100

*d'après la courbe hypsométrique en peut distinguer :

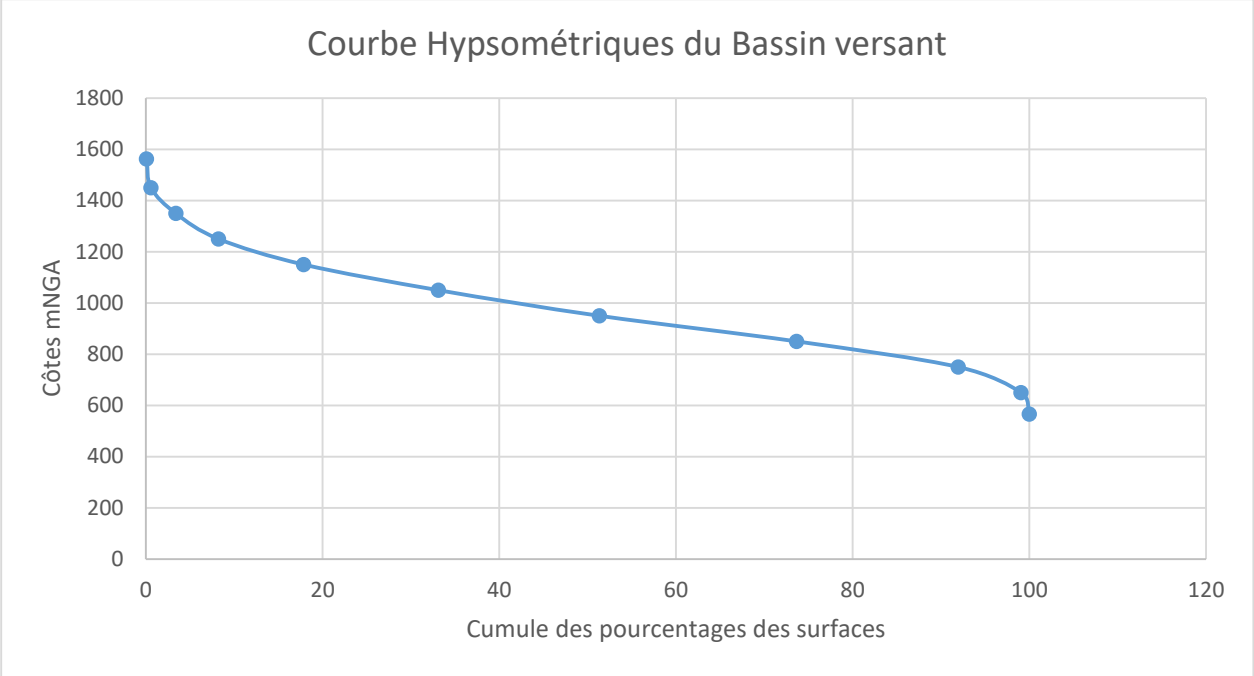


Figure III. 3 : Courbe hypsométrique du bassin versant Ouldjet Mellegue

- Altitude médiane $H_{50\%}$= 957.36m.
- Altitude moyenne :

$$H_{moy} = \frac{\sum Hi \times Si}{St} \quad \text{..... (III-5)}$$

Avec : Hi : altitude moyenne entre deux valeurs d'altitude= $\frac{Hn+Hn+1}{2}$.
Si : surface de chaque sous bassin versant.
St : surface totale du bassin versant.

Alors on a :

Tableau III. 2 : produit des surfaces par les altitudes du bassin

Altitude moy Hi (m)	Surface (Km2)	Hi×Si
565,5	40,3297	22806,4454
650	310,962	202125,3
750	799,784	599838
850	976,061	829651,85
950	796,786	756946,7
1050	666,183	699492,15
1150	421,471	484691,65
1250	211,965	264956,25
1350	122,639	165562,65
1450	21,7997	31609,565
1563	3,33794	5217,20022
	Somme totale	4062897,76

Donc :

$$H_{moy} = \frac{4062897.76}{4371.35}$$

$$H_{moy} = 929.43m$$

III.2.2.5. Pente moyenne du bassin versant

On a la relation suivante :

$$I_m = \frac{\Delta H(0.5L_1+L_2+L_3+\cdots+0.5L_N)}{S} \quad \text{..... (III.6)}$$

Avec ΔH : Dénivelés entre deux courbes de niveaux successives(m)
L1, L2,…., L n: les longueurs des courbes de niveaux (Km).
S : superficie du bassin versant (Km2).

Les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau III. 3 : Longueurs des courbes de niveau du bassin versant Ouldjet Mellegue

Cote (m)	Dénivelés (m)	Longueur (Km)
600	100	100,495
700		431,014
800		553,802
900		676,337
1000		651,619
1100		689,738
1200		509,653
1300		367,056
1400		106,69
1500		22,5729
1600		1,34702

Im=92.86 m/Km → Im=0.09286 m/m

Remarque II.1 : d'après le résultat trouvé on peut dire que la pente du bassin versant est importante ce qui favorise l'écoulement vers l'exutoire.

III.2.2.5. Indice de pente globale

Cet indice est calculé par la relation suivante :

$$I_{pg} = \frac{D}{L} = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L} \text{……..……} \quad \text{(III.7)}$$

Avec D: Dénivelée entre $H5\%$ et $H95\%$ en (m)

L: Longueur du rectangle équivalent (km).

$H5\%$ et $H95\%$ Sont lues sur la courbe hypsométrique. Elles sont respectivement les hauteurs des surfaces $S_{5\%} et\ S_{95\%}$.

D'après la courbe hypsométrique on a :

$H_{5\%} = 1316.67\ m$

$H_{95\%} = 707.41\ m$

L=241.94 Km

AN: $$I_{pg} = \frac{1316.67 - 707.41}{241.94}$$

$$\text{Ipg}=2.52\ \text{m/Km} \rightarrow \text{Ipg}=0.00252\ \text{m/m}$$

III.2.2.6. Indice de pente moyenne

Rapport de la hauteur (Hmax-Hmin) sur la longueur du rectangle équivalente.

On a la relation suivante :

$$I_{pm} = \frac{H_{max} - H_{min}}{L} \text{……..} \quad \text{(III.8)}$$

Avec H_{max}: Hauteur maximale du bassin versant.
H_{min}: Hauteur minimale du bassin versant.
L : Longueur de rectangle équivalent.

AN: $$I_{pm} = \frac{1626-531}{241.94}$$

$$\text{Ipm}=4.53\ \text{m/Km} \rightarrow \text{Ipm}=0.00453\ \text{m/m}$$

III.2.3. Caractéristiques hydrographiques

III.2.3.1.Réseau hydrographique

Le réseau hydrographique est l'un des caractéristiques les plus importants dans les études des bassins versants, la forme du réseau hydrographique est différentes d'un bassin à un autre, cette différence est due au certaines paramètres telle que : la géologie, le climat, la pente du terrain et la présence humaine.
La figure ci-dessous représente le réseau hydrographique du bassin Ouldjet Mellegue déterminé par Arc-gis 10.5.

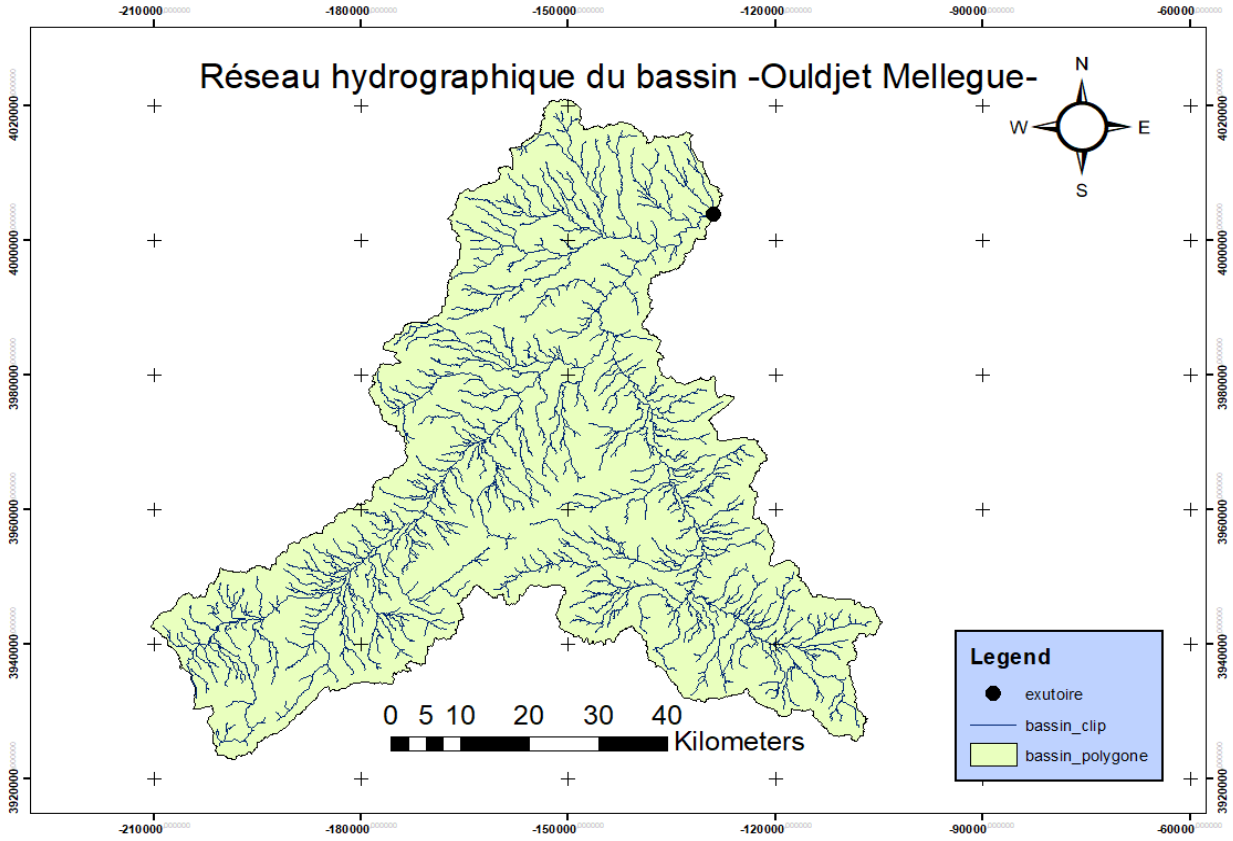


Figure III. 4 : Réseau hydrographique du bassin Ouldjet Mellegue

III.2.3.2. Pente moyenne du coure d'eau principale

La pente moyenne du cours d'eau représente comme étant le rapport entre le dénivelé sur la longueur entre deux points suffisamment éloignés du thalweg, elle est exprimée par la formule suivante :

$$I_e = \frac{\Delta H}{\Delta l} \text{..... (III.9)}$$

Avec ΔH: Dénivelée entre deux points suffisamment distants (m).
Δl: Longueur du cours d'eau (km).

AN: $\Delta H = 1626 - 531 = 1095\ m \quad et \quad \Delta l = 116\ Km$

$$\text{Ie}=9.44\ \text{m/Km} \rightarrow \text{Ie}=0.00944\ \text{m/m}$$

III.2.3.3. Densité de drainage

Elle est définie comme étant le rapport de la longueur totale de tous les cours d'eaux Li sur la surface totale du bassin versant S, elle reflet sur : la dynamique du bassin, la stabilité de la chevelu hydrographique et type de ruissèlement du surface. Exprimer en $^{Km}/_{Km^2}$ par la relation suivante et les données déterminées par l'Arc-gis 10.5 :

$$D_d = \frac{\sum_{i=1}^{n} L_i}{S} \text{..... (III.10)}$$

Avec Li: La sommes des longueurs de tous les cours d'eau d'ordre i (km).
S : Surface du bassin versant (Km2).

AN $$D_d = \frac{2494.5073}{4371.35}$$

$$D_d = 0.571\,\frac{Km}{Km^2}$$

III.2.3.4. Le coefficient de torrentialité Ct

Il est déterminé par la relation suivante :

$$C_t = F1 \times D_d \text{..... (III.11)}$$

Et $$F1 = \frac{N1}{S} \text{.....(III.12)}$$

Avec Dd : la densité de drainage.
N : Nombre des talwegs d'ordre 1. N=885
S : Surface du bassin versant.
F1 : densité de talwegs élémentaires.

AN $$C_t = \frac{870}{4371.35} \times 0.571$$

$$C_t = 0.114$$

III.2.3.5. Temps de concentration

C'est le temps nécessaire pour qu'une particule d'eau prendre son chemin du point le plus éloigné du bassin jusqu'au exutoire, il est déterminé par les relations suivantes :

- **Formule de GIANDOTTI**

$$T_c = \frac{4\sqrt{S}+1.5L_p}{0.8\sqrt{H_{moy}-H_{min}}} \text{..... (III.13)}$$

Avec Tc: Temps de concentration (h).
Lp: Longueur du talweg principal (Km).
S: Surface du bassin versant (Km2).
$Hmoy$: Altitude moyenne du bassin versant (m).
$Hmin$: Altitude minimale du bassin versant (m).

AN $$T_c = \frac{4\sqrt{S}+1.5L_p}{0.8\sqrt{H_{moy}-H_{min}}} \quad \rightarrow \quad T_c = \frac{4\sqrt{4371.35}+1.5\times116}{0.8\sqrt{929.43-531}}$$

$$T_c = 27.46h \rightarrow 27h27min$$

- **Formule de KIRPLICH**

$$T_c = 0.01947 \times L^{0.77} \times I^{-0.385} \text{..... (III.14)}$$

Avec Tc: Le temps de concentration (min).
L: La longueur du Talweg (m).
I: La pente moyenne du talweg principal (m/m).

AN $$T_c = 0.01947 \times 116000^{0.77} \times 0.00944^{-0.385}$$

$$T_c = 930.32min \rightarrow 15h30min$$

- **Formule de TURRAZZA**

$$T_c = 1.662 \times S^{0.5} \text{..... (III.15)}$$

Avec Tc: Le temps de concentration (min).
S : la surface du bassin versant (Ha). S= 437135 ha

AN $$T_c = 1.662 \times 4371.35^{0.5}$$

$$T_c = 1098.85 \text{ min} \rightarrow 15h18min$$

* la comparaison entre les résultats obtenus est dans le tableau suivant :

Tableau III. 4 : résultats du temps de concentration par les trois formules

Formule	GIANDOTTI	KIRPLICH	TURRAZZA
Temps de concentration Tc	27h27min	15h30min	15h18min

Remarque II.2 : on élimine les valeurs très grandes ou très petites, ensuite on garde les valeurs qui se rapprochent, ensuite on prend la valeur minimale, car si on assure une protection pour cette valeur automatiquement elle est assurée pour la valeur supérieure.
Donc pour la valeur de $T_c = 15h18min$ par formule de TURRAZZA qu'on va utiliser.

III.2.3.6. Vitesse de ruissèlement

Représente le rapport entre la longueur du thalweg principal sur le temps de concentration, cette vitesse signifie le mouvement de l'eau dans le cours d'eau suivant la pente du bassin et qui sont destinés pour le stockage superficiel. La vitesse est calculée par la relation suivante :

$$V_r = \frac{L_{cp}}{T_c} \text{……..…..…} \quad \text{(III.16)}$$

Avec Lcp: Longueur du thalweg principal en (Km).
Tc: Temps de concentration en (h).

AN $$V_r = \frac{116}{15.3}$$

$$\text{Vr}=7.58\ \text{Km/h} \rightarrow \text{Vr}=2.11\ \text{m/s}$$

*Dans le tableau ci-dessous on voit une récapitulation des valeurs de paramètres calculés.

Tableau III. 5 : Récapitulation des paramètres calculés

Désignation		Symbol	Unité	Valeur
Exutoire	X	X	m	-124464
	Y	Y	m	4003200
	Z	Z	m NGA	531
Superficie		S	Km^2	4371.35
Périmètre		P	Km	520.117
Longueur de coure d'eau principale		L_{cp}	Km	116
Pente moyenne du cours d'eau principal		I_m	m/m	0.00944
Altitude	Max	H_{max}	m	1626
	Min	H_{min}	m	531
	Moy	H_{moy}	m	929.43
	Médiane	$H_{50\%}$	m	957.36
	5%	$H_{5\%}$	m	1316.67
	95%	$H_{95\%}$	m	707.41
Indice de compacité		K_c	/	2.218
Coefficient d'allongement		K_p	/	3.078
Pente moyenne du BV		I_m	m/m	0.09286
Indice de pente globale		I_{pg}	m/m	0.00252
Indice de pente moyenne		I_{pm}	m/m	0.00453
Densité de drainage		D_d	Km/Km^2	0.571
Le coefficient de torrentialité		C_t	/	0.114
Temps de concentration		T_c	/	15h18min
Vitesse de ruissellement		V_r	m/s	2.11

Remarque III.3 : d'après les résultats représentés dans le tableau III.5, on remarque que la pente du bassin versant est faible mais malgré ça on remarque aussi que le temps de concentration du bassin versant Ouldjet Mellegue est petit (donc la goutte d'eau arrive à l'exutoire rapidement) par rapport à la superficie qui est importante, et cela revoit à la vitesse de ruissèlement qui est important aussi.

III.2.4. Caractéristique climatologique

Le but du calcul des paramètres climatologiques est de prendre un aperçut sur le climat du bassin versant Ouldjet Mellegue pour la détermination des données nécessaires pour la conception du barrage et ces ouvrages annexes.

III.2.4.1. La température

La zone de l'Ouldjet Mellegue se caractérise par un climat semi-aride, les valeurs de la température sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau III. 6 : les températures moyennes au niveau du bassin versant Ouldjet Mellegue (Source : ANRH)

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout	Moy annuelle
Température moyenne en °C	23	16	11	7	6	7	10	14	18	23	27	26	15.66

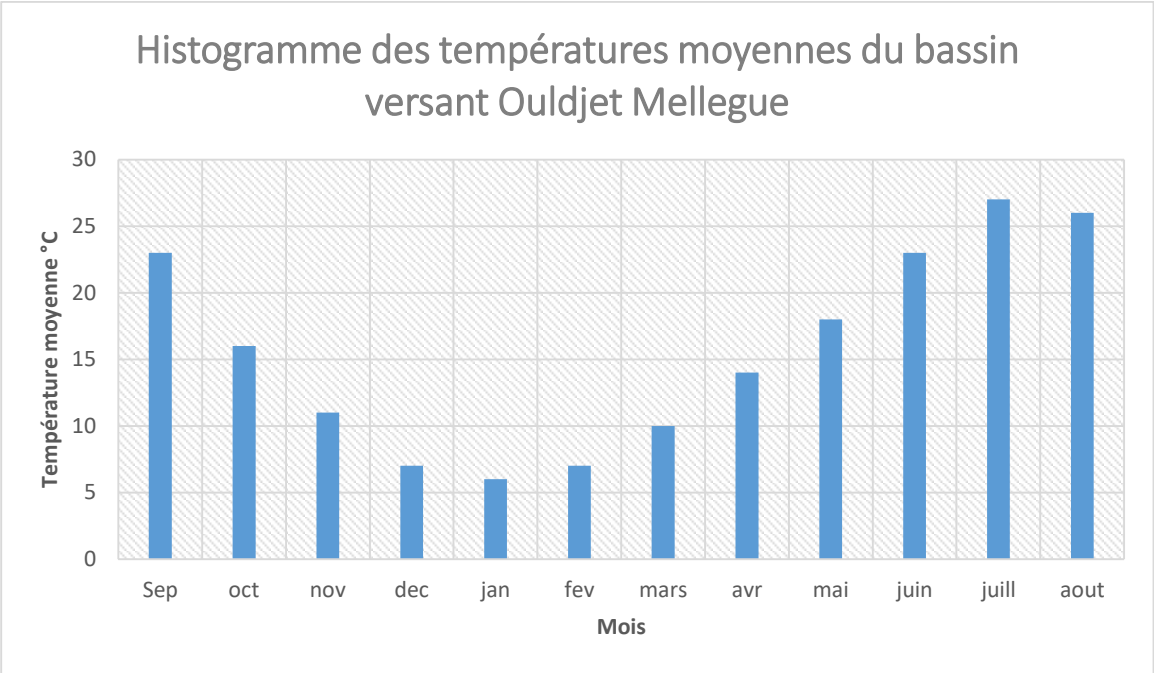


Figure III. 5 : Les températures moyennes pour le bassin versant Ouldjet Mellegue (Source : ANRH)

Remarque II.4 : d'après les valeurs des températures moyennes du bassin versant Ouldjet Mellegue suivant le tableau (III.6) et la figure (III.5) on peut dire que le site est caractérisé par des températures élevées pour les mois d'été et des températures faibles pour les mois d'hiver.

III.2.4.2. L'évaporation

Les valeurs d'évaporation moyennes au niveau de la retenue Ouldjet Mellegue sont déterminées dans le tableau et la figure suivante :

Tableau III. 7 : Les valeurs d'évaporation moyenne de la retenue Ouldjet Mellegue (Source : ANRH)

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout	annuelle
Evaporation (mm)	120	72	40	24	28	40	72	104	140	168	192	168	1168
Evaporation %	10.27	6.16	3.42	2.05	2.39	3.42	6.16	8.90	11.98	14.38	14.43	14.38	100

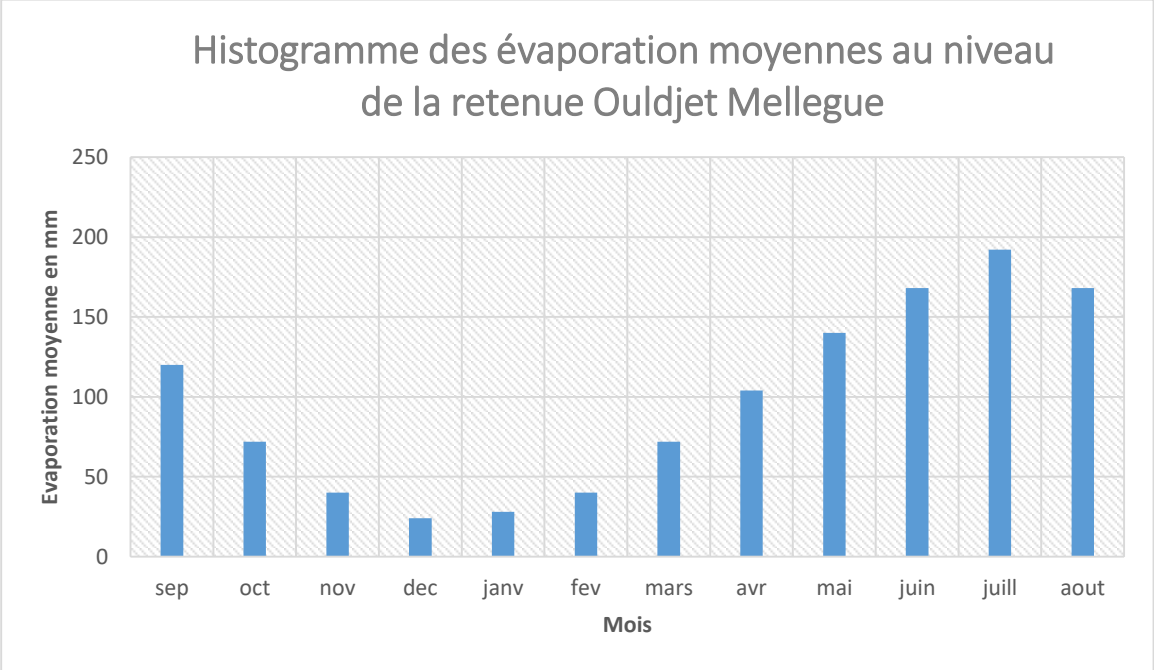


Figure III. 6 : Les valeurs d'évaporation moyenne au niveau de la retenue Ouldjet Mellegue (Source : ANRH)

Remarque II.5 : suivant les résultats du tableau (III.7) et la figure (III.6), les valeurs de l'évaporation au niveau de la retenue Ouldjet Mellegue varies avec des valeurs élevées en été et des valeurs faibles en hiver.

III.2.4.3. La vitesse du vent et nombre de jours de sirocco

Dans le tableau ci-dessous on a les valeurs des vitesses moyennes du vent et le nombre des jours du sirocco au niveau du bassin versant Ouldjet Mellegue.

Tableau III. 8 : Les vitesses moyennes du vent au niveau du bassin versant Ouldjet Mellegue (Source : ANRH)

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout	Moyenne annuelle
Vitesse du vent (m/s)	1.8	1.9	1.9	2.8	2.0	2.3	2.1	2.1	2.1	2.0	2.1	1.7	2.06
Nbj sirocco	1	1	0	0	0	0	1	1	2	3	5	2	16

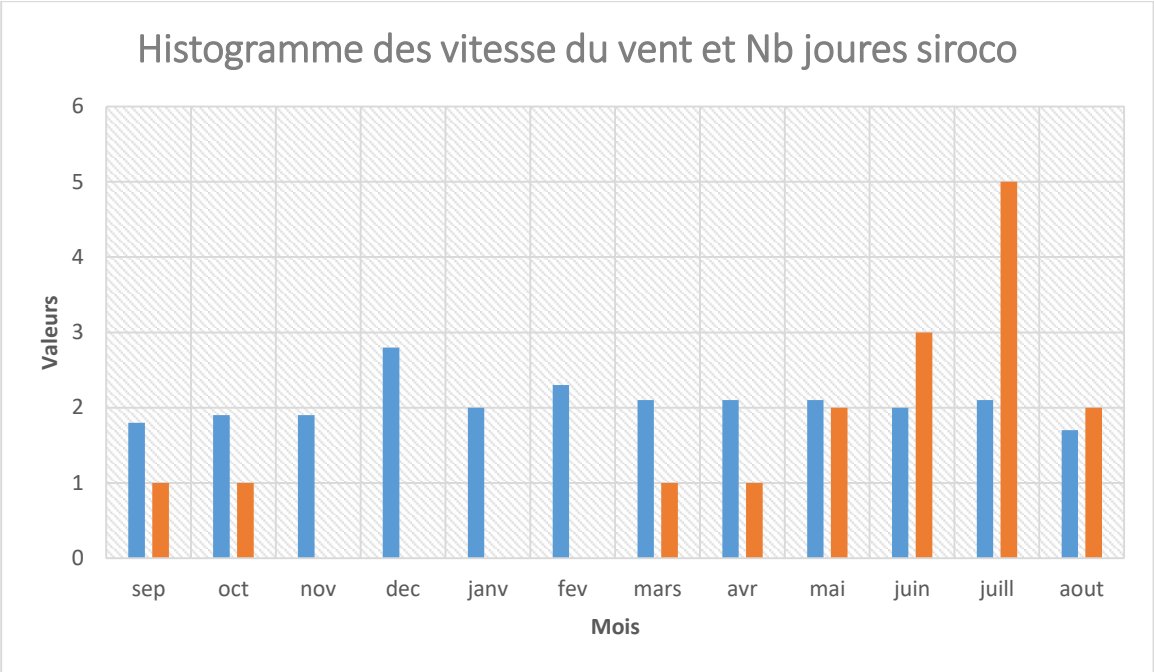


Figure III. 7 : Les valeurs des vitesses moyennes du bassin versant et nombres de jours du sirocco Ouldjet Mellegue

Remarque II.6 : d'après les résultats du tableau (III.8) et la figure (III.7) on remarque que la vitesse est moyenne sur toute l'année avec des valeurs entre 1.7 et 2.3 m/s et les nombres des jours du sirocco sont élevés en été plus qu'en hiver.

III.2.4.4. Pluviométrie

Les précipitations moyennes interannuelles et l'une des caractéristiques les plus importants dans la détermination des caractéristiques de la région où on veut installer le barrage avec ces ouvrages.

Pour cette étude le bassin versant d'Ouldjet Mellegue ne dispose pas d'une station de mesure, pour cela on dispose les deux stations d'Ouenza et Tébessa, pour l'étude de la pluviométrie en considère la station la plus proche du bassin versant étudié.

Tableau III. 9 : Identification des stations pluviométrique (Source : ANRH)

Station	Code	Source	Coordonnées			Année de service	N (ans)
			X	Y	Z		
Ouenza	12-04-01	ANRH	989	313	520	1970-2013	43
Tébessa	12-03-01	ANRH	991.9	247.2	890	1969-2013	44

D'prés la position des deux stations pluviométriques, la plus proche du bassin versant Ouldjet Mellegue est la station d'Ouenza.

On considère la répartition moyenne mensuelle des pluies suivant le tableau :

Tableau III. 10 : Les précipitations moyennes mensuelles (Source : ANRH)

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Janv	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout	total
Pluies moy mensuelles (mm)	70.2	21.8	63	4.7	25.9	50.9	36.9	48.3	63.3	17.1	15	0.8	417.9
Pourcentage %	16.79	5.21	15.07	1.12	6.19	12.17	8.82	11.55	15.14	4.09	3.58	0.19	100

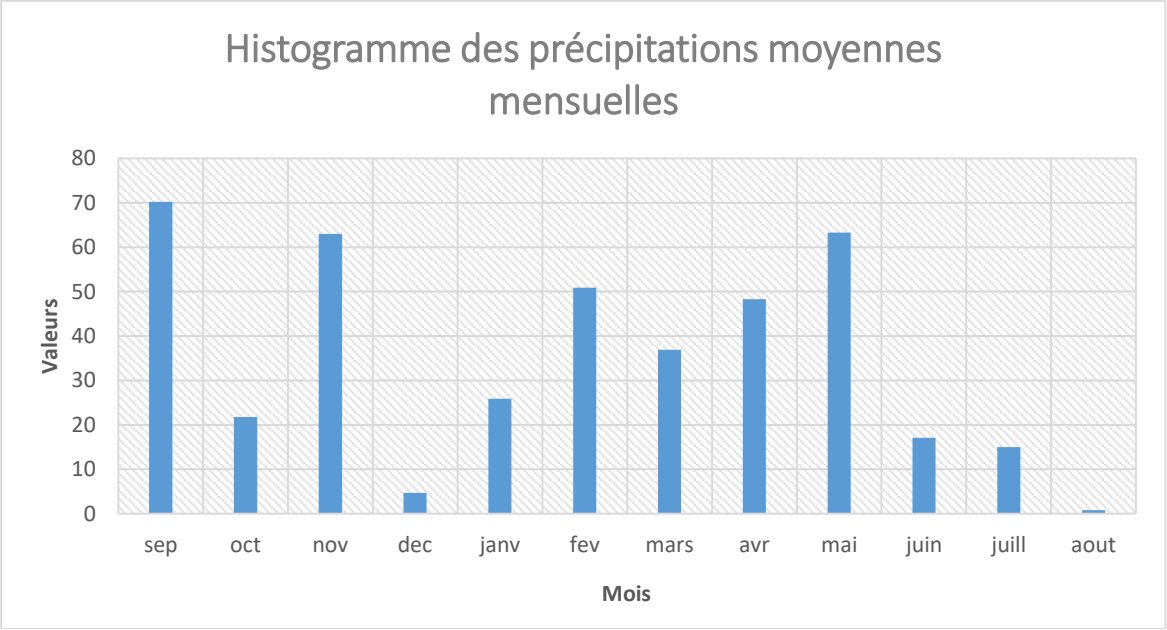


Figure III. 8 : Histogramme des précipitations moyennes mensuelles

III.2.4.5. Les précipitations maximales journalières

La série des précipitations maximales journalières utilisées est celle d'Ouenza du numéro 12-04-01 comme étant la plus représentative des précipitations dans la zone d'étude. L'étude consiste à faire un ajustement pour la série de données des précipitations maximales journalières à l'aide d'une loi théorique afin de déterminer l'intensité de pluie pour une période de retour. Pour cela, il serait nécessaire de passer par les étapes suivantes :

- Classer la série des précipitations par ordre croissant.
- Calculer la fréquence expérimentale.
- Calculer les caractéristiques empiriques de la série de données.
- Ajuster graphiquement la loi choisie.
- Calculer le quantile et son intervalle de confiance.

Les caractéristiques de la série des maximales journalières sont représenté dans le tableau suivant :

Tableau III. 11 : caractéristique de la série maximale journalière

Caractéristique	valeurs
La somme des Pj_{max} (mm)	1498.5
La moyenne des Pj_{max} (mm)	34.05
L'écart type σx pour n>30 valeurs	11.84
Coefficient de variation Cv	0.348
Coefficient d'asymétrie Cs	0.662
L'exposant climatique	0.32

1. Choix de la loi d'ajustement

Comme il existe plusieurs méthodes d'ajustement des séries pluviométriques, l'efficacité d'une méthode d'estimation dépend de :

-La loi de probabilité.

-La taille de l'échantillon.

-Certaines caractéristiques de l'échantillon.

Toutefois, de nombreuses études comparatives, empiriques et théoriques, ont été menées afin de déterminer dans quelles circonstances une méthode d'estimation est la plus efficace pour une loi donnée. Dans notre étude les lois utilisées sont :

- La loi de GUMBEL.
- La loi de GALTON (log-normal).

1.1. Ajustement par la loi de GUMBEL

L'ajustement des pluies maximales journalières sera effectué à l'aide du logiciel « HYFRAN »

La loi de Gumbel est très universellement utilisée pour caractériser la distribution des valeurs extrêmes. Cette loi doit être ainsi capable de décrire les séries de maxima annuels.

La fonction représentant la loi est :

$$F_{(x)} = e^{-e^{\frac{x-\beta}{\alpha}}} \quad \text{..... (III.17)}$$

La variable réduite u de Gumbel est définie par : $u = \frac{x-\beta}{\alpha}$

Où α est un paramètre caractéristique de la dispersion et β est le mode (la valeur la plus probable).

$$\alpha = 0.78 \times S \quad et \quad \beta = \bar{x} - 0.45 \times S$$

Avec S : L'écart type de l'échantillon ;

$\bar{x}$: La moyenne de l'échantillon.

La variable réduite u de Gumbel se calcule par : $u = -\log(-\log(F_{(x)}))$ ..... (III.18)

Avec F(x) : la probabilité au non dépassements.

L'équation de fréquence la loi de Gumbel s'écrit : $x_t = \bar{x} + k_t \times S$
Les résultats d'ajustement par la loi de GUMBEL sont représenté dans le tableau suivant :

Tableau III. 12 : Résultats d'ajustement par la loi de GUMBEL

Période de retour (ans)	Probabilité de fréquence	Pluies max journaliers (mm)	Ecart type	Intervalle de confiance
10000	0.9999	114	13.7	87.0-141
2000	0.9995	98.9	11.3	76.7-121
1000	0.9990	92.5	10.3	72.3-113
200	0.9950	77.6	8.00	62.0-93.3
100	0.9900	71.2	7.01	57.5-85.0
50	0.9800	64.8	6.02	53.0-76.6
20	0.9500	56.2	4.71	46.9-65.4
10	0.9000	49.5	3.73	42.2-56.8
5	0.8000	42.6	2.76	37.2-48.0
3	0.6667	37.1	2.08	33.0-41.1
2	0.5000	32.1	1.64	28.9-35.3

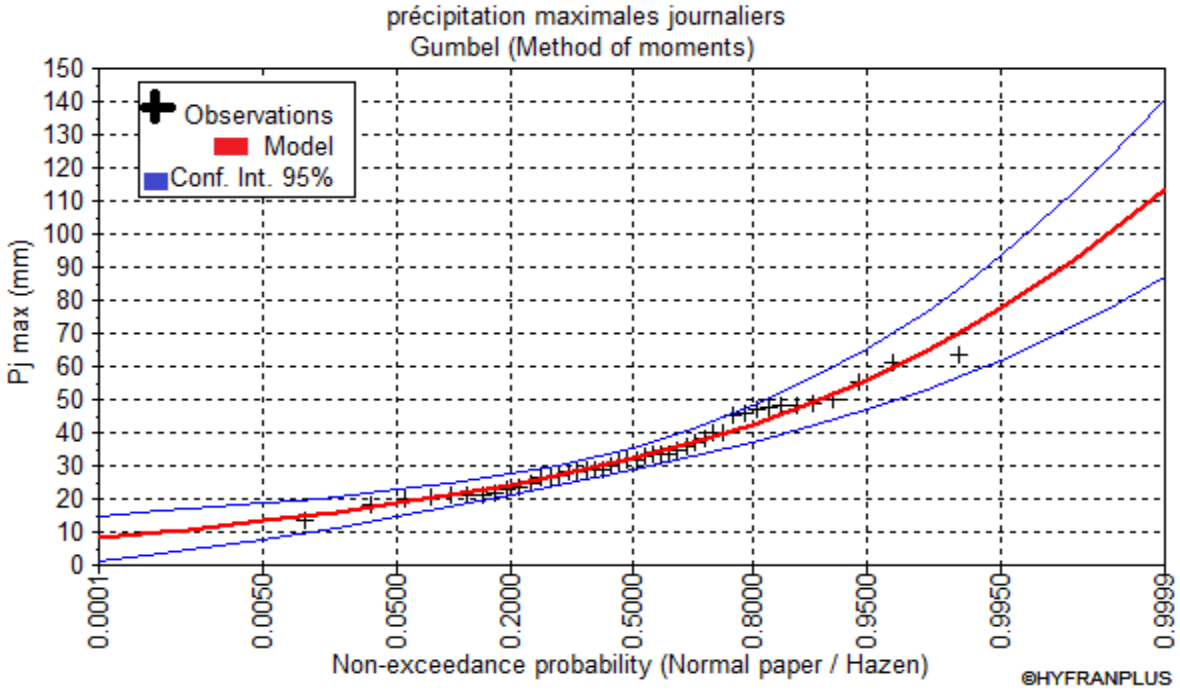


Figure III. 9 : Graphe d'ajustement par la loi de GUMBEL (papier normale)

Tableau III. 13 : Comparaison des caractéristiques de la loi de GUMBEL et de l'échantillon

Paramètre	Caractéristique de la loi	Caractéristique de l'échantillon
Minimum	/	13.5
Maximum	/	63.6
Moyenne	34.1	34.1
Ecart type	11.8	11.8
Médiane	32.1	31.8
Coefficient de variation Cv	0.348	0.348
Coefficient d'asymétrie Cs	1.14	0.662
Coefficient d'aplatissement Ck	2.40	2.64

1.2. Ajustement par la loi GALTON (log-normale)

On dit qu'une variable aléatoire X a une distribution log normal lorsque : Y= ln X est normal. La loi de Galton résulte de la loi normale mais rendue dissymétrique par un changement de variable. Sa fonction de répartition est donnée par :

$$F_{(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_{-\infty}^{u} e^{\frac{-1}{2}u^2}} \quad \text{…….. (III.19)}$$

F(x) : Fréquence au non dépassement.

Avec la valeur réduite est donnée par : $u = \frac{\ln x - \overline{\ln x}}{\sigma_{\ln x}}$

L'équation de la variable réduite se présente : $\ln x = \overline{\ln x} + u \times \sigma_{\ln x}$ …….. (III.20)

Les résultats d'ajustement par la loi log-normale est représenté dans le tableau suivant :

Tableau III. 14 : Résultats de l'ajustement par la loi de GALTON log-normal

Période de retour (ans)	Probabilité de fréquence	Pluies max journaliers (mm)	Ecart type	Intervalle de confiance
10000	0.9999	118	17.6	83.1-152
2000	0.9995	101	13.6	74.5-128
1000	0.9990	94.4	12.0	70.8-118
200	0.9950	78.9	8.70	61.8-95.9
100	0.9900	72.3	7.38	57.8-86.8
50	0.9800	65.8	6.14	53.7-77.8
20	0.9500	57.0	4.63	47.9-66.1
10	0.9000	50.2	3.58	43.2-57.2
5	0.8000	43.1	2.64	37.9-48.3
3	0.6667	37.3	2.05	33.3-41.3
2	0.5000	32.1	1.69	28.8-35.4

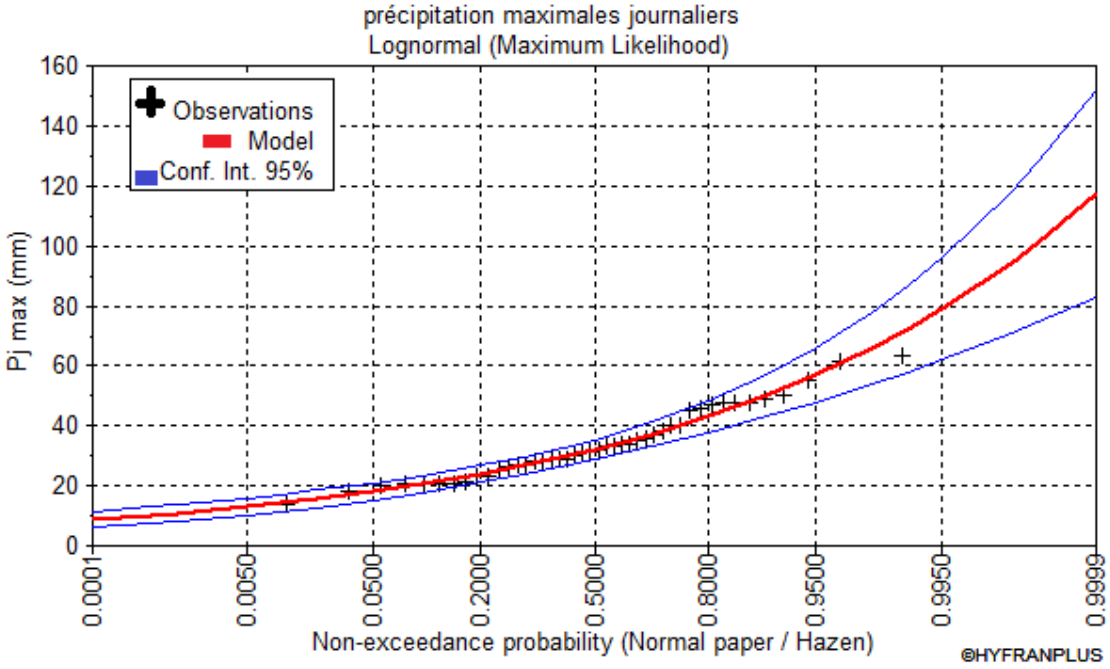


Figure III. 10 : Graphe d'ajustement par la loi de GALTON log-normale

Tableau III. 15 : Comparaison des caractéristiques de la loi de GALTON log-normale et de l'échantillon

Paramètre	Caractéristique de la loi	Caractéristique de l'échantillon
Minimum	0	13.5
Maximum	/	63.6
Moyenne	34.1	34.1
Ecart type	12.3	11.8
Médiane	32.1	31.8
Coefficient de variation Cv	0.360	0.348
Coefficient d'asymétrie Cs	1.13	0.662
Coefficient d'aplatissement Ck	5.33	2.64

1.3. Choix de la loi d'ajustement

Le graphe ci-dessous représente la comparaison entre les deux graphes de la loi de GUMBEL et la loi de GALTON log-normale.

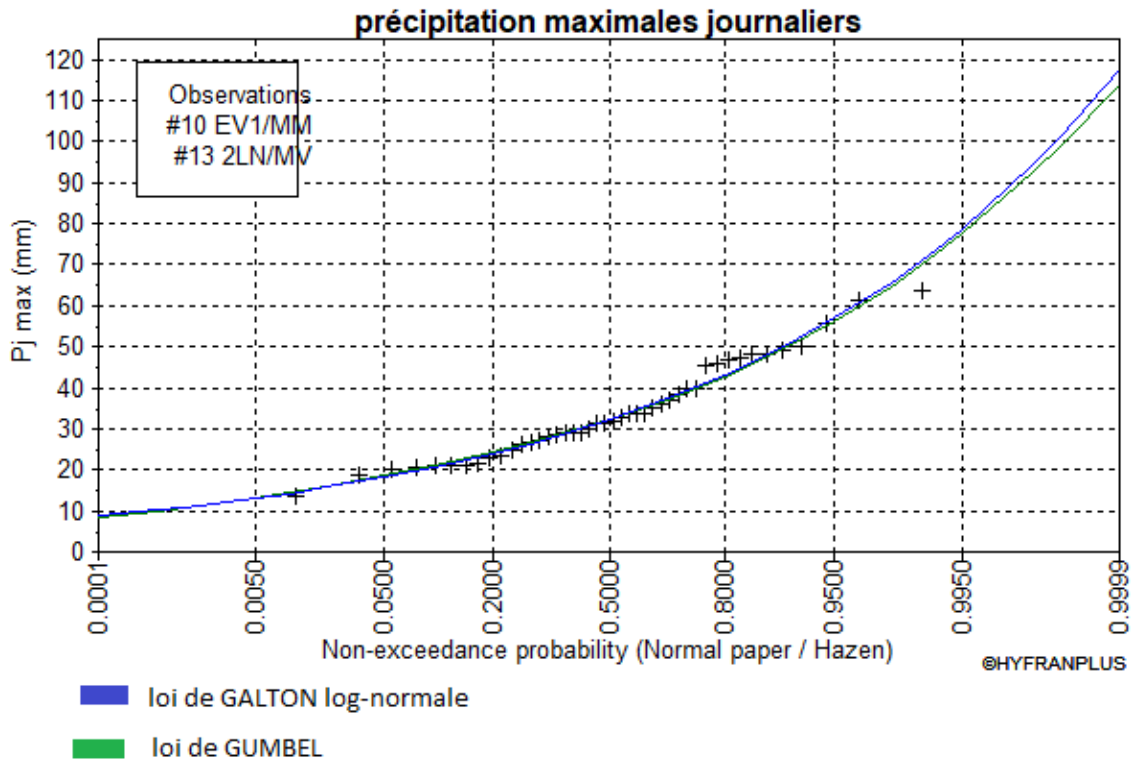


Figure III. 11 : Graphe de comparaison entre loi de GUMBEL et loi de GALTON

D'après les résultats précédents et le graphe de la comparaison entre la loi de GUMBEL et la loi de GALTON, on peut constater qu'il y a une petite différence entre les deux lois (fin des deux graphes) mais qui n'a pas une grande influence sur l'ajustement de la série, donc en constate que les deux lois nous donnent presque le même ajustement et celle de GALTON est considérée.

III.2.4.6. Pluies de courte durée

Pour une période donnée (24 h) et une fréquence donnée, on peut estimer les pluies de courte durée par la formule :

$$P_{cr} = P_{j.max} \times (\frac{t}{24})^{b} \text{.....} \quad \text{(III.21)}$$

Avec Pcr : Pluie de courte durée de même fréquence que P max j % (mm).
Pj.max: Pluie maximale journalière pour une fréquence donnée (mm).
T: Temps en heures.
b : Exposant climatique =0.32

Tableau III. 16 : les Précipitations et les intensités pour les différentes fréquences

période de retour	10	20	50	100	1000	10000
Fréquence	0,9000	0,9500	0,9800	0,9900	0,9990	0,9999
Pj max	50,2	57	65,8	72,3	94,4	118
T (heure)	**Pcr (mm)**	**Pcr (mm)**	**Pcr (mm)**	**Pcr (mm)**	**Pcr (mm)**	**Pcr (mm)**
0,5	14,54	16,51	19,06	20,94	27,35	34,18
1	18,15	20,61	23,79	26,14	34,14	42,67
1,5	20,67	23,47	27,09	29,77	38,87	48,59
2	22,66	25,73	29,70	32,64	42,62	53,27
2,5	24,34	27,64	31,90	35,05	45,77	57,22
3	25,80	29,30	33,82	37,16	48,52	60,65
3,5	27,110	30,78	35,53	39,04	50,98	63,72
4	28,29	32,12	37,08	40,75	53,20	66,50
4,5	29,38	33,36	38,51	42,31	55,25	69,06
5	30,38	34,50	39,83	43,76	57,14	71,43
5,5	31,32	35,57	41,06	45,12	58,91	73,64
6	32,21	36,57	42,22	46,39	60,57	75,72
6,5	33,04	37,52	43,32	47,59	62,14	77,68

Tableau III. 17 : les Précipitations et les intensités pour les différentes fréquences (suite)

période de retour	10	20	50	100	1000	10000
Fréquence	0,9000	0,9500	0,9800	0,9900	0,9990	0,9999
Pj max	50,2	57	65,8	72,3	94,4	118
T (heure)	**Pcr (mm)**	**Pcr (mm)**	**Pcr (mm)**	**Pcr (mm)**	**Pcr (mm)**	**Pcr (mm)**
7	33,84	38,42	44,35	48,74	63,64	79,55
7,5	34,59	39,28	45,35	49,82	65,06	81,32
8	35,32	40,10	46,29	50,86	66,41	83,02
8,5	36,01	40,89	47,20	51,86	67,72	84,65
9	36,67	41,64	48,07	52,82	68,97	86,21
9,5	37,31	42,37	48,91	53,74	70,17	87,71
10	37,93	43,07	49,72	54,63	71,33	89,16
10,5	38,53	43,75	50,50	55,49	72,45	90,57
11	39,10	44,40	51,26	56,32	73,54	91,93
11,5	39,66	45,04	51,99	57,13	74,59	93,24
12	40,21	45,66	52,71	57,91	75,62	94,52
12,5	40,74	46,26	53,40	58,67	76,61	95,76

Tableau III. 18 : les Précipitations et les intensités pour les différentes fréquences (suite)

période de retour	10	20	50	100	1000	10000
Fréquence	0,9	0,95	0,98	0,99	0,999	0,9999
Pj max	50,2	57	65,8	72,3	94,	118
T (heure)	**Pcr (mm)**	**Pcr (mm)**	**Pcr (mm)**	**Pcr (mm)**	**Pcr (mm)**	**Pcr (mm)**
13	41,25	46,84	54,07	59,41	77,58	96,97
13,5	41,75	47,41	54,73	60,14	78,52	98,15
14	42,24	47,96	55,37	60,84	79,44	99,30
14,5	42,72	48,51	56,00	61,53	80,34	100,42
15	43,19	49,04	56,61	62,20	81,21	101,52
15,3	**43,46**	**49,35**	**56,97**	**62,59**	**81,73**	**102,16**
15,5	43,64	49,55	57,20	62,86	82,07	102,59
16	44,09	50,06	57,79	63,50	82,91	103,64
16,5	44,52	50,55	58,36	64,13	83,73	104,66
17	44,95	51,04	58,92	64,74	84,53	105,67
17,5	45,37	51,52	59,47	65,34	85,32	106,65
18	45,78	51,98	60,01	65,94	86,09	107,62
18,5	46,18	52,44	60,54	66,52	86,85	108,56
19	46,58	52,89	61,06	67,09	87,60	109,50
19,5	46,97	53,33	61,57	67,65	88,33	110,41

Tableau III. 19 : Les Précipitations et les intensités pour les différentes fréquences (suite et fin)

période de retour	10	20	50	100	1000	10000
Fréquence	0,9000	0,9500	0,9800	0,9900	0,9990	0,9999
Pj max	50,2	57	65,8	72,3	94,4	118
T (heure)	**Pcr (mm)**	**Pcr (mm)**	**Pcr (mm)**	**Pcr (mm)**	**Pcr (mm)**	**Pcr (mm)**
20	47,35	53,76	62,07	68,20	89,05	111,31
20,5	47,73	54,19	62,56	68,74	89,75	112,19
21	48,10	54,61	63,04	69,27	90,45	113,06
21,5	48,46	55,02	63,52	69,79	91,13	113,91
22	48,82	55,43	63,99	70,31	91,80	114,75
22,5	49,17	55,83	64,45	70,82	92,47	115,58
23	49,52	56,22	64,90	71,32	93,12	116,40
23,5	49,86	56,61	65,35	71,81	93,76	117,20
24	50,2	57	65,8	72,3	94,4	118

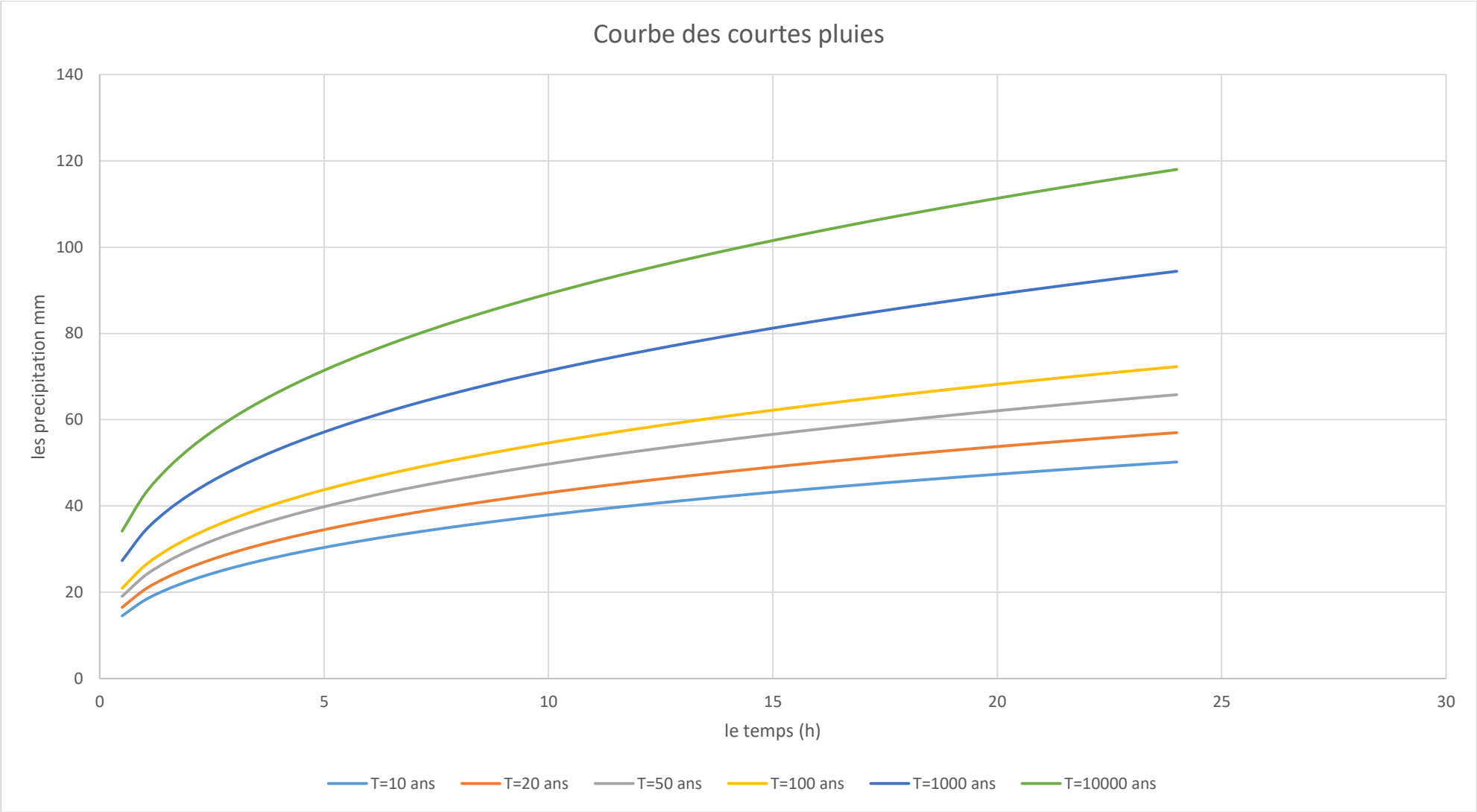


Figure III. 12 : Graphe des pluies de courte durée

III.3. Etudes des Apports

La détermination des apports est orientée de préférence vers les observations hydrométriques, lorsqu'elles existent sur le bassin versant propre du site à étudier, ou par analogie avec un bassin voisin.

La détermination des apports liquides est basée sur :

- ✓ Par les formules empiriques.
- ✓ Les observations hydrométriques au niveau de la station d'Ouenza qui est une station proche du bassin versant d'Ouldjet Mellegue.

III.3.1. Apports calculées par formules empiriques

- **Formule de SAMIE**

$$A_0 = L_e \times S \text{……..…..} \quad \text{(III.22)}$$

$$L_e = Pmoy^2(293 - 2.2 \times \sqrt{S}) \text{……..……} \quad \text{(III.23)}$$

Avec $A0$: Apport moyen annuel.
Le: Lame d'eau écoulée en (mm).
S: Surface du bassin versant en (km2).
$Pmoy$: Pluie moyenne annuelle en (m).

AN $A_0 = 0.4179^2\left(293 - 2.2 \times \sqrt{4371.35}\right) \times 4371.35 = 25.77 \times 4371.35$

$$A_0 = 112.64\ Mm^3$$

- **Formule de MEDINGUER**

$$A_0 = L_e \times S$$

$$L_e = 1024(P_{moy} - 0.26)^2 \text{……..…..} \quad \text{(III.24)}$$

AN $L_e = 25.53\ mm$

$$A_0 = 111.6\ Mm^3$$

- **Formule de l'ANRH**

$$A_0 = 0.915 \times Pmoy^{2.684} \times S^{0.842} \text{……..} \quad \text{(III.25)}$$

AN $A_0 = 0915 \times 0.4179^{2.684} \times 4371.35^{0.842}$

$$A_0 = 102.28\ Mm^3$$

III.3.2. Apports liquide suivant les données de la station

On considère la station Ouenza du code 120401 qui représente les résultats de mesures du bassin versant Ouenza qui inclut le bassin versant Ouldjet Mellegue.

Tableau III. 20 : Apports liquides au niveau de la station Ouenza (Source : ANRH)

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Janv	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	aout	Apport annuelle
A Mm3	3.56	6.05	28.6	5.91	45	11.95	3.0	18.54	1.25	1.80	2.19	1.01	128.86
Pourcentage %	2.76	4.69	22.19	4.58	34.92	9.27	2.32	14.38	0.97	1.39	1.69	0.78	100

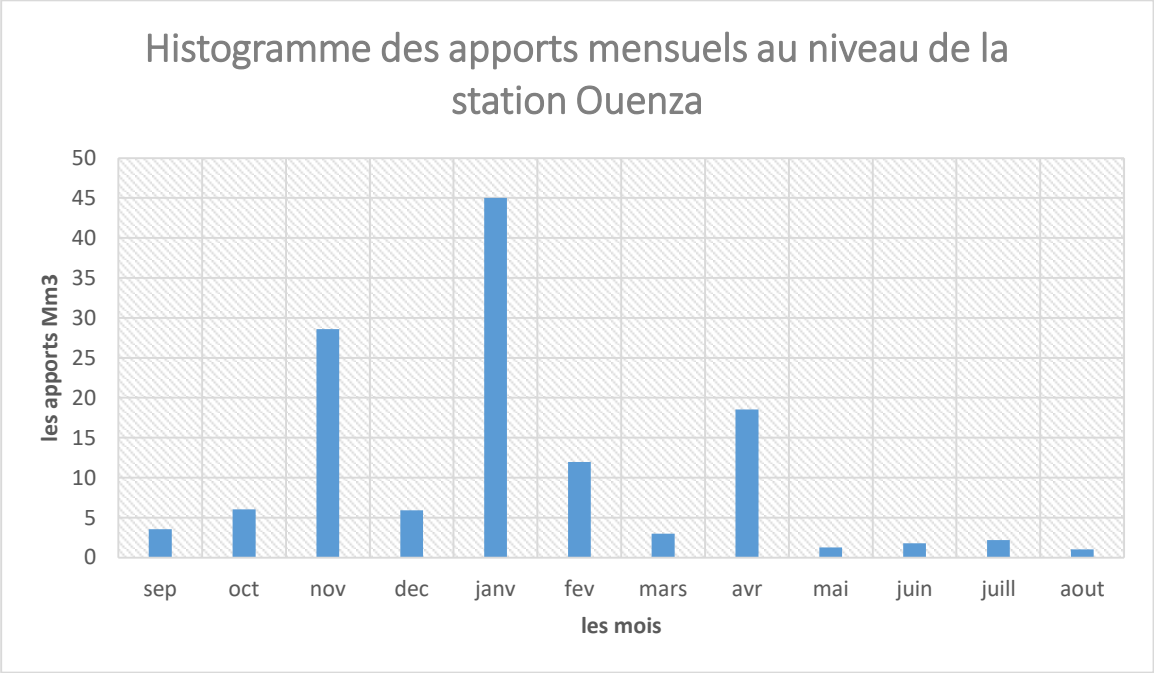


Figure III. 13 : Histogramme des apports liquides au niveau de la station Ouenza en Mm3

***d'après la série d'observation au niveau de la station Ouenza on a :
Apport moyen annuelle=128.86 Mm3.

*par analogie avec le bassin versant Ouldjet Mellegue on troue

$$\frac{A_0}{S} = \frac{A'_0}{S'} \text{..... (III.26)}$$

Avec A0 : Apports du bassin versant Ouldjet Mellegue.
S : surface du bassin versant Ouldjet Mellegue.
A0 : apport du bassin versant Ouenza.
S : surface du bassin versant Ouenza.

AN $$A_0 = \frac{128.86 \times 4371.35}{4575}$$

$$A_0 = 123.12\ Mm^3$$

Alors le tableau des apports au niveau du site Ouldjet Mellegue est de :

Tableau III. 21 : Apports liquides au niveau du site Ouldjet Mellegue

Les mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Janv	fev	mars	avr	mai	juin	juill	aout	Apport annuelle
Apports Mm3	3.40	5.78	27.34	5.65	42.99	11.41	2.86	17.71	1.19	1.72	2.09	0.96	123.12
Pourcentage %	2.76	4.69	22.20	4.58	34.91	9.26	2.32	14.38	0.97	1.40	1.70	0.78	100

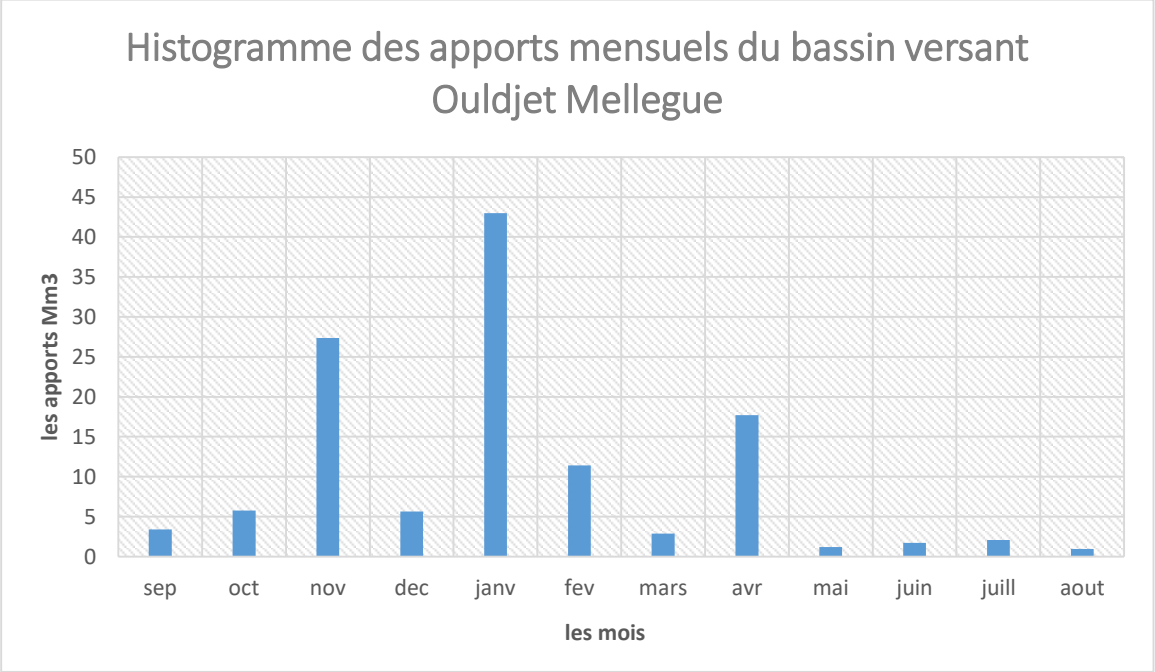


Figure III. 14 : Histogramme des apports liquide au niveau du bassin versant Ouldjet Mellegue

III.3.3. Caractéristique de l'écoulement

III.3.3.1. Module de l'écoulement

$$M_e = \frac{A_0}{T} \text{..... (III.27)}$$

Avec A0 : apport moy annuelle du site
T : temps d'une année en seconde T=31536000 s

AN $$M_e = \frac{123.12 \times 10^9}{31536000}$$

$$Me = 3904.11\ \text{l/s}$$

III.3.3.2. Module de l'écoulement relatif

$$M_0 = \frac{M_e}{S} \text{..... (III.28)}$$

Avec S : surface du bassin versant Ouldjet Mellegue

AN $$M_0 = \frac{3904.11}{4371.35}$$

$$Mo = 0.89$$

III.3.3.3. Lame d'eau écoulée

$$L_e = \frac{A_0}{S} \text{..... (III.29)}$$

AN $$L_e = \frac{123.12}{4371.35}$$

$$L_e = 28.16\ mm$$

III.3.3.4. Coefficient de l'écoulement

$$\boldsymbol{C_e = \frac{L_e}{P_{moy}}} \text{..... (III.30)}$$

Avec P_{moy}: Pluie moyenne annuelle en (mm).
L_e: Lame d'eau écoulée en (mm).

AN $$C_e = \frac{28.16}{417.9}$$

$$C_e = 0.067$$

III.3.4. Apports fréquentielle

Les apports fréquentiels ou de période de retour donnée sont très importants notamment pour le dimensionnement de l'ouvrage, la régularisation des débits et la gestion rationnelle de la capacité en eau (Industrie, Irrigation).

Pour l'étude des apports fréquentielle on considère la série des apports de la station Ouenza et par analogie on détermine l'apport 80% au niveau du site Ouldjet Mellegue

1. Choix de la loi d'ajustement

Pour l'ajustement de la série des apports moyens annuels dépend suivant :
-La taille de la série.
-Certaines caractéristiques de l'échantillon.
Pour cela en considèrent les deux lois d'ajustement : lois de GALTON log-normale

1.1. Ajustement de la série des apports par la loi de GALTONE

L'ajustement de la série des apports se fait à l'aide de logiciels HYFRAN, les résultats de l'ajustement sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau III. 22 : Résultats d'ajustement de la série des apports par la loi de GALTON log-normale

Période de retour (ans)	Probabilité de fréquence	Apports fréquentielle annuelle (Mm3)	Ecart type	Intervalle de confiance
10000	0.9999	604	164	282-926
2000	0.9995	476	117	247-704
1000	0.9990	426	98.9	232-619
200	0.9950	320	64.1	194-445
100	0.9900	278	51.7	177-379
50	0.9800	239	40.7	159-319
20	0.9500	190	28.1	135-245
10	0.9000	155	20.2	116-195
5	0.8000	122	13.6	95.0-148
3	0.6667	96.8	9.67	77.8-116
2	0.5000	76.1	7.27	61.9-90.4

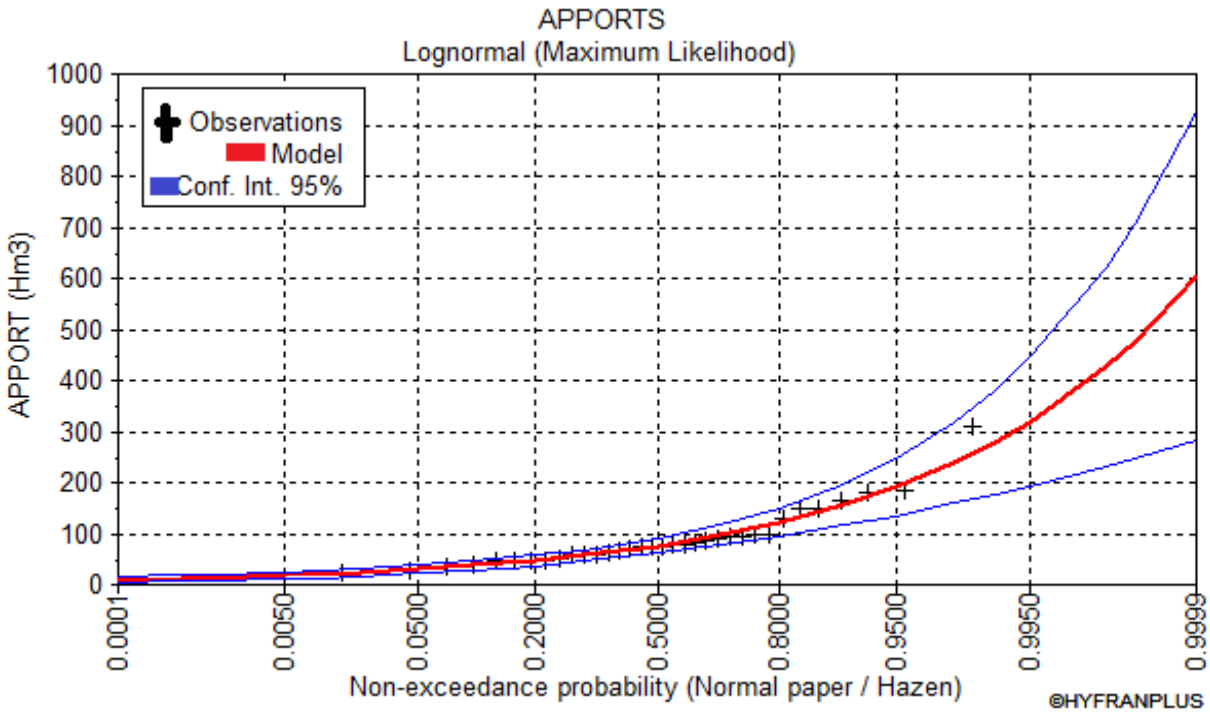


Figure III. 15 : Graphe d'ajustement des apports par la loi de GALTON log-normale

*D'après les résultats obtenus par l'ajustement des apports de la station Ouenza et l'analogie avec le bassin versant d'Ouldjet Mellegue on trouve l'apport moyen annuelle 80% correspond au site Ouldjet Mellegue.

A 80%= 62.99 Mm3

Les résultats des apports moyens mensuels 80% sont mentionnés dans le tableau suivant :

Tableau III. 23 : Répartition mensuelle de l'apport 80% pour le site Ouldjet Mellegue

Les mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Janv	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout	Apport annuelle
Apports 80%	1.74	2.95	13.99	2.89	22.01	5.84	1.46	9.06	0.61	0.88	1.07	0.49	62.99
Pourcentage %	2.76	4.67	22.19	4.58	34.91	9.26	2.31	14.37	0.96	1.39	1.69	0.77	100

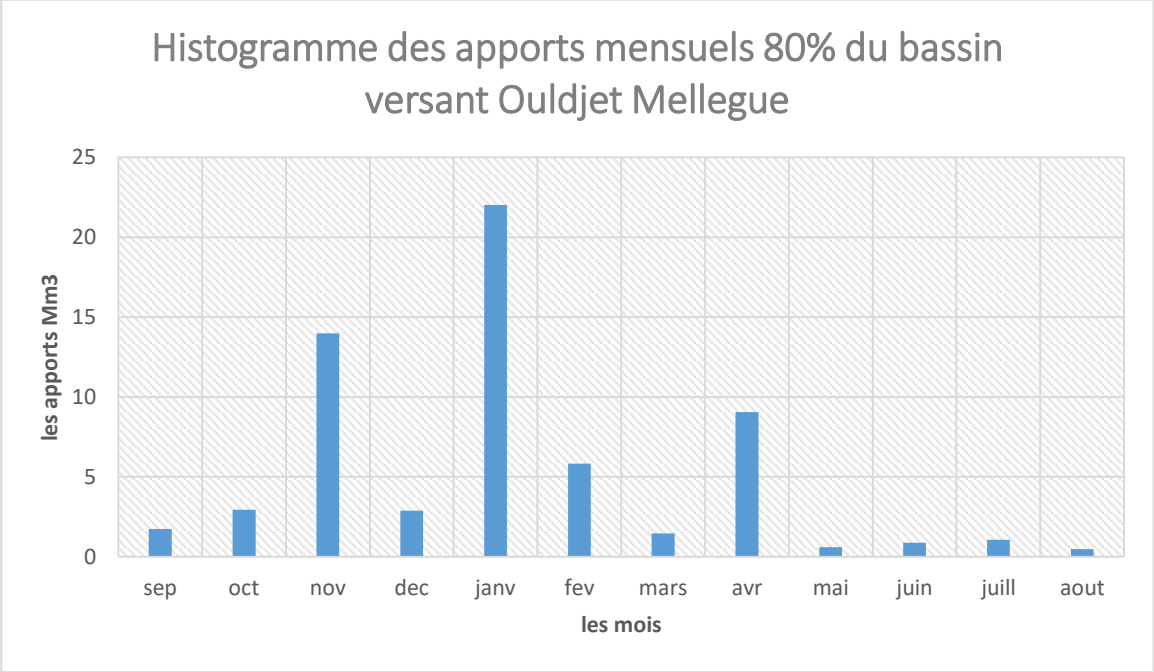


Figure III. 16 : Apports mensuels 80% au niveau du bassin versant Ouldjet Mellegue

III.3.5. Apports solide et calcule du volume mort

Ces apports solides dépendent de l'étendue du relief du bassin versant, de la résistance à l'érosion de sol, liée elle-même à la végétation par la présence des racines et à la nature géologique des roches et au régime des pluies et des températures.

L'étude des apports solides s'impose car elle permet de calculer ensuite le volume mort du futur réservoir. On notera que le bassin versant de l'Ouldjet Mellègue est moyennement érodable par suite de son climat semi-aride. Les oueds côtiers, plus arrosés et d'un relief plus accusé, peuvent avoir des transports solides bien plus importants. Les données de transport solide à la Station de Ouenza ne sont plus disponibles à l'ANRH.

III.3.5.1. Formule de TIXERONT en suspension

$$T_s = \alpha \times L_e^{0.15} \text{..... (III.31)}$$

Avec T_s: Le transport solide en ($t/km2/an$).
L_e: La lame écoulée en (mm).
α: Paramètre caractérisant la perméabilité du bassin versant.

Tableau III. 24 : Valeurs de α en fonction de la perméabilité (Source : ANBT)

Pérmiabilité	**A**
Elevée	8.5
Moyenne	75
Faible à moyenne	350
Faible	1400
imperméable	3200

Pour notre bassin versant on a : **α=75**

AN $$T_s = 75 \times 28.16^{0.15}$$

$$Ts = 123.74 \text{ t/Km2/an}$$

***débit solide**

$$Q_s = T_s \times S \text{..... (III.32)}$$

Avec S : surface du bassin versant S=4371.35 Km2

Qs=540905.92 t/an

***volume mort (TEXERONT) en suspension**

$$V_m = (1.05 \div 1.10)\frac{Q_s \times T}{\gamma_s} \text{..... (III.33)}$$

Avec Vm : volume mort m3.
T : délai de srvice T=50 ans
Qs : débit solide Qs=540905.92t/an
γs : pois spécifique de la vase humide γs =1.6 t/m3 (source ANBT d'ALGER)

AN $$V_m = 1.10 \times \frac{540905.92 \times 50}{1.6}$$

Vm=18593641 m3 → Vm=18.59 Mm3

Tableau III. 25 : Récapitulation des résultats

Méthode	Formule	Apport solide (t/an)	Volume mort (m3)
TEXERONT	$T_s = \alpha \times L_e^{0.15}$	540905.92 t/an	18.59 Mm3

.

***transport solide par charriage**

En général, le transport solide par charriage est estimé de (10 % à 20%) du transport solide en suspension. Prenant la moyenne du transport solide par charriage estimé à 15% de la totalité du transport solide en suspension et en ajoutant à la valeur du volume mort déterminé par TEXERONT.

***volume mort totale**

Alors on a :

$$V_{m\,tot} = V_{m\,chariage} + V_{m\,suspension} \text{..... (III.37)}$$

Vm tot=0.15×18.59+18.59

Vm tot= 21.37 Mm3

III.4. Etudes des Crues

Les crues sont des écoulements variables dans lesquelles les débits atteignent des valeurs importantes. Leur étude a pour but de déterminer les hydrogrammes des crues fréquentielles sur le bassin versant et de définir les débits maximums probables correspondants.

Le but de cette partie est de déterminer les crues à Ouldjet – Mellègue. Ces crues, données sous forme d'hydrogrammes, aident à définir les organes d'évacuation provisoires (pendant le chantier) et définitifs (lors de l'exploitation du barrage).

Les paramètres définissants une crue sont :

- ✓ Le débit maximum (débit de pointe).
- ✓ Le volume.
- ✓ Le temps (de monté et descende).
- ✓ La forme de l'hydrogramme de crue pour les différentes périodes de retour.

Pour cela on considère la série d'observation au niveau de la station d'Ouenza qui est située au niveau du bassin versant Ouenza qui inclut le bassin versant Ouldjet Mellegue.

III.4.1. Choix de la loi d'ajustement

Comme il existe plusieurs méthodes d'ajustement des séries pluviométriques, l'efficacité d'une méthode d'estimation dépend de :

-La loi de probabilité.

-La taille de l'échantillon.

-Certaines caractéristiques de l'échantillon.

Toutefois, de nombreuses études comparatives, empiriques et théoriques, ont été menées afin de déterminer dans quelles circonstances une méthode d'estimation est la plus efficace pour une loi donnée. Dans notre étude les lois utilisées sont :

- La loi de GUMBEL.

III.4.1.1. Ajustement par la loi de GUMBEL

L'ajustement des pluies maximales journalières sera effectué à l'aide du logiciel «HYFRAN ».
La description de la loi et ces paramètres sont mentionnés dans l'ajustement de la série de pluies maximales journalières.

Tableau III. 26 : Résultats d'ajustement de la série des débits maximaux par la loi de GUMBEL

Période de retour (ans)	Probabilité de fréquence	Débits max annuelle (m3/s)	Ecart type	Intervalle de confiance
10000	0.9999	805	120	569-1040
2000	0.9995	689	99.8	494-885
1000	0.9990	640	91.0	462-818
200	0.9950	525	70.5	386-663
100	0.9900	475	61.7	354-596
50	0.9800	425	53.0	321-529
20	0.9500	358	41.5	277-440
10	0.9000	307	32.9	242-371
5	0.8000	253	24.3	205-301
3	0.6667	210	18.4	174-246
2	0.5000	172	14.4	144-200

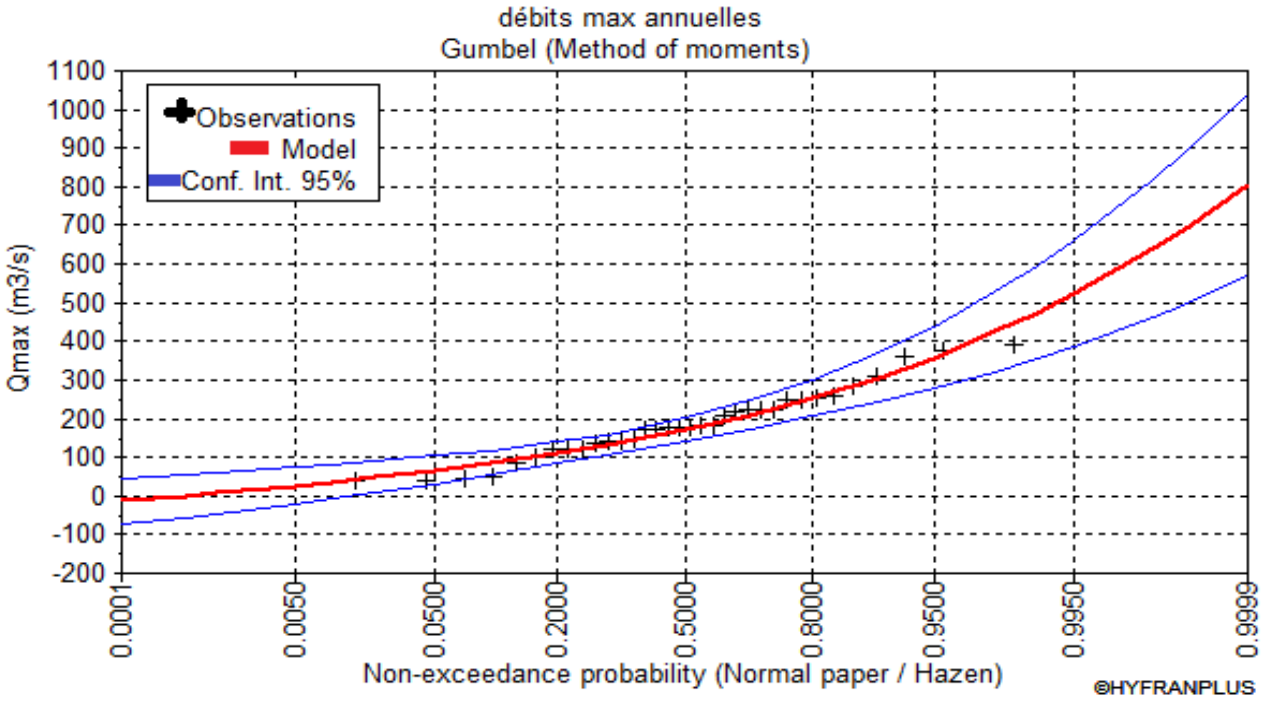


Figure III. 17 : Graphe d'ajustement par la loi de GUMBEL (papier normale)

Tableau III. 27 : Comparaison des caractéristiques de la loi de GUMBEL et de l'échantillon

Paramètre	Caractéristique de la loi	Caractéristique de l'échantillon
Minimum	/	41
Maximum	/	390
Moyenne	187	187
Ecart type	91.5	91.7
Médiane	172	177
Coefficient de variation Cv	0.491	0.491
Coefficient d'asymétrie Cs	1.14	0.431
Coefficient d'aplatissement Ck	2.40	2.61

III.4.2. Détermination des débits maximaux fréquentiels par la méthode du GRADEX

III.4.2.1. Description de la méthode de GRADEX

La méthode du Gradex est une approche hydro-pluviométrique probabiliste du calcul des débits de crues extrêmes des retenus pour les barrages ou pour les cours d'eaux pour des périodes de retour allant de 10 ans à 10000 ans.

Cette méthode est développée par l'EDF (Guillot, Duband 1967) pour la sécurité des grands barrages, est utilisée couramment dans diverses régions du monde pour l'estimation des débits de fréquences rare et exceptionnelle. La méthode utilise l'information pluviométrique pour extrapoler la distribution de fréquence des débits.

III.4.2.2. Hypothèse de la méthode

- ✓ La fonction de répartition des précipitations tombant sur le bassin est asymptotiquement, décrite par une loi de Gumbel ou par une loi exponentielle selon le type d'échantillonnage. Le Gradex correspond à la pente de la fonction de répartition sur un graphique représentant la pluie en fonction du logarithme de la période de retour.
- ✓ Le déficit d'écoulement, défini comme la différence entre le volume d'eau précipité et le volume d'eau écoulée à l'exutoire du bassin versant pendant un pas de temps équivalent.
- ✓ Quelle que soit sa fréquence ou durée de retour, le débit de pointe de crue (valeur maximale observée) peut être calculé à partir du volume écoulé.

III.4.2.3. Principe de la méthode

La méthode du Gradex fournit un support de calcul cohérent et vraisemblable en s'appuyant sur une approche fréquentielle des précipitations locales ou régionales intenses, cette approche se fait essentiellement par l'intermédiaire d'un paramètre proportionnel à l'écart type des fortes précipitations (Pjmax). On nomme ce paramètre fondamental le Gradex (gradient des valeurs extrêmes). Le Gradex est invariant climatologique local dépendant de la situation géographique.

III.4.2.4. Etapes de la méthode de GRADEX

- ✓ Ajustement de la série des Pj max par la loi de GUMBEL.
- ✓ Déterminer le

$$P_{j\,max} = a \times u + b \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(III.38)}$$

Avec u : Variable réduite de Gumbel.

- ✓ Ajustement de la série des débits par la loi de gumbel est déterminé le décanale (correspond aux T=10 ans). Et calculer la lame d'eau correspondante par la loi.

$$R_{mm} = \frac{Q_{10\,ans} \times Nb_{heures} \times 3600 \times 1000}{S_{Km2} \times 10^6} \text{……..…..} \quad \text{(III.39)}$$

- ✓ Déterminer la relation de débit en fonction du paramètre de gradex et b'.

$$Q_{u\%} = a \times u + b' \text{……} \quad \text{(III-40)}$$

Avec a : gradex

u : variable de gumbel u= -ln (-ln (F))…… (III-41) et F=1-(1/T)…..… (III.42)

$$b' = Q_{10ans} - a \times u \qquad et \qquad u_{10ans} = 2.25$$

- ✓ Calcule les débits de pointes pour les différentes périodes retour.

III.4.2.5. Application de la méthode de GRADEX

On a d'après le logiciel HYFRAN l'ajustement de la série des Pj max.

Tableau III. 28 : Résultats d'ajustement par la méthode de GUMBEL

Période de retour (ans)	Probabilité de la fréquence	Précipitation maximale (mm)	Ecart type	Intervalle de confiance
10000	0.9999	114	13.7	87.0-141
2000	0.9995	98.9	11.3	76.7-121
1000	0.9990	92.5	10.3	72.3-113
200	0.9950	77.6	8.00	62.0-93.3
100	0.9900	71.2	7.01	57.5-85.0
50	0.9800	64.8	6.02	53.0-76.6
20	0.9500	56.2	4.71	46.9-65.4
10	0.9000	49.5	3.73	42.2-56.8
5	0.8000	42.6	2.76	37.2-48.0
3	0.6667	37.1	2.08	33.0-41.1
2	0.5000	32.1	1.64	28.9-35.3

D'après la figure III.9 on a :

- ✓ L'équation de la droite suivant l'ajustement de GUMBEL est

$$P_{j\,max} = 9.24 \times u + 28.73 \text{.....} \quad \text{(III.43)}$$

Le Gradex est a=9.24 mm

- ✓ L'ajustement de la série des débits max suivant la loi de gumbel pour la station d'Ouenza (bassin versant Ouenza) nous donnent un débit décennale de $Q'_{10ans} = 307 \frac{m^3}{s}$, et en considère le temps de base qui est estimer par Tbase=24h.
- ✓ On calcule le débit décennal pour le bassin versant Ouldjet Mellegue.

$$\frac{Q_{10ans}}{S} = \frac{Q'_{10ans}}{S'} \text{..... (III.44)}$$

Avec Q 10ans : débit décinale du bassin Ouldjet Mellegue.
S : surface du bassin versant Ouldjet Mellegue.
Q' 10ans : débit décinale du bassin Ouenza.
S' : surface du bassin versant Ouenza S'=4575 Km2.

AN $$Q_{10ans} = \frac{Q'_{10ans} \times S}{S'} = \frac{307 \times 4371.35}{4575}$$

$$Q_{10ans} = 293.33 \frac{m^3}{s}$$

✓ Calcule la lame d'eau correspondante au débit décinale du bassin versant Ouldjet Mellegue.

$$R_{mm} = \frac{293.33 \times 24 \times 3600 \times 1000}{4371.35 \times 10^6}$$

$$R_{mm} = 5.80\ mm$$

✓ Calcule de la variable b'

$$b' = Q_{10ans} - a \times u = 293.33 - 9.24 \times 2.25$$ u=2.25 pour T=10 ans

$$b' = 272.54$$

Et donc la relation devient : $$Q_{U\grave{u}} = 9.24 \times u + 272.54$$..... (III.45)

Dans le tableau ci-dessous on a les débits maximaux des différentes périodes de retours pour le bassin versant Ouldjet Mellegue.

Remarque II.7 : on a le coefficient de la pointe égale é 1 car on a utilisé les débits maximaux (débits de pointes).

Tableau III. 29 : Résultats de la méthode de gradex pour le site d'Ouldjet Mellegue

Période de retour (ans)	Probabilité de fréquence	U	Lame d'eau R (mm)	Cp	Débits de la pointe (m3/s)
10000	0.9999	9.21	7.06	1	357.64
2000	0.9995	7.60	6.77		342.76
1000	0.9990	6.91	6.64		336.38
200	0.9950	5.30	6.35		321.51
100	0.9900	4.60	6.22		315.04
50	0.9800	3.90	6.10		308.57
20	0.9500	2.97	5.93		299.98
10	0.9000	2.25	5.80		293.33
5	0.8000	1.5	5.66		286.4
3	0.6667	0.90	5.55		280.85
2	0.5000	0.37	5.45		275.95

Tableau III. 30 : Comparaison des débits maximaux entre la station d'Ouenza et par la méthode de GRADEX

Période de retour	Débits maximaux de la station d'Ouenza (m3/s)	Débits maximaux (m3/s) de site Ouldjet Mellegue par méthode de Gradex
10000	805	357.64
2000	689	342.76
1000	640	336.38
200	525	321.51
100	475	315.04
50	425	308.57
20	358	299.98
10	307	293.33

Remarque III.8 : on remarque que les débits de pointe déterminées par la méthode de GRADEX leurs valeurs sont moins que les valeurs déterminées par l'ajustement de la série des débits maximaux de la station d'Ouenza. Comme mentionné avant, on a le bassin qui représente les mesures effectuées par la station d'Ouenza incluent le bassin versant Ouldjet Mellegue (forme une partie de grand bassin versant), donc pour éviter le risque des phénomènes extrêmes et pour plus de sécurité on prend les valeurs de la station d'Ouenza.

III.4.3. Hydrogramme de crue

L'hydrogramme de crue est une identité de la crue, pour tracer l'hydrogramme de crue, nous sommes tenus de suivre la méthode de Sokolovski qui le divise en deux parties non symétriques, calculés à partir des temps de montée et de la décrue.

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

*Pour le temps de montée

$$Q_m = Q_{\max p\%} \left(\frac{t}{T_m}\right)^2 \quad \text{(III.46)}$$

*Pour le temps de décrue

$$Q_d = Q_{\max p\%}\left(\frac{T_d - t}{T_d}\right)^3 \text{……..…….. (III.47)}$$

$$T_d = \delta \times T_m \text{…….…. (III.48)}$$

Avec Qm: Débit instantané de la montée ($m3/s$).
Qd: Débit instantané de la décrue ($m3/s$).
Q_{max}: Débit maximum probable de la crue ($m3/s$).
T_m : Temps de la montée de la crue (h). Tm= 15.3 h
δ : Coefficient dépendant des caractéristiques du bassin versant. Pour notre cas $\delta = 2$
Td : Temps de la décrue (h).

$$Td=2\times15.3 \rightarrow Td=30.6h$$

Donc $$T_b = T_m + T_d$$

Tb=15.3+30.6 → Tb=45.9 heures

Tableau III. 31 : Valeurs de coefficients de l'hydrogramme de crue δ suivants (Source : ANRH)

Description du cours d'eau	Valeurs de δ
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

*les résultats du calcule du temps de monté et décrue pour la station d'Ouenza sont représentés dans les tableaux suivant :

Tableau III. 32 : Résultats de temps de monté et décrue

temps (h)	Q10 ans =307 (m3/s)	Q20 ans=358 (m3/s)	Q50ans=425 (m3/s)	Q100 ans=475 (m3/s)	Q1000ans=640 (m3/s)	Q10000 ans= 805 (m3/s)
0	0	0	0	0	0	0
0,5	0,32	0,38	0,45	0,50	0,68	0,85
1	1,31	1,52	1,81	2,02	2,73	3,43
1,5	2,95	3,44	4,08	4,56	6,15	7,73
2	5,24	6,11	7,26	8,11	10,93	13,755
2,5	8,19	9,55	11,34	12,68	17,08	21,49
3	11,80	13,76	16,33	18,26	24,60	30,94
3,5	16,06	18,73	22,24	24,85	33,49	42,12
4	20,98	24,46	29,04	32,46	43,743	55,02
4,5	26,55	30,96	36,76	41,08	55,36	69,63
5	32,78	38,23	45,38	50,72	68,34	85,97
5,5	39,67	46,262	54,9	61,38	82,70	104,02
6	47,21	55,055	65,35	73,04	98,42	123,79
6,5	55,40	64,61	76,70	85,73	115,51	145,29
7	64,26	74,93	88,96	99,42	133,96	168,50
7,5	73,76	86,02	102,12	114,13	153,78	193,43
8	83,933	97,87	116,19	129,86	174,97	220,08
8,5	94,75	110,49	131,17	146,60	197,53	248,45
9	106,22	123,87	147,05	164,35	221,45	278,54
9,5	118,35	138,02	163,85	183,12	246,7	310,35
10	131,14	152,93	181,55	202,91	273,39	343,88
10,5	144,58	168,60	200,16	223,71	301,42	379,13
11	158,68	185,04	219,68	245,52	330,81	416,10

Tableau III. 33 : Résultats de temps de monté et décrue (suite)

temps (h)	Q10 ans =307 (m3/s)	Q20 ans=358 (m3/s)	Q50ans=425 (m3/s)	Q100 ans=475 (m3/s)	Q1000ans=640 (m3/s)	Q10000 ans= 805 m3/s)
11,5	173,44	202,25	240,10	268,35	361,57	454,78
12	188,85	220,22	261,43	292,19	393,69	495,19
12,5	204,91	238,95	283,67	317,05	427,18	537,32
13	221,63	258,45	306,82	342,92	462,04	581,16
13,5	239,01	278,71	330,88	369,80	498,26	626,73
14	257,04	299,74	355,84	397,71	535,86	674,01
14,5	275,73	321,54	381,71	426,62	574,82	723,01
15	295,07	344,09	408,49	456,55	615,14	773,74
15,3	**307**	**358**	**425**	**475**	**640**	**805**
15.5	301,01	351,02	416,72	465,74	627,5	789,31
16	286,40	333,98	396,49	443,14	597,07	751,00
16.5	272,28	317,51	376,93	421,28	567,61	713,95
17	258,62	301,58	358,02	400,15	539,14	678,14
17.5	245,43	286,20	339,76	379,73	511,64	643,55
18	232,69	271,35	322,13	360,03	485,09	610,16
18.5	220,40	257,02	305,12	341,02	459,48	577,94
19	208,55	243,20	288,72	322,69	434,78	546,87
19.5	197,14	229,89	272,92	305,02	410,98	516,94
20	186,15	217,07	257,70	288,02	388,07	488,12
20.5	175,58	204,74	243,06	271,66	366,03	460,39
21	165,41	192,89	228,99	255,93	344,83	433,74
21.5	155,64	181,50	215,47	240,82	324,47	408,13
22	146,27	170,57	202,49	226,32	304,93	383,55
22.5	137,28	160,09	190,05	212,41	286,19	359,98
23	128,67	150,04	178,12	199,08	268,23	337,39
23.5	120,42	140,43	166,71	186,32	251,04	315,77
24	112,53	131,23	155,79	174,12	234,61	295,09
24.5	105,00	122,45	145,36	162,46	218,90	275,34
25	97,81	114,06	135,41	151,34	203,91	256,40
25.5	90,96	106,07	125,92	140,74	189,62	238,51
26	84,43	98,46	116,89	130,64	176,02	221,40
26.5	78,23	91,22	108,30	121,04	163,08	205,13
27	72,33	84,35	100,14	111,92	150,79	189,67
27.5	66,74	77,83	92,40	103,27	139,14	175,01
28	61,45	71,66	85,07	95,07	128,10	161,13

Tableau III. 34 : Résultats de temps de monté et décrue (suite et fin)

temps (h)	Q10 ans =307 (m3/s)	Q20 ans=358 (m3/s)	Q50ans=425 (m3/s)	Q100 ans=475 (m3/s)	Q1000ans=640 (m3/s)	Q10000 ans= 805 (m3/s)
28.5	56,44	65,82	78,13	87,33	117,66	148,00
29	51,71	60,30	71,59	80,01	107,81	135,60
29.5	47,26	55,11	65,42	73,12	98,52	123,92
30	43,06	50,22	59,62	66,63	89,78	112,93
30.5	39,13	45,63	54,17	60,54	81,57	102,61
31	35,44	41,33	49,06	54,83	73,88	92,93
31.5	31,99	37,30	44,29	49,50	66,69	83,89
32	28,77	33,55	39,83	44,52	59,98	75,45
32.5	25,78	30,06	35,68	39,88	53,74	67,59
33	23,00	26,82	31,84	35,58	47,94	60,31
33.5	20,42	23,82	28,28	31,60	42,58	53,56
34	18,055	21,05	24,99	27,93	37,64	47,34
34.5	15,87	18,51	21,97	24,56	33,09	41,62
35	13,87	16,18	19,20	21,46	28,92	36,38
35.5	12,05	14,05	16,68	18,64	25,12	31,60
36	10,39	12,12	14,39	16,08	21,67	27,26
36.5	8,89	10,37	12,31	13,76	18,55	23,33
37	7,55	8,80	10,45	11,68	15,74	19,80
37.5	6,35	7,40	8,79	9,82	13,23	16,65
38	5,28	6,16	7,31	8,17	11,01	13,85
38.5	4,34	5,06	6,01	6,71	9,051	11,38
39	3,51	4,10	4,8	5,44	7,33	9,22
39.5	2,80	3,27	3,88	4,34	5,85	7,36
40	2,20	2,56	3,04	3,40	4,58	5,77
40.5	1,68	1,96	2,33	2,61	3,51	4,42
41	1,26	1,46	1,74	1,95	2,62	3,30
41.5	0,91	1,06	1,26	1,41	1,90	2,39
42	0,63	0,74	0,87	0,98	1,32	1,66
42.5	0,42	0,49	0,58	0,65	0,87	1,10
43	0,26	0,30	0,36	0,40	0,54	0,68
43.5	0,14	0,17	0,20	0,22	0,30	0,38
44	0,07	0,08	0,10	0,11	0,15	0,19
44.5	0,029	0,03	0,04	0,04	0,06	0,07
45	0,001	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02
45.5	0,00	0,001	0,001	0,001	0,001	0,00
45.9	0	0	0	0	0	0

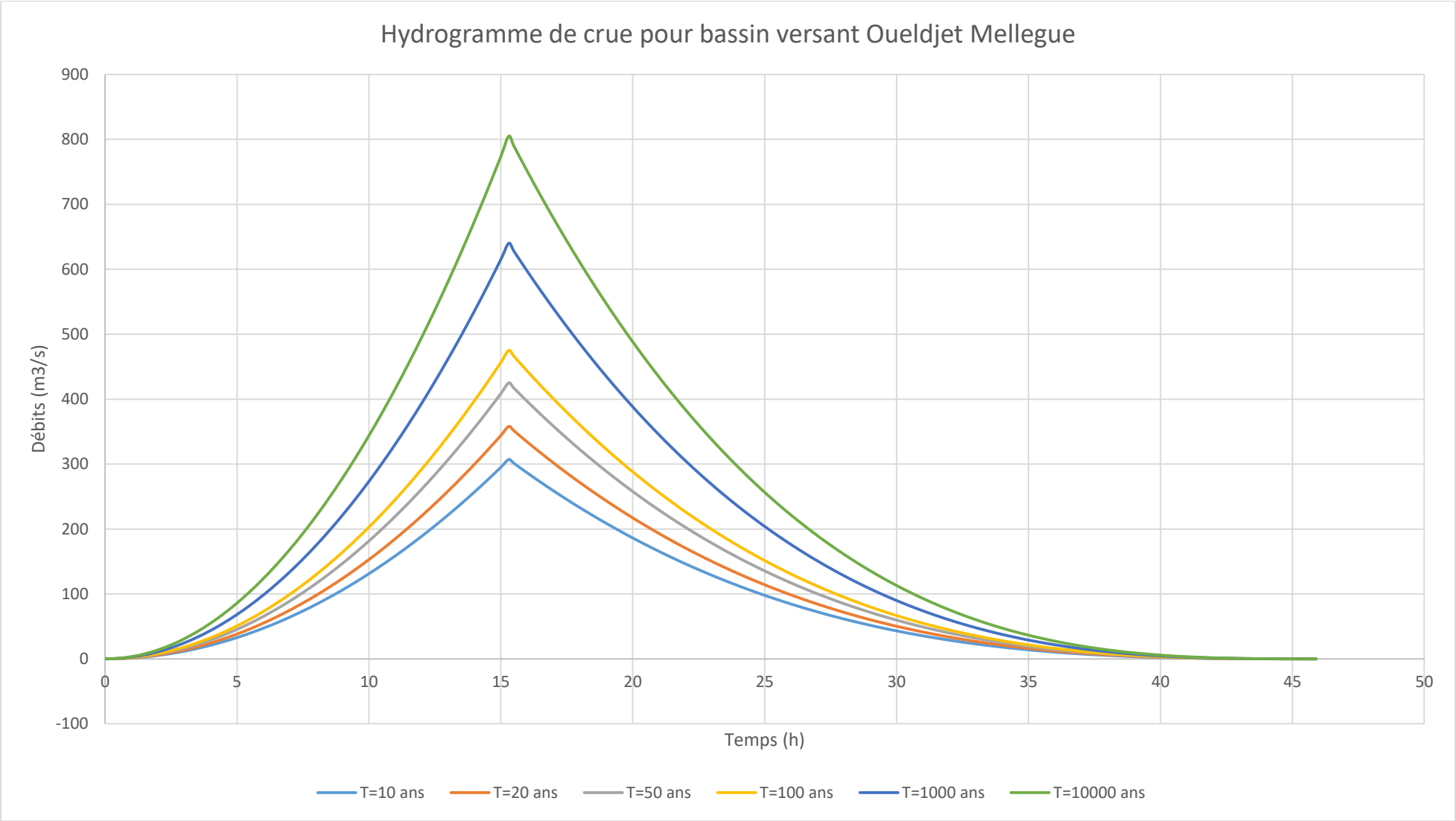


Figure III. 18 : Hydrogramme de crue probable pour le bassin versant Ouldjet Mellegue

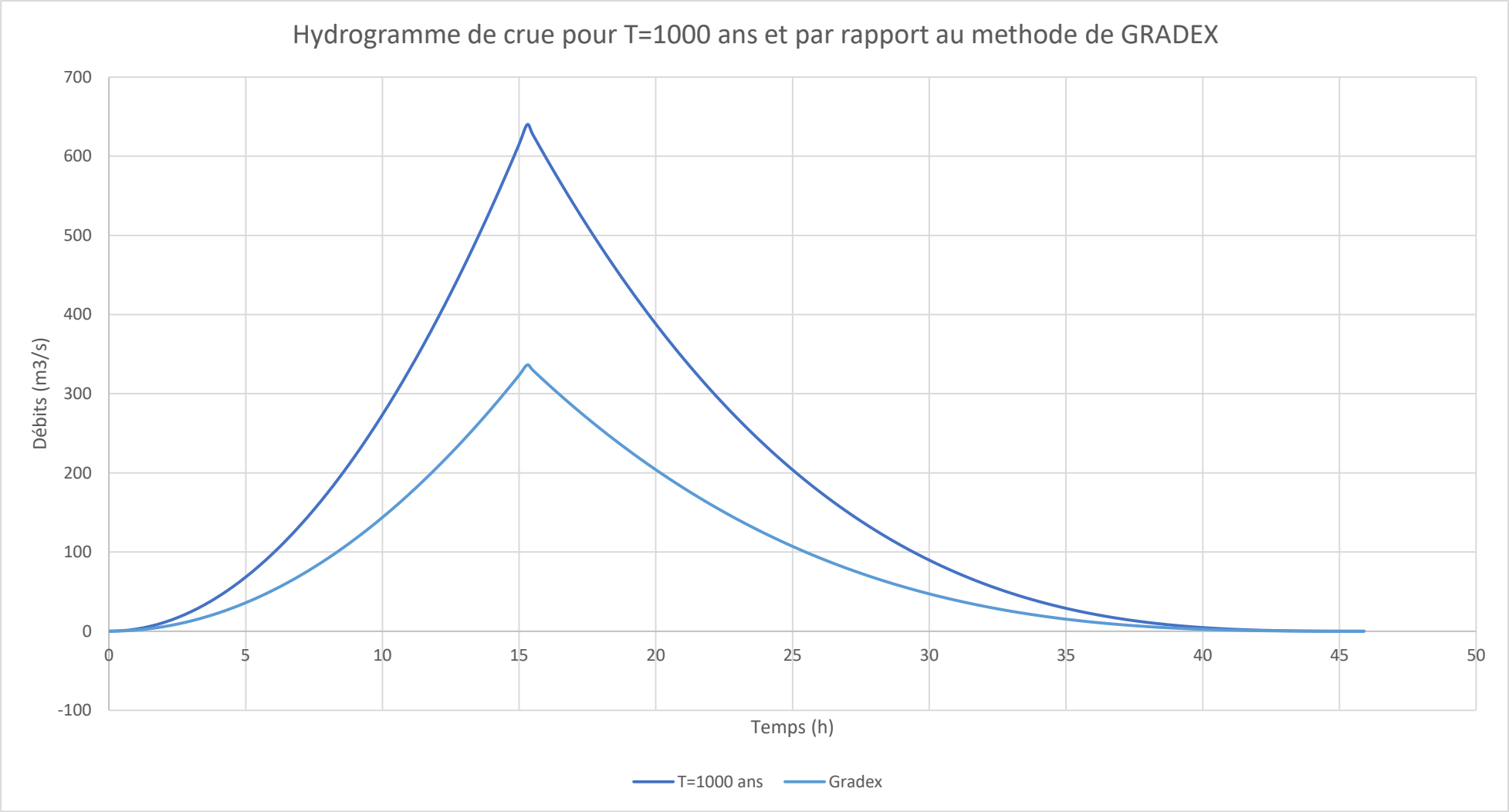


Figure III. 19 : Comparaison entre l'hydrogramme de crue de débits 1000 ans pour la station d'Ouenza et par méthode de GRADEX

III.4.4. Choix de crue de projet

La crue du projet est la crue de plus faible fréquence entrant dans la retenue, autrement dit c'est la crue maximale que l'ouvrage doit être capable d'évacuer pour une probabilité donnée. Elle est prise en compte pour déterminer le niveau des plus hautes eaux. Donc la hauteur du barrage, et pour le dimensionnement de l'évacuateur de crues, en intégrant les possibilités du laminage.

Le choix de la période de retour dépend du risque induit par la rupture du barrage. Cependant le risque global est lié aussi à la vulnérabilité de la vallée en aval (occupation de la zone susceptible d'être inondée en cas de rupture).Lorsque le barrage intéresse la sécurité publique, la période de retour ne devra en aucun cas être inférieure à 1000 ans.

Tableau III. 35 : crues de projets recommandé (Source : ANBT)

Catégorie de dommage	Crue de projet recommandé
Elevés : - perte de vie - dommages considérables	10000 ans ou plus
Importants : - pas de pertes de vies - dommages importants	1000 ans ou plus
Faibles : - pas de perte de vies - dommages légers	100 ans ou plus

Nous pouvons, aussi déterminé de la crue de projet en tenant compte des caractéristiques géologiques et hydrologiques du bassin versant (précipitations, superficie, perméabilité…). On doit calculer l'indice global "Ig" qui est lié à tous ces paramètres tels que : Ig = Ia x Id x Ir

Avec Ia: représente des indices mineurs (intensité des crues et les difficultés topo graphiques).

Id : représente la somme des indices des difficultés géologiques et géotechniques.

Ir : représente les risques.

- ✓ Le risque est faible (Ig = 1), on dimensionne l'évacuateur de crues pour une crue centennale.
- ✓ Le risque est moyen (Ig =2), on dimensionne pour la crue centennale en vérifiant avec la crue cinq centennale et parfois millénaire.
- ✓ Le risqué est élevé (Ig=3), la plus petite crue de dimensionnement ne doit en aucun cas être inférieure à la crue millénaire.

Tableau III. 36 : Choix de crue de projet (Source : ANBT)

Le risque	Risque faible	Risque moyenne	Risque important
Hydrologie	Bonne connaissance	Connaissance moyenne	Incertitude
Géologie et géotechnique	Peu ou pas de difficulté	Quelques Difficultés	Difficiles
Risque ou non de rupture	Faible	Moyen	Important
La crue de projet	Qmax(1%)+revanche	Qmax (1%) +revanche majorée avec vérification pour Qmax *(0.1%) et Qmax (0.2%)*	Qmax (0.1%)

Conclusion III.1 : pour notre cas, les études géologiques et géotechniques montrent que la difficulté est faible et comme on n'a pas le risque de pertes de vies en aval de l'ouvrage, seulement le risque de dommage (les connaissances hydrologiques paraissent moyennes). Pour cela on adopte pour un risque (Ig=2). Donc on adopte pour une crue de projet de période de retour T=1000 ans.

Comme j'ai annoncé au précèdent (résultats des mesures du bassin versant Ouenza qui est représenté par la station d'Ouenza et qui inclut le bassin versant Ouldjet Mellegue). On peut remarquer d'après le tableau (III.29) et graphe de comparaison entre l'hydrogramme de crue de la station Ouenza et par la méthode de GRADEX (Figure III.22) pour le site d'Ouldjet Mellegue que, il y a une différence entre les débits de crue pour la période de retour T=1000 ans, et sa reflet aux incertitudes entre les résultats d'observation et par probabilité. Alors, puisque le bassin Ouldjet Mellegue forme une partie du bassin versant Ouenza et pour éviter le risque de l'endommagement de l'ouvrage (éviter les évènements extrêmes) et pour assurer plus de sécurité on adopte pour la crue de projet déterminer par la station d'Ouenza pour T=1000 ans

Crue de projet → Q1000 ans= 640 m3/s

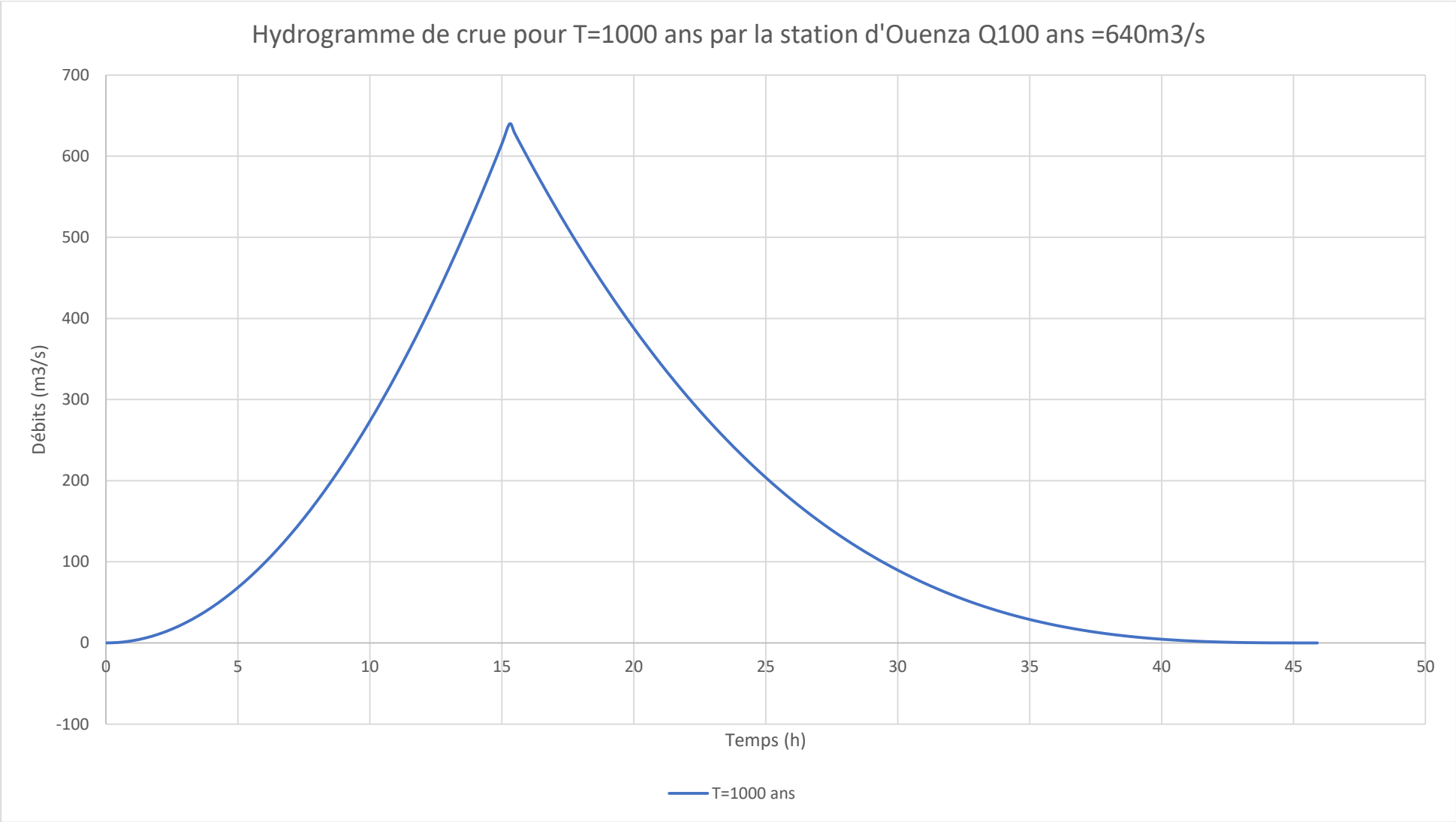


Figure III. 20 : Hydrogramme de crue de projet

III.4.5. Choix de crue de chantier

La crue présente l'une des phases des régimes d'un cours d'eau, elle se caractérise par des débits et des niveaux d'eaux élevés, les crues résultent de la fonte des neiges et à partir d'averses des pluies intenses. Pour dimensionner l'ouvrage de dérivation, il faut faire un choix du niveau de protection que l'on veut accorder au chantier contre les crues, le choix de la crue dépend du degré de risque admis. La protection contre la crue est obtenue par un amortissement de celle-ci par un batardeau tandis que l'ouvrage de dérivation proprement dit n'est dimensionné que pour une fraction de débit de pointe de la crue. Dans notre pays, l'ouvrage de dérivation est souvent dimensionné contre les crues dont la période de retour varie entre 10 et 50 ans.
Pour notre cas et suivants les résultats obtenus, on adopte pour une crue de chantier de période de retour T=50 ans.
Et comme j'ai motionné avant que nous avants pris les résultats de la station d'Ouenza pour éviter le risque et pour plus de sécurité alors on a :

Crue de chantier → Q50 ans= 425 m3/s

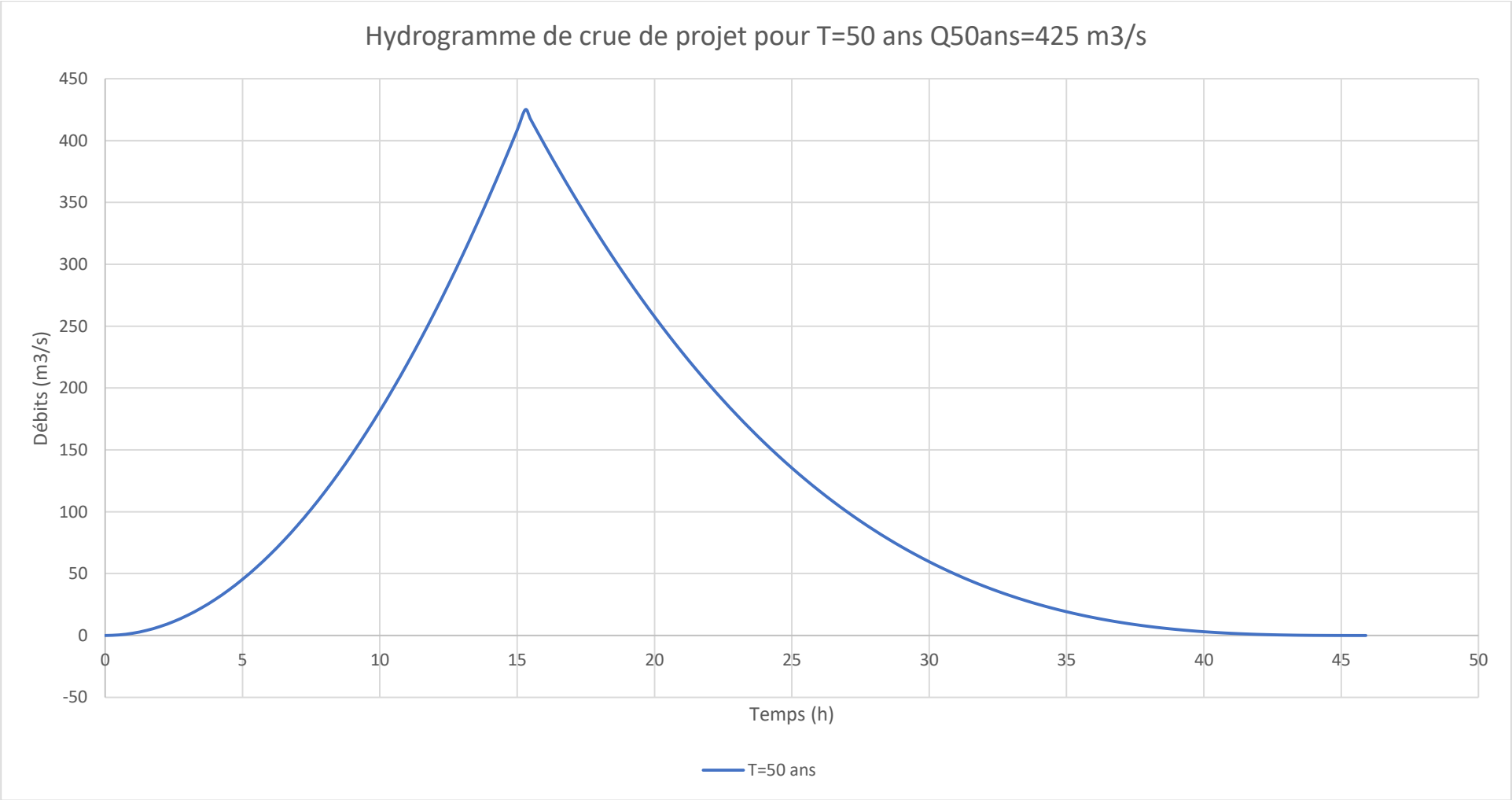


Figure III. 21 : Hydrogramme de crue de chantier

III.5. Régularisation

L'étude de régularisation pour le barrage Ouldjet Mellegue a pour but de la détermination du volume d'eau qui correspond à la variation de la hauteur de barrage, c'est-à-dire déterminer la capacité optimum de la retenue afin de la satisfaction des besoins avec moins de risques.
Il existe deux types de régularisation :

- ✓ La régularisation saisonnière : est utilisée lorsque les apports sont supérieurs à la demande.
- ✓ La régularisation interannuelle : est utilisée lorsque les apports sont inférieurs à la consommation. Dans ce cas de figure, les eaux des saisons humides sont stockées pour être distribuer lors des saisons sèches.

Pour notre étude, ces deux types seront étudiés.

Les paramètres générant le calcul de la régularisation sont :

- ✓ La répartition mensuelle de l'apport (A 80% Mm3).
- ✓ La répartition mensuelle de la demande en eau.
- ✓ La répartition mensuelle des infiltrations et d'évaporation.
- ✓ Les courbes caractéristiques de la retenue.

III.5.1. Répartition mensuelle d'apports 80%

La répartition de l'apport 80% est déjà déterminer au niveau de sous-titre

III.5.1.1. Apports fréquentielle.

Dans le tableau ci-dessous on a la rémartition mensuelle et annuelle d'apports 80%.

Tableau III. 37 : Répartition mensuelle de l'apport annuelle 80%

Les mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Janv	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout	Apport annuelle
Apports 80%	1.74	2.95	13.99	2.89	22.01	5.84	1.46	9.06	0.61	0.88	1.07	0.49	62.99
Pour-centage %	2.76	4.67	22.19	4.58	34.91	9.26	2.31	14.37	0.96	1.39	1.69	0.77	100

II.5.2. Répartition mensuelle de la demande

Pour la répartition de la demande en eau du barrage Ouldjet Mellegue (on a les demandes pour l'agriculture) est suivants les données de l'ANBT, sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau III. 38 : Répartition mensuelle de la demande (Source : ANBT)

Les mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Janv	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout	annuelle
Demande U80%	2.27	0	0	0	0	0	0	0.5	2.86	3.28	4.12	4.28	17.31
Pourcentage %	13.19	0	0	0	0	0	0	2.88	16.52	18.9	23.8	24.7	100

III.5.3. Courbe « Hauteur-Capacité-Surface »

C'est un paramètre très important dans l'étude d'un barrage car elle permet par simple lecture de la courbe de connaître non seulement la valeur du volume d'eau en fonction de l'altitude, mais aussi celle de la surface inondée.
L'approximation des volumes a été faite selon l'expression suivante :

$$\Delta V_i = \frac{S_i + S_{i+1}}{2} \times \Delta h \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(III.49)}$$

Avec ΔVi: Le volume élémentaire compris entre de courbes de niveaux successives (Mm3).
ΔH: La différence d'altitude entre les deux courbes de niveaux successives.
Si, Si+1: Surface du plan d'eau correspondante aux courbes de niveaux hi, hi+1 respect. ($m2$).

Et on a $$\Delta V_1 = \frac{2}{3} \times S_{moy} \times \Delta h \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(III.50)}$$

Pour cela en considère le tableau suivant d'après les données de l'ANBT et les calculs effectuées qui correspond à la variation du volume de l'eau et la surface suivant la hauteur.

Tableau III. 39 : surface et volume en fonction de la hauteur

Cote (m NGA)	Hauteur (m)	Superficie (Km2)	Surface moyenne (Km2)	Volume (hm3)	Volume cumulé (hm3)	Surface cumulé (Km2)
531	0	0		0	0	0
535	4	0,028	0.014	0.056	0.056	0.028
540	5	0,187	0.107	0.535	0.591	0.215
545	5	0,608	0.397	1.985	2.576	0.823
550	5	1,211	0.909	4.545	7.121	2.034
555	5	1,524	1.367	6.835	13.956	3.558
560	5	2,229	1.876	9.38	23.336	5.787
565	5	2,727	2.478	12.39	35.726	8.514
570	5	3,277	3.002	15.01	50.736	11.791
575	5	3,735	3.506	17.53	68.266	15.526
580	5	3,748	3.741	18.705	86.971	19.274
585	5	4,090	3.919	19.595	106.566	23.364
590	5	4,905	4.497	22.485	129.051	28.269
595	5	5,767	5.336	26.68	155.731	34.036
600	5	6,266	6.016	30.08	186.411	40.302
605	5	6,859	6.562	32.81	219.221	47.161
610	5	7,733	7.296	36.48	255.701	54.894
615	5	8,309	8.021	40.105	295.806	63.203
620	5	8,573	8.441	42.205	338.011	71.776
625	5	8,798	8.685	43.425	381.436	80.574
630	5	9,628	9.213	46.065	427.501	90.202
635	5	10,109	9.868	49.34	476.841	100.311
640	5	10,678	10.393	51.965	528.806	110.989
645	5	11,379	11.028	55.14	583.946	122.368

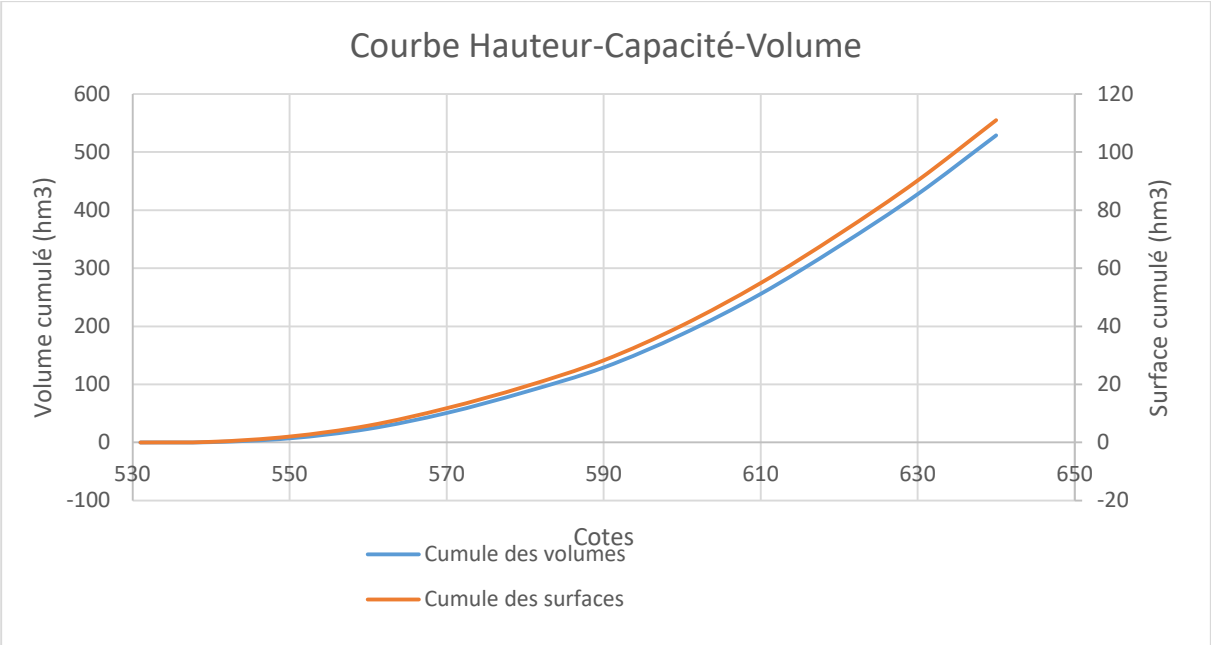


Figure III. 22 : Courbe Hauteur-Capacité-Volume

III.5.4. Calcule du volume utile

Pour calculer le volume utile du barrage, nous avons besoin de :

- ✓ L'apport annuel A80%.
- ✓ La consommation totale.
- ✓ Le volume mort de la retenue.

Le calcul de la régularisation qui est effectué en utilisant "la méthode du bilan d'eau".

- ✓ Détermination de la période à bonne hydraulicité.
- ✓ Détermination des périodes excédentaires et déficitaires sur un cycle hydrologique.
- ✓ Calcul des volumes excédentaires et déficitaires "Vs" et "Vd".

Telle que : $V_s = W - U \quad avec \quad W > U$ (+)…… (III.51)

$V_d = W - U \quad avec \quad W < U$ (-)…….... (III.52)

- ✓ Détermination du type de fonctionnement de la retenue et calcul du volume utile.
- ✓ Calcul du volume à évacuer « S ».

La période de bonne hydraulicité est celle du mois d'Octobre jusqu'au mois d'Avril (pour notre cas). Les calculs se font comme suit :

$$V_{rf} = V_{ri} + (W - U) \text{…….. (III.53)}$$

Avec Vrf: Volume de remplissage final.
Vri: Volume de remplissage initial.
W: Volume de l'écoulement (apport ou offre).
U: Volume de la consommation (Restitution ou demande).

III.5.4.1. Régularisation saisonnière sans tenir compte des pertes

La capacité utile détermine le niveau de remplissage possible de la retenue dans les conditions normales d'exploitation c'est-à-dire la cote au niveau normale de la retenue NNR. L'alternance de la période de remplissage ou de restitution s'appelle temps de fonctionnement, à ce dernier s'ajoutent les consignes d'exploitation la première et la deuxième.

a. Première consigne d'exploitation

Consiste à remplir le barrage jusqu'au NNR lors des crues et à restituer après. L'excédent d'eau est déversé par l'évacuateur de surface. On se fixe le volume de remplissage initial et on détermine le remplissage final pour chaque mois en tenant compte. Du niveau normal de la retenue NNR et du niveau du volume mort NVM que l'on ne doit pas dépasser.

b. Deuxième consigne d'exploitation

Consiste à faire des évacuations à vide par l'évacuateur de fond, remplir et ensuite restituer au consommateur.

Tableau III. 40 : Régularisation saisonnière sans tenir compte des pertes (Mm3)

Mois	W 80% Mm3	U 80% Mm3	W-U Mm3	1er consigne			2eme consigne		
				Vrf Mm3	Vri Mm3	S Mm3	Vrf Mm3	Vri Mm3	S Mm3
					21.37			21.37	
Oct	2.95	0	2.95	24.32	24.32		24.32	21.37	2.95
Nov	13.99	0	13.99	38.31	33.39	4.92	35.36	21.37	13.99
Dec	2.89	0	2.89	36.28	33.39	2.89	24.26	21.37	2.89
Janv	22.01	0	22.01	55..4	33.39	22.01	43.38	21.37	22.01
Fev	5.84	0	5.84	39.23	33.39	5.84	27.21	23.37	3.84
Mars	1.46	0	1.46	34.85	33.39	1.46	24.83	24.83	
Avr	9.06	0.5	8.56	41.95	33.39	8.56	33.39	33.39	
Mai	0.61	2.86	-2.25	31.14	31.14		31.14	31.14	
Juin	0.88	3.28	-2.4	28.74	28.74		28.74	28.74	
Juill	1.07	4.12	-3.05	25.69	25.69		25.69	25.69	
Aout	0.49	4.28	-3.79	21.9	21.9		21.9	21.9	
Sep	1.74	2.27	-0.53	21.37	21.37		21.37	21.37	
totale	62.99	17.31	45.68			45.68			45.68

De tableau on a : Vs=57.7 Mm3 et Vd=12.02 Mm3

On a : Vs>Vd → alors la retenue fonctionne a un seule temps

Donc Vu=Vd → Vu=12.02 Mm3

* Le volume normal de la retenue sera :

$$V_{NNR}=Vu + Vm \quad \text{(III.54)}$$

$$V_{NNR}=12.02+21.37$$

V_{NNR}=33.39 Mm3

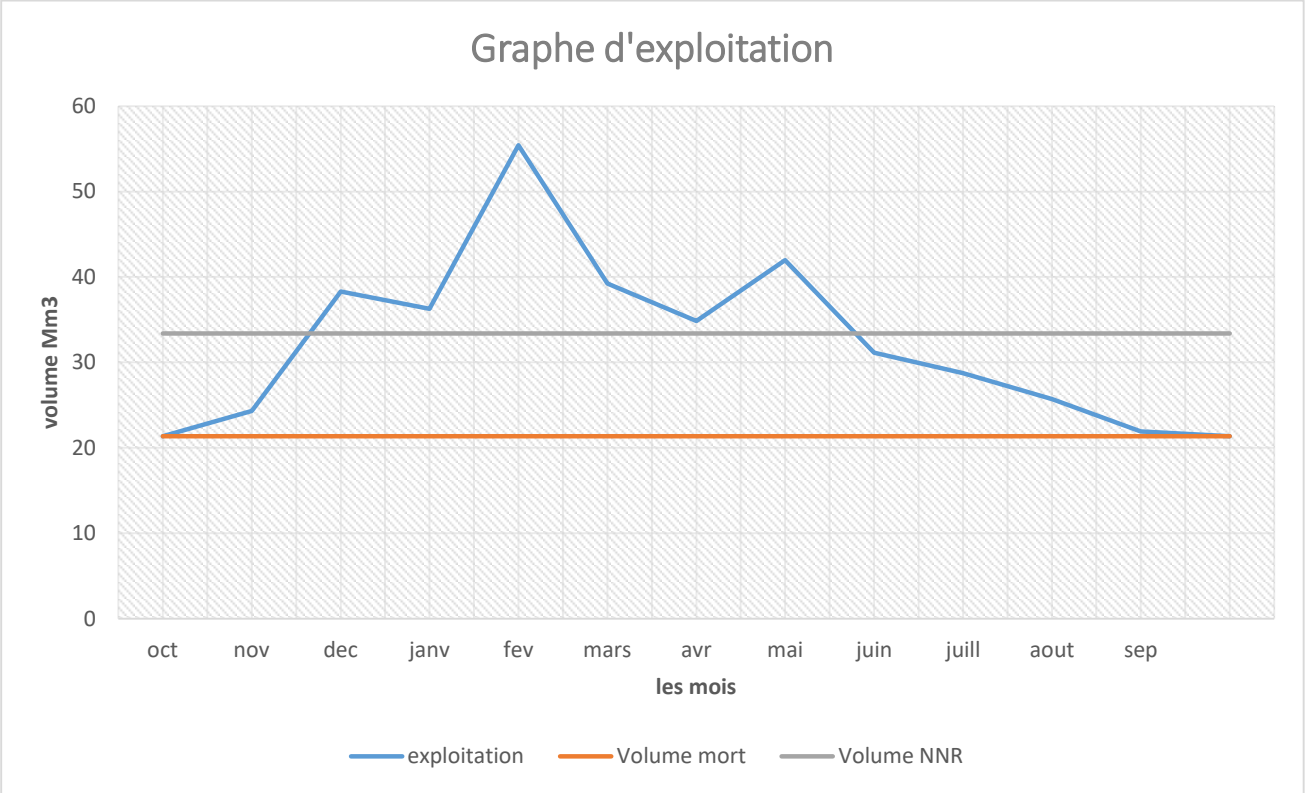


Figure III. 23 : Graphe d'exploitation du barrage

III.5.4.2. Régularisation saisonnière en tenant compte des pertes

Il existe deux types de perte qui caractérise la retenue :

- ✓ Les pertes par évaporation.
- ✓ Les pertes par infiltration.

a. Pertes par évaporation

Suivant la relation suivante :

$$V_{ep} = S_{moy} \times E_s \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(III.55)}$$

Avec Vep: Volume perdu à cause de l'évaporation.
Es: Évaporation mensuelle (mm).
Smoy: Surface du plan d'eau correspondant au volume moyen (Vmoy).

b. Pertes par infiltration

Suivant la relation suivante :

$$V_{inf.mens} = \frac{\delta \times V_{moy}}{100} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(III.56)}$$

Avec Vinf: Volume perdu à cause de l'infiltration
Vmoy: Le volume moyen

$$V_{moy} = \frac{V_{rf}+V_{rf+1}}{2} \text{..... (III.57)}$$

δ: Coefficient qui dépend des conditions hydrogéologiques de la cuvette

Tableau III. 41 : les valeurs de coefficient δ (Source : ANBT)

Conditions hydro-géologiques	Hauteur d'infiltration pendant une année (cm)	% de volume moyen	
		Année	Mois
Sol à faible perméa-bilité	0 à 50	10 à 20	0.5 à 1.0
Sol à perméabilité moyenne	50 à 100	10 à 20	1.0 à 1.5
Sol à forte perméabi-lité	>100 à 200	>20 à 40	>1.5 à 3.0

*Pour notre cas on a un sol a faible perméabilité donc : δ=0.5

On effectue le calcule suivant la procédure suivante :

- ✓ La somme des pertes donne la perte totale

II=Vevap+Vinf ..... (III.58)

- ✓ La consommation U80%+II=U' d'où la consommation totale.

Le calcule totale se présente dans le tableau suivant :

Tableau III. 42 : Régularisation saisonnière en tenir compte des pertes en (Mm3)

mois	W Mm3	U Mm3	V moy Mm3	S moy Km2	V eva Mm3	V inf Mm3	π= V eva + V inf	W-π-U
oct	2,95	0	22,845	4,569	0,19	0,01	0.20	2.75
nov	13,99	0	31,315	6,178	0,06	0,02	0.07	13.92
dec	2,89	0	37,295	7,459	0,06	0,018	0.07	2.82
janv	22,01	0	45,84	9,168	0,82	0,022	0.84	21.17
fev	5,84	0	47,315	9,463	0,09	0,023	0.12	5.72
mars	1,46	0	37,04	7,408	0,31	0,018	0.32	1.13
avr	9,06	0,5	38,4	7,68	0,56	0,0192	0.57	7.98
mai	0,61	2,86	36,545	7,309	0,801	0,018	0,81	-2,39
juin	0,88	3,28	29,94	5,8	0,80	0,014	0,81	-2,44
juill	1,07	4,12	27,215	5,665	0,91	0,013	0,92	-3,27
aout	0,49	4,28	23,795	4,759	0,65	0,011	0,66	-3,55
sep	1,74	2,27	21,635	4,327	0,38	0,010	0,49	-0,93
totale	62.99	17,31	399,18	79,785	5,68	0,19	5.84	42.86

Remarque II.9 : d'après les résultats obtenus dans le tableau III.41 les apports restent supérieurs aux besoins avec pertes et on a :

$$Vs>Vd \rightarrow Vd=Vu=12.58 \text{ Mm3}$$

Avec : $$\xi = \frac{V'u-Vu}{V'u} \quad \text{……..…. (III.59)}$$

$$\xi = \frac{12.58-12.02}{12.58} \rightarrow \xi = 4.45\% < 5\% \qquad \text{alors condition vérifier}$$

Conclusion III.2 : d'après les résultats et la remarque alors on arrête à la régularisation saisonnière, avec un volume NNR égale :

$$V_{NNR}=12.58+21.37 \rightarrow \boldsymbol{V_{NNR}=33.95 \text{ Mm3}}$$

On a volume NNR= 33.95 Mm3 → $\boldsymbol{Cote_{NNR}}$**= 564.28 m**

Tableau III. 43 : Résultats d'étude de régularisation

Désignation	**Unité**	**Valeur**
Cote NVR	m NGA	558.96
Cote NNR	m NGA	564.28
Volume mort	Mm^3	21.37
Volume utile	Mm^3	12.58
Volume NNR	Mm^3	33.95

Ces résultats nous permettaient de déterminer la hauteur du barrage en incluant la hauteur pour le volume forcé et la revanche ainsi la détermination de la ligne d'eau de l'évacuateur après avoir fait le laminage.

III.6. Laminage des crues

Le calcul du laminage des crues permet de réduire les dimensions et le coût de l'ouvrage d'évacuation, sans toucher la sécurité globale de l'aménagement. Ce type de calcul optimise la capacité de stockage momentané de la retenue et le débit progressif des déversements en fonction de l'apport entrant de la crue, cette relation est présentée comme suit :

$$Qdt = qdt + Sdh \text{……} \quad \text{(III.60)}$$

Avec 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.

On a le débit cumulé a un instant t égale à :

$$Q - q = S\frac{dh}{dt} \text{……..} \quad \text{(III.61)}$$

Avec $\frac{dh}{dt}$: vitesse de remplissage ou de monté de la retenue.

Il existe plusieurs procèdent 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.

III.6.1. Méthode de MUSKINGUM (Fread, Hsu 1993)

III.6.1.1. 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 :

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{Q^2}{A}\right) + gA\frac{\partial y}{\partial x} = gA\left(S_0 - S_f\right) + q\frac{Q}{A} \text{.....} \quad \text{(III.62)}$$

L'équation de continuité ou de conservation de la masse est la suivante :

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \text{……..…..} \quad \text{(III.63)}$$

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 sorti. La signification des cinq (5) termes de la relation III.62 est :

- ✓ 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 2 m/s a 3 m/s en une heure, ce terme vaut : (2+3)/3600= 0.00138 m/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.

- ✓ Le terme 2 représente l'accélération convective qui peut exister si on a un changement dans la géométrie (élargissement, rétrécissement). Si on n'a pas changement de section ce terme peut être négligé.
- ✓ Le terme 3 traduit le bilan des forces de pression dues au changement de la profondeur y avec l'abscisse x.
- ✓ Le terme 4 exprime la différence entre les forces de gravité ($S0$) et les forces de frottement (Sf).
- ✓ 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 deux équations précédentes (III.62 et III.63) est faisable mais pose parfois des difficultés d'ordre pratiquent et numérique (Cunge, Wegner 1964). On a ainsi souvent cherché pour rendre ce système compréhensif selon les applications et les contextes.
D'après plusieurs recherches (Chollet, Cunge 1980), les trois premiers termes de l'équation III.62 peuvent être négligés pour la plupart des crues dans les rivières, si bien que l'équation III.62 devient en l'absence d'apport de débit latéral :

$$S_0 = S_f \text{……..…} \quad \text{(III.64)}$$

L'équation de continuité (l'équation III.61) peut être mise sous la forme suivante :

$$I - O = \frac{dS}{dt} \text{…….…} \quad \text{(III.65)}$$

Avec I : (INPUT ou Inflow) désigne le débit d'entrée Qe.
O : (OUTPUT ou Outflow) désigne le débit de sortie Qs.
S : Désigne l'emmagasinement d'eau dans le tronçon.

L'équation III.65 exprime tout simplement le principe de conservation de la masse. Le taux de variation de l'emmagasinement est égal à la différence entre les débits entrant et sortant.

III.6.1.2. Méthode de MUSKINGUM

Après intégration entre deux instants assez rapprochés t1 et t2, l'équation III.65 s'écrit :

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_{t1}^{t2} Idt - \int_{t1}^{t2} Odt \text{……..…..} \quad \text{(III.66)}$$

Pour un petit intervalle,$\Delta t = t2 - t1$ on a :

$$S_2 - S_1 = \left(\frac{I1+I2}{2} - \frac{O1+O2}{2}\right)\Delta t \text{……....} \quad \text{(III.67)}$$

Pour faire la résolution de ce problème il faut déterminer O1 et O2 en connaissant I1 et I2, L'équation III.67 ne peut être utile que si l'on dispose d'une fonction d'emmagasinement pour déterminer $S1\ et\ S2$.

III.6.1.3. Principe de la méthode

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 que 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.

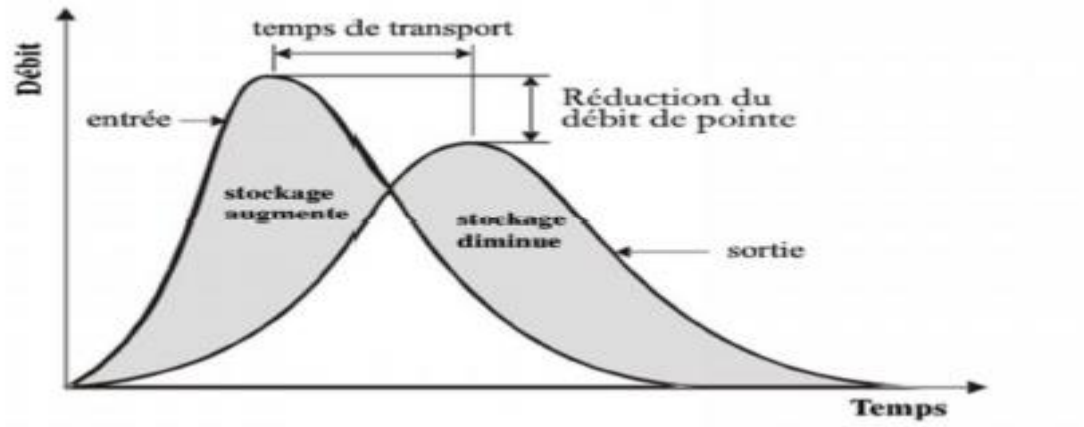


Figure III. 24 : différence de temps et de quantité entre débit d'entré et de sortie du barrage (Ngo 2014; Zhang, Shyy, Sastry 2007)

Pour la traduction du bilan d'eau, l'équation III-67 peut être écrire :

$$2\frac{S_2}{\Delta t} + O_2 = I_1 + I_2 + 2\frac{S_1}{\Delta t} + O_1 - 2O_1 \quad \text{..... (III-68)}$$

Cette équation permet de résoudre partiellement le problème car elle permet de calculer la quantité inconnue [$2S2/\Delta t+O2$] 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 $I1\ et\ I2$, 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. $S1\ et\ O1$ sont connus car ils constituent les conditions initiales qui prévalent avant le début de la crue. Au cours de la crue, $S1\ et\ O1$ sont connus à cause récursivité des calculs. Le stockage et le débit de sortie au début d'un intervalle sont calculés à la fin de l'intervalle précédent. Mais il reste comment calculer ($2\frac{S_2}{\Delta t} + O_2$)

Il est possible de construire pour chaque réservoir sa propre courbe caractéristique $2S\Delta t+O=(O)$. 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. Le stockage S et le débit de sortie dépendent de la profondeur h dans le réservoir. On pose arbitrairement des valeurs pour h pour couvrir adéquatement les plages de variation en période de crue pour permettre de réaliser le tableau suivant :

Tableau III. 44 : Valeurs de h et les plages de variation en période de crue

$h_1\ S_1O_1$	$2S1/\Delta t+O1$
$h_2S_2O_2$	$2S2/\Delta t+O2$
$h_3S_3O_3$	$2S3/\Delta t+O3$
… …. ….	
$h_nS_nO_n$	$2Sn/\Delta t+On$

On a d'après le tableau, les deux dernières colonnes permettre de tracé la droite :

$$f(O) = \frac{2S}{\Delta t} + O \text{……..…. (III.69)}$$

III.6.1.4. Calcule le débit de sortie

La quantité de l'eau excédentaire peut être évacuée du barrage suivant de grandes familles :

- ✓ Evacuation de l'eau a surface libre par des déversoirs, alors le débit sorti peut être calculé par la relation suivante :

$$Q=C\times B\times H^{1.5} = C\times B\times (h-z)^{(3/2)} \text{……..….. (III.70)}$$

Avec C : Constante qui tient compte de la forme du déversoir.
B: La largeur de déversoir (m).
H: La charge au-dessus de la crête z en avant du déversoir (m).
h: La profondeur d'eau en amont du déversoir (m).

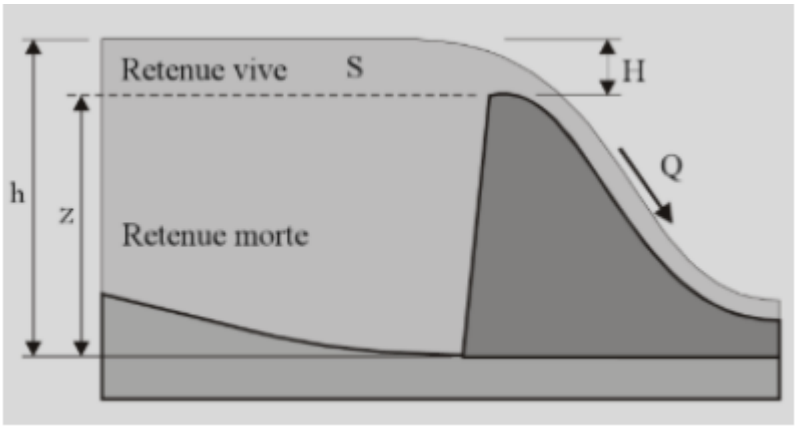


Figure III. 25 : barrage déversoir (évacuation a surface libre)

- ✓ Evacuation par le fond du barrage suivant un orifice ou une vanne suivant la relation :

$$Q = mA\sqrt{2gh} \text{…….. (III.71)}$$

Avec m: Constante de débit.
A: La section d'écoulement. (Km2)

h: La hauteur d'eau à partir du centre de la section d'écoulement jusqu'à la surface libre (m).

III.6.1.5. Calcule du volume stocké

Lorsqu'on a la section du réservoir reste constante, alors le volume d'eau peut-être calculer par la relation :

$$S = A \times h \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(III.72)}$$

Avec A : surface du plan d'eau (Km2).
h : la hauteur d'eau (m).

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 :

$$S = a_0 + a_1 h + a_2 h^2 \ldots\ldots a_n h^n \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(III.73)}$$

Les coefficients $a0$, $a1$, $a2$, $a3 \ldots an$, qui sont propres à chaque réservoir, doivent être déterminés à partir des relevés géodésiques sur le fond et les berges. La connaissance de la hauteur h permettait de déterminer le volume stocké pour une section constante ou variable.

a. Application de la méthode de Muskingum pour une largeur de déversoir b=20m

Le débit de sortie est calculé par la relation suivante :

$$Q=43.408\times H\text{^}(3/2) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(III.74)}$$

Pour m=0.49, b=20m on a :

Les surfaces inondées et les volumes stockés dans la retenue peuvent être modélisés par les équations suivantes :

- **Courbe Hauteur-Capacité**

  L'équation de cette courbe est :

$$Y=6E\text{-}05X\text{^}3\text{-}0.0533X\text{^}2+5.1242X+3283.8$$

$$R\text{^}2=0.9999$$

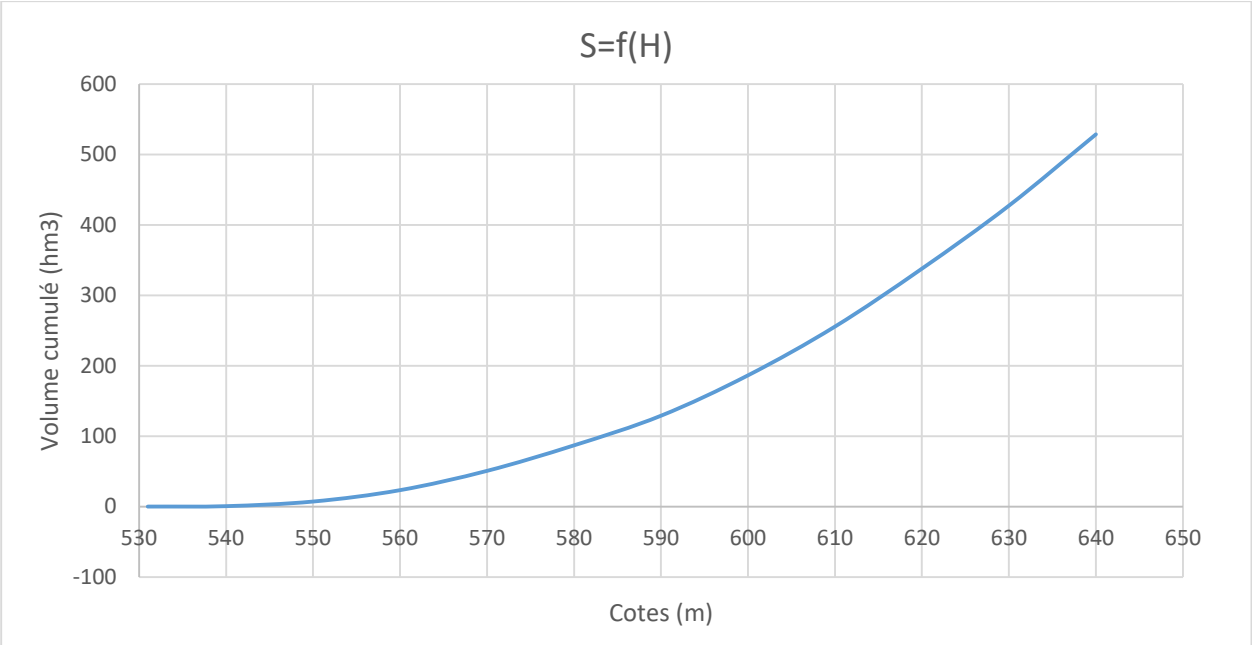


Figure III. 26 : Courbe Hauteur-Capacité

- **Courbe Hauteur-Surface**

  L'équation de cette courbe est :

Y=1E-05X^3-0.0087X^2-0.1158X+871.96
R^2=0.9999

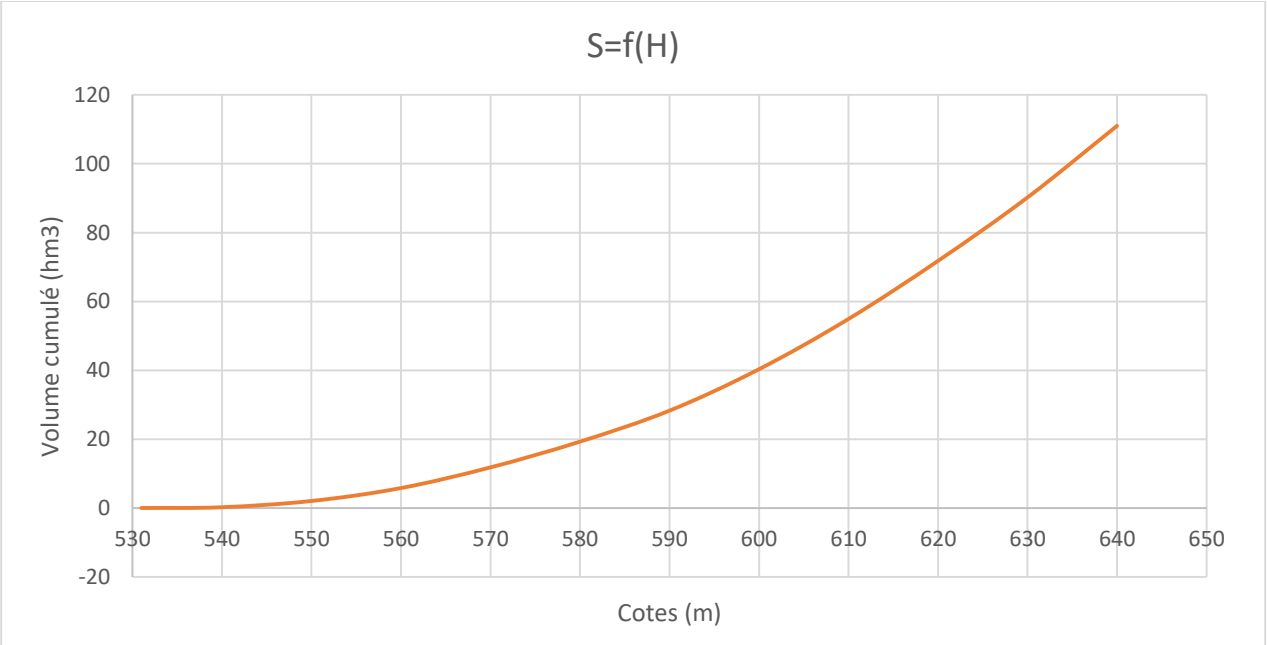


Figure III. 27 : Courbe Hauteur-Surface

✓ Comme première étape de calcule, on détermine la courbe de la relation $(Q_s)=2S/\Delta t+Q_s$.

- ✓ Initialement le débit de sortie Q_s=0 $m3/s$ et la hauteur H=0 m, le volume stocké V_s=0 $m3$.

- ✓ On a la valeur maximale de débit et Q1000 ans=640 m3/s. donc

640=43.408×H^ (3/2)

H=6.013m.

- ✓ Alors on varie la hauteur de H=0m jusqu'au H=3.788m et on obtient la variation du débit. Les résultats sont dans le tableau suivant :

Tableau III. 45 : Résultat de calcul de la Courbe caractéristique du barrage pour b=20 m

H (m)	Cote m NGA	Qs (m3/s)	Surface (Km2)	Volume S (Mm3)	$\frac{2S}{\Delta t} + Q_s$
0	564.28	0	2.655		0
0.5	564.78	15.347	2.705	1.3525	1518.12
1	565.28	43.408	2.757	2.757	3106.741
1.5	565.78	79.746	2.813	4.2195	4768.079
2	566.28	122.778	2.868	5.736	6496.111
2.5	566.78	171.587	2.922	7.305	8288.253
3	567.28	255.557	2.977	8.931	10178.890
3.5	567.78	284.235	3.032	10.612	12075.346
4	568.28	347.268	3.087	12.348	14067.268
4.5	568.78	414.375	3.142	14.139	16124.375
5	569.28	485.322	3.197	15.985	18246.433
5.5	569.78	559.911	3.252	17.886	20433.244
6.013	570.293	640	3.303	19.860	22653.333

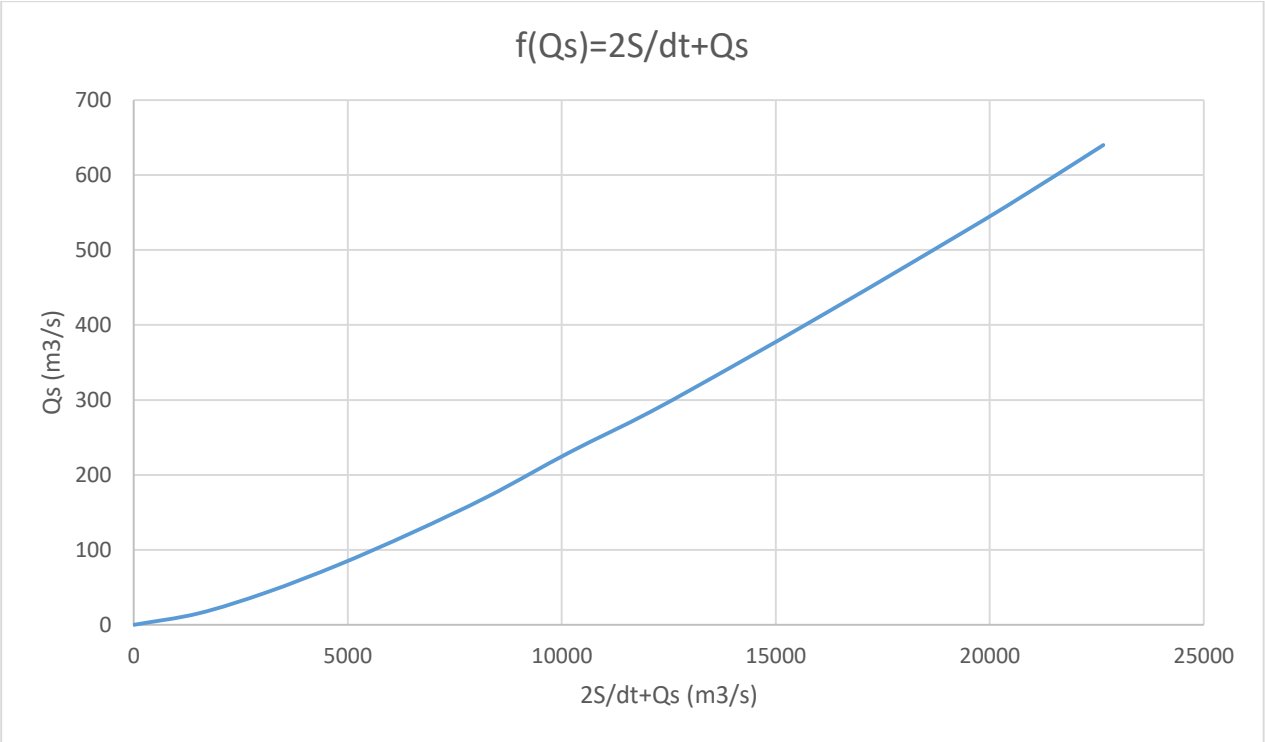


Figure III. 28 : Courbe caractéristique du barrage pour b=20 m

L'équation de la courbe caractéristique du barrage pour b=20 m est :

Y=-2E-11*X^3+1E-06*X^2+0.015*X-6.9442

En utilisant la courbe caractéristique du barrage et l'équation :

$$\frac{2S2}{\Delta t} + O2 = I1 + I2 + \frac{2S1}{\Delta t} + O1 - 2O \quad \text{.....(III.75)}$$

On détermine l'hydrogramme de crue pour le débit de sortie :

Tableau III. 46 : Calcule de l'hydrogramme de sortie pour b=20m

Temps (h)	I (m3/s)	I1+I2 (m3/s)	2S/ΔT+Qs	(2S/ΔT+Qs)-2Qs	Qs (m3/s)
0	0	0	0	0	0
0.5	0,68	0.68	0,68	0,68	0
1	2,73	3.41	4,10	4,10	0
1.5	6,15	8.88	12,98	12,98	0
2	10,93	17.08	30,07	30,07	0

2.5	17,08	28,02	58,09	58,09	0
3	24,60	41,69	99,79	99,79	0
3.5	33,49	58,09	157,88	157,88	0
4	43,74	77,23	235,12	235,12	0
4.5	55,36	99,10	334,23	334,23	0
5	68,34	123,71	457,94	457,67	0,13
5.5	82,70	151,05	608,73	603,62	2,55
6	98,42	181,12	784,75	755,11	4,81
6.5	115,51	213,93	969,05	952,02	8,51
7	133,96	249,47	1201,50	1176,52	12,48
7.5	153,78	287,75	1464,28	1430,07	17,10
8	174,97	328,76	1758,84	1713,99	22,42
8.5	197,53	372,50	2086,50	2029,45	28,52
9	221,45	418,98	2448,43	2377,46	35,48
9.5	246,74	468,19	2845,66	2758,91	43,37
10	273,39	520,14	3279,05	3174,47	52,28
10.5	301,42	574,82	3749,29	3624,69	62,29
11	330,81	632,23	4256,93	4109,95	73,48
11.5	361,57	692,38	4802,34	4630,46	85,93
12	393,69	755,26	5385,73	5186,28	99,72
12,5	427,18	820,88	6007,16	5777,34	114,91
13	462,04	889,23	6666,57	6403,42	131,57
13,5	498,26	960,314	7363,74	7064,24	149,75
14	535,86	1034,13	8098,37	7759,38	169,49
14,5	574,82	1110,68	8870,07	8488,41	190,82
15	615,16	1189,96	9678,38	9250,84	213,77
15,5	**640**	1255,14	10505,99	10030,33	237,82
16	627,53	1267,53	11297,86	10775,22	261,32
16,5	597,07	1224,60	11999,82	11434,84	282,49
17	567,61	1164,6	12599,54	11997,95	300,79
17,5	539,14	1106,76	13104,72	12472,02	316,35
18	511,64	1050,79	13522,82	12864,20	329,30
18,5	485,09	996,74	13860,95	13181,28	339,83
19	459,48	944,57	14125,85	13429,63	348,11
19,5	434,78	894,26	14323,90	13615,27	354,31
20	410,98	845,76	14461,04	13743,82	358,611
20,5	388,07	799,06	14543,43	13821,04	361,19
21	366,03	754,10	14575,14	13850,76	**362,19**
21,5	344,83	710,86	14561,62	13838,09	361,76
22	324,47	669,31	14507,40	13787,27	360,06
22,5	304,93	629,41	14416,68	13702,24	357,2

23	286,19	591,13	14293,38	13586,67	353,35
23,5	268,23	554,43	14141,10	13443,93	348,58
24	251,04	519,28	13963,22	13277,17	343,02
24,5	234,61	485,66	13762,83	13089,27	336,77
25	218,90	453,51	13542,79	12882,93	329,92
25,5	203,91	422,82	13305,76	12660,61	322,57
26	189,62	393,54	13054,16	12424,58	314,78
26,5	176,02	365,65	12790,24	12176,93	306,65
27	163,08	339,11	12516,05	11919,58	298,23
27,5	150,79	313,88	12233,52	11654,32	289,60
28	139,14	289,94	11944,26	11382,65	280,80
28,5	128,10	267,25	11649,91	11106,10	271,90
29	117,66	245,77	11351,88	10826,00	262,94
29,5	107,81	225,48	11051,48	10543,54	253,96
30	98,52	206,33	10749,88	10259,85	245,01
30,5	89,78	188,31	10448,16	9975,89	236,13
31	81,57	171,36	10147,26	9692,59	227,33
31,5	73,88	155,46	9848,09	9410,77	218,66
32	66,69	140,58	9551,35	9131,10	210,12
32,5	59,98	126,68	9257,78	8854,26	201,76
33	53,74	113,73	8967,99	8580,84	193,57
33,5	47,94	101,69	8682,53	8311,36	185,58
34	42,58	90,53	8401,89	8046,26	177,81
34,5	37,64	80,22	8126,49	7785,97	170,26
35	33,091	70,73	7856,71	7530,84	162,93
35,5	28,92	62,019	7592,85	7281,12	155,84
36	25,12	54,05	7335,22	7037,22	148,99
36,5	21,67	46,79	7084,02	6799,24	142,39
37	18,55	40,22	6839,47	6567,41	136,02
37,5	15,74	34,29	6601,71	6341,89	129,91
38	13,23	28,98	6370,88	6122,81	124,03
38,5	11,01	24,25	6147,06	5910,25	118,40
39	9,05	20,06	5930,32	5704,30	113,00
39,5	7,33	16,38	5720,69	5504,99	107,84
40	5,85	13,19	5518,19	5312,35	102,91
40,5	4,58	10,44	5322,79	5126,399	98,21
41	3,51	8,10	5134,47	4947,02	93,72
41,5	2,62	6,14	4953,17	4774,25	89,45
42	1,90	4,53	4778,78	4608,00	85,39
42,5	1,32	3,22	4611,23	4448,17	81,52
43	0,87	2,20	4450,3	4294,67	77,85
43,5	0,54	1,42	4296,09	4147,35	74,36
44	0,30	0,85	4148,21	4006,09	71,05

44,5	0,15	0,46	4006,55	3870,71	67,92
45	0,06	0,21	3870,93	3741,04	64,94
45,5	0,01	0,077	3741,12	3616,87	62,12
46	0,00	0,017	3616,89	3497,99	59,45
46,5	0	0,00	3497,99	3378,18	56,90
47	0	0	3378,18	3269,44	54,37
47,5	0	0	3269,44	3165,26	52,08
48	0	0	3165,26	3065,42	49,9
48,5	0	0	3065,42	2969,71	47,85
49	0	0	2969,71	2877,91	45,89
49,5	0	0	2877,91	2789,85	44,03
50	0	0	2789,85	2705,35	42,25
50,5	0	0	2705,35	2624,23	40,55
51	0	0	2624,23	2546,34	38,94
51,5	0	0	2546,34	2396,72	37,40
52	0	0	2396,72	2327,56	34,57
52,5	0	0	2327,56	2261,29	33,13
53	0	0	2261,29	2197,58	31,85
53,5	0	0	2197,58	2136,30	30,63
54	0	0	2136,30	2077,36	29,47
54,5	0	0	2077,36	2020,66	28,35
55	0	0	2020,66	1966,09	27,28
55,5	0	0	1966,09	1913,57	26,26
56	0	0	1913,57	1863,01	25,28

Le calcul de l'hydrogramme laminé pour les déférentes largeurs b de 20 m à est donné dans le tableau suivant :

Tableau III. 47 : Calcule de l'hydrogramme sortant pour différentes largeurs

			Q (m3/s) laminé												
			Hd=6,012	**Hd=5,182**	**Hd=4,588**	**Hd=4,14**	**Hd=3,787**	**Hd=3,50**	**Hd=3,264**	**Hd=3,063**	**Hd=2,890**	**Hd=2,740**	**Hd=2,608**	**Hd=2,491**	**Hd=2,386**
Temps (h)	**I (m3/s)**	**I1+I2 (m3/s)**	**B=20 m**	**B=25 m**	**B=30 m**	**B=35 m**	**B=40 m**	**B=45 m**	**B=50 m**	**B=55 m**	**B=60 m**	**B=65 m**	**B=70 m**	**B=75 m**	**B=80 m**
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,5	0,68	0.68	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	2,73	3.41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,5	6,15	8.88	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	10,93	17.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,02
2,5	17,08	28,02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,39	0,7	0,82
3	24,60	41,69	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,65	1,49	1,83	2,00
3,5	33,49	58,09	0	0	0,33	0,73	0,88	0,95	1,12	1,25	1,69	2,29	3,01	3,39	3,64
4	43,74	77,23	0	0,83	1,56	2,13	2,44	2,70	3,07	3,35	3,87	4,44	5,04	5,49	5,84
4,5	55,36	99,10	0	2,27	3,15	3,93	4,44	4,91	5,54	6,02	6,64	7,19	7,70	8,22	8,70
5	68,34	123,71	0,13	4,09	5,14	6,2	6,94	7,68	8,63	9,32	10,10	10,66	11,10	11,71	12,37
5,5	82,70	151,05	2,55	6,34	7,59	9,01	10,02	11,07	12,43	13,37	14,36	14,95	15,37	16,09	16,97
6	98,42	181,12	4,81	9,10	10,58	12,47	13,7	15,17	17,04	18,25	19,52	20,19	20,68	21,51	22,67
6,5	115,51	213,93	8,51	12,44	14,18	16,66	18,32	20,09	22,57	24,09	25,72	26,52	27,17	28,13	29,63
7	133,96	249,47	12,48	16,45	18,49	21,71	23,74	25,92	29,15	31	33,09	34,08	35,04	36,12	38,03
7,5	153,78	287,75	17,10	21,22	23,589	27,72	30,15	32,77	36,91	39,09	41,77	43,03	44,44	42,39	48,03
8	174,97	328,76	22,42	26,87	29,57	34,82	37,67	40,76	45,98	48,51	51,90	53,49	55,55	53,71	59,80
8,5	197,53	372,50	28,52	33,50	36,57	43,16	46,44	50,01	56,49	59,38	63,63	65,63	68,53	66,9	73,48
9	221,45	418,98	35,48	41,24	44,67	52,86	56,58	60,63	68,59	71,82	77,09	79,56	83,50	82,13	89,18

9,5	246,74	468,19	43,37	50,21	54,00	64,08	68,20	72,73	82,39	85,94	92,41	95,40	100,58	99,46	106,97
10	273,39	520,14	52,28	60,53	64,66	76,92	81,44	86,43	98,02	101,86	109,7	113,24	119,82	118,97	126,911
10,5	301,42	574,82	62,29	72,33	76,77	91,51	96,40	101,81	115,58	119,66	162,5	133,14	141,26	140,67	148,99
11	330,81	632,23	73,48	85,72	90,43	107,97	113,17	118,95	135,14	139,42	181,44	155,12	164,89	164,57	173,16
11,5	361,57	692,38	85,93	100,82	105,73	126,39	131,83	137,92	156,78	161,2	202,552	179,20	190,68	190,6	199,41
12	393,69	755,26	99,72	117,72	122,74	146,83	152,44	158,76	180,52	185,01	225,86	205,35	218,54	218,71	227,60
12,5	427,18	820,88	114,91	136,51	141,54	169,35	175,03	181,49	206,40	210,88	251,39	233,53	248,38	248,79	257,64
13	462,04	889,23	131,57	157,25	162,161	193,96	199,60	206,11	234,39	238,79	279,14	263,65	280,12	280,72	289,41
13,5	498,26	960,31	149,75	179,99	184,62	225,83	226,16	232,61	264,47	268,70	309,07	295,65	313,61	314,40	322,78
14	535,86	1034,13	169,49	204,75	208,93	254,30	254,67	260,94	296,6	300,58	341,15	329,42	348,73	349,70	357,64
14,5	574,82	1110,68	190,82	231,53	235,075	284,78	285,06	291,04	330,70	334,35	375,31	364,87	385,37	386,51	393,76
15	615,14	1189,96	213,77	260,33	262,99	317,21	317,28	322,83	366,70	369,95	411,48	401,88	423,41	424,70	431,34
15,5	**640**	1255,14	237,82	290,38	291,96	350,01	350,32	355,31	403,32	406,05	448,15	438,96	461,18	462,61	468,36
16	627,53	1267,53	261,32	319,28	319,64	381,79	381,10	385,42	436,50	438,76	480,46	471,56	493,58	495,06	499,81
16,5	597,07	1224,60	282,49	344,49	343,66	407,65	406,5	410,19	462,31	464,08	503,85	495,29	516,0	517,49	521,27
17	567,61	1164,69	300,79	365,29	363,44	427,50	426,09	429,10	480,16	481,53	517,94	510,09	533,68	533,97	536,54
17,5	539,14	1106,76	316,35	381,93	379,26	441,93	440,33	442,79	491,14	492,20	518,65	521,48	**535,64**	**537,54**	**539,65**
18	511,64	1050,79	329,30	394,73	407,38	451,54	449,87	451,91	**496,30**	**499,65**	**524,54**	**529.46**	531,8	532,73	534,66
18,5	485,09	996,74	339,83	404,03	415,02	456,96	457,33	459,04	493,02	493,6	519,81	515,40	525,48	526,11	527,72
19	459,48	944,57	348,11	410,17	419,84	**458,73**	**462,22**	**466,96**	489,90	486,68	511,25	508,05	515,36	515,76	517,13
19,5	434,78	894,26	354,31	413,51	422,13	457,39	456,10	457,44	483,48	477,23	499,77	497,69	502,423	502,62	503,77
20	410,98	845,76	358,61	**414,36**	**423,66**	453,40	452,36	453,62	474,43	465,77	486,12	485,02	487,40	487,41	488,36

20,5	388,07	799,0	361,19	413,02	420,28	447,18	446,42	447,65	463,30	452,76	470,90	470,60	470,89	470,75	471,48
21	366,03	754,10	**362,19**	409,77	416,65	439,11	438,64	436,89	450,58	438,61	454,58	454,92	453,38	453,10	453,63
21,5	344,83	710,86	361,76	404,87	411,5	429,52	429,34	427,92	436,66	423,621	437,59	438,36	435,24	434,84	435,11
22	324,47	669,31	360,06	398,57	406,23	418,71	418,78	417,67	421,88	408,05	420,10	421,24	416,77	416,29	416,30
22,5	304,93	629,41	357,2	391,06	400,54	406,92	407,23	406,38	406,51	392,14	402,48	403,81	398,21	397,68	397,42
23	286,19	591,13	353,3	382,55	396,15	394,38	394,89	394,27	390,77	376,06	384,86	386,27	379,74	379,13	378,64
23,5	268,23	554,43	348,58	373,20	390,56	381,29	381,97	381,53	374,85	359,96	367,40	368,79	361,51	360,86	360,15
24	251,04	519,28	343,02	363,19	384,65	367,81	368,62	368,32	358,91	343,96	350,20	351,50	343,63	342,958	341,99
24,5	234,61	485,66	336,77	352,64	378,54	354,09	354,99	354,80	343,06	328,16	333,355	334,50	326,17	325,484	324,28
25	218,90	453,51	329,92	341,69	368,48	340,25	341,20	341,09	327,40	312,64	316,91	317,87	309,20	308,504	307,08
25,5	203,91	422,82	322,57	330,45	357,65	326,39	327,37	327,30	312,02	297,45	300,93	301,67	292,76	292,061	290,44
26	189,62	393,54	314,78	319,01	345,65	312,61	313,55	313,53	296,97	282,66	285,43	285,94	276,88	276,187	274,39
26,5	176,02	365,65	306,65	307,47	334,56	298,98	299,901	299,86	282,30	268,28	270,45	270,72	261,58	260,887	258,93
27	163,08	339,11	298,23	295,89	319,56	285,56	286,43	286,35	268,05	254,35	256,01	256,02	246,88	246,185	244,09
27,5	150,79	313,88	289,60	284,35	303,65	272,40	273,22	273,08	254,24	240,9	242,08	241,87	232,76	239,65	229,872
28	139,14	289,94	280,80	272,90	287,45	259,55	260,29	260,08	240,89	227,919	235,65	228,27	219,24	231,62	216,26
28,5	128,10	267,25	271,90	261,59	267,54	247,03	247,68	247,40	228,03	215,43	225,98	215,22	206,31	216,45	203,256
29	117,66	245,77	262,94	250,47	246,63	234,88	235,44	235,07	215,64	203,43	217,89	202,73	193,96	202,28	190,84
29,5	107,81	225,48	253,96	239,576	225,546	223,11	223,57	223,11	203,74	191,93	203,96	190,7	182,19	189,01	179,02
30	98,52	206,33	245,01	228,92	205,45	211,74	212,09	211,53	192,33	180,91	190,91	179,36	170,97	176,58	167,78
30,5	89,78	188,31	236,13	218,54	189,32	200,78	201,02	200,37	181,41	170,38	178,68	168,48	160,30	164,92	157,09
31	81,57	171,36	227,33	208,45	175,55	190,24	190,36	189,61	170,96	160,33	167,19	158,12	150,16	153,96	146,94

31,5	73,88	155,46	218,66	198,68	161,54	180,11	180,13	179,28	160,99	150,75	156,39	148,27	140,54	143,66	137,32
32	66,69	140,58	210,12	189,22	150,511	170,40	170,31	169,37	151,47	141,62	146,24	138,91	131,424	133,98	128,21
32,5	59,98	126,68	201,76	180,09	140,51	161,11	160,91	159,87	142,42	132,94	120,35	130,02	122,79	124,88	119,60
33	53,74	113,73	193,57	171,29	130,65	152,23	151,92	150,80	133,80	124,69	113,48	121,58	114,62	116,33	111,46
33,5	47,94	101,69	185,58	162,83	121,98	143,75	143,35	142,14	125,61	116,87	106,84	113,62	106,91	108,30	103,78
34	42,58	90,53	177,81	154,71	112,89	135,68	135,17	133,88	117,85	109,45	100,43	106,08	99,63	100,75	96,54
34,5	37,64	80,22	170,26	146,93	104,98	127,99	127,4	126,03	110,48	102,44	94,29	98,973	92,78	93,67	89,72
35	33,09	70,73	162,93	139,48	96,88	120,68	120,00	118,56	103,51	95,80	88,40	92,27	86,33	87,03	83,32

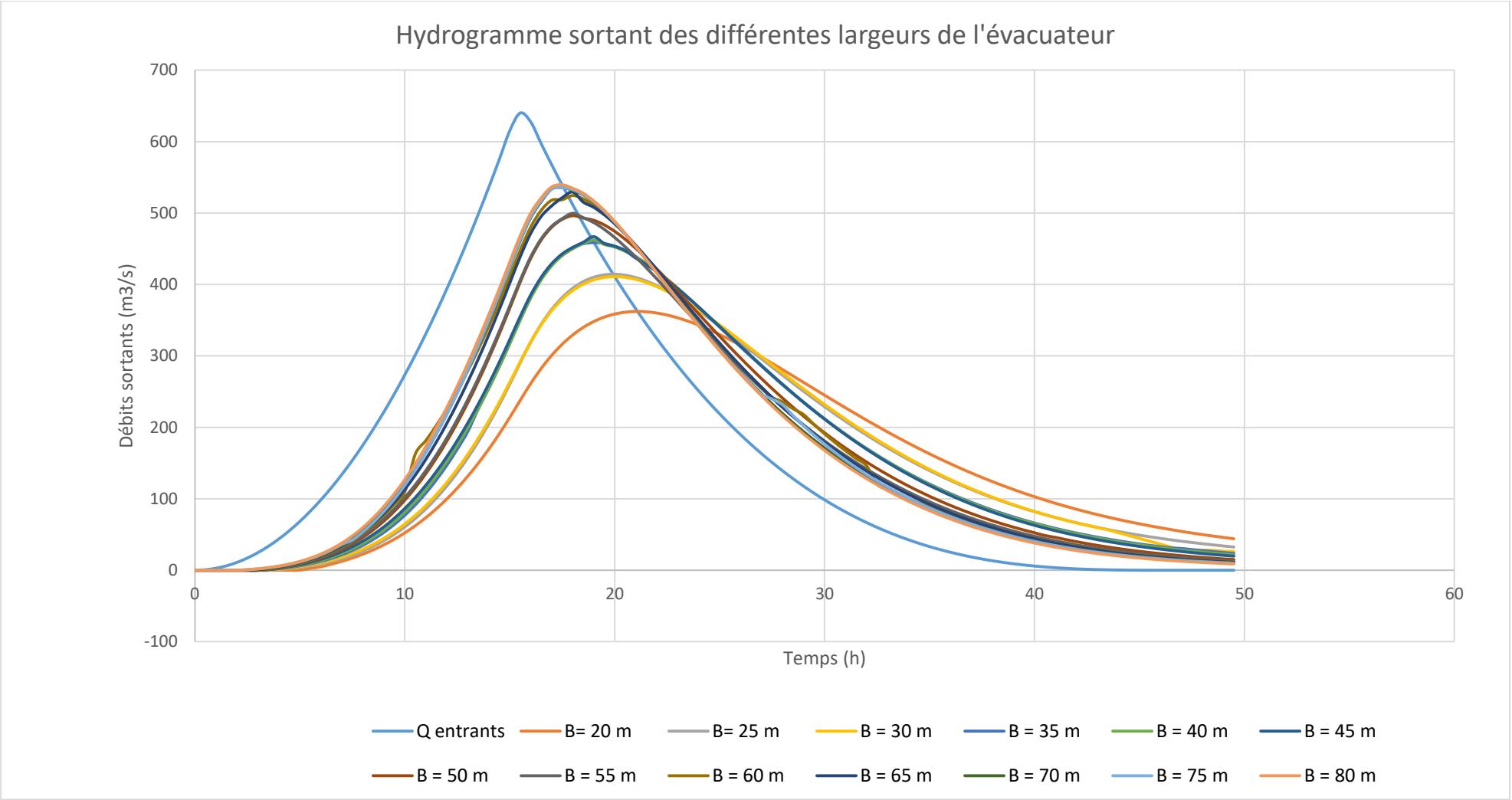


Figure III. 29 : Graphe d'hydrogramme sortant en fonction des différentes largeurs d'évacuateur de crues

Les caractéristiques de chaque largeur du déversoir proposé comme le débit évacuer, le volume forcé et la lame déversée sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau III. 48 : Tableau récapitulatif des résultats de la méthode de Muskingum

B (m)	H (m)	NPHE (m)	Qs (m3/s)	Volume forcé (Mm3)
20	6.012	570.292	362.192	19.862128
25	5.182	569.462	414.360	16.670494
30	4.588	568.868	423.669	14.4614
35	4.140	568.42	458.735	12.847248
40	3.787	568.067	462.222	11.604760
45	3.50	567.78	466.962	10.6120
50	3.264	567.544	496.302	9.814325
55	3.063	567.343	499.65	9.142227
60	2.890	567.17	524.542	8.570873
65	2.740	567.02	529.462	8.080808
70	2.608	566.888	535.646	7.653654
75	2.491	566.771	537.542	7.278228
80	2.386	566.666	539.656	6.943880

III.7. Etude d'optimisation

Cette étude a pour but de la détermination la largeur optimale de l'évacuateur et la hauteur optimale de la digue pour obtenir le devis le plus économique de l'aménagement. Le calcul consiste à déterminer le coût approximatif de l'ouvrage (évacuateur et digue) pour les différentes largeurs déversâtes correspondantes aux différentes hauteurs de la digue et tracé la courbe correspondante et détermination de cout optimale qui correspond à la largeur et hauteur la plus économique.

III.7.1. La revanche

Représente la hauteur qui se trouve entre la crête du barrage et la cote des plus hautes eaux, elle est en fonction de la hauteur des vagues H, de la vitesse du vent U et de la vitesse de propagation des vagues V dans la retenue. La revanche est calculée par les relations suivantes :

a. Formule de STEVENSON GAILLARD

La revanche est mesurée à partir de la cote des plus hautes eaux.

$$R = 0.75 * H_v + \frac{v^2}{2g} \text{..... (III.76)}$$

Avec Hv : Hauteur des vagues (m)
V : Vitesse des vagues (m/s).

Selon STEVENSON (Stevenson et al. 1976)

$$H_v = 0.76 + 0.34 * \sqrt{F} - 0.26 * \sqrt[4]{F} \quad \rightarrow \quad F < 30\ km \text{..... (III.76)}$$

$$H_v = 0.34 * \sqrt{F} \quad \rightarrow \quad F > 30\ km \text{..... (III.77)}$$

Avec F : Largeur du plan d'eau suivant laquelle le vent souffle fréquemment et direction du barrage appelée « Fetch ».
Pour notre cas on a : F=2.2 km.

Cette formule donne des valeurs acceptables pour des vitesses de vents de l'ordre de 100 Km/h.

Selon GAILLARD

$$v = 1.5 + 2 * H_v \text{…….. (III.78)}$$

AN Hv=0.76+0.34*(2.2)^0.5-0.26*(2.2)^0.25 → **Hv=0.947m**

v= 1.5+2*0.947 → **v=3.394 m/s**

R=0.75*0.947+(3.394^2/2g) → **R= 1.30m**

b. Formule (Mallet, Pacquant 1951)

$$R = H_v + \frac{v^2}{2g} \text{…… (III.79)}$$

On a d'après les deux équations précédentes :

Hv=0.947m et v=3.394 m/s

R=1.53 m

c. Formule simplifiée

$$R = 1 + 0.3 * \sqrt{F} \text{…….…… (III.80)}$$

R=1.44 m

Tableau III. 49 : Récapitulation des résultats de la revanche

Formule	Revanche (m)
Formule de STEVENSON GAILLARD	1.30
Formule de MALLET et PACQUANT	1.53
Formule simplifiée	1.44

On prend une valeur proche de la moyenne alors on a : **R=1.44 m**

III.7.2. tassement du barrage

Le tassement est estimer sivant les formules suivantes :

$$T = (0.01 \div 0.015) * Hb \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(III.81)}$$

Avec T : tassement du barrage.
Hb : hauteur du barrage.

Pour notre cas d'après les études géologiques on a le tassement estimer à T=0.75m.

III.7.3. Largeur en crête

La crête facilite la circulation sur le barrage une fois terminé. Elle est nécessaire dans la finition de l'ouvrage avec des équipements de compactage. Le niveau de la crête définit la hauteur maximale que le barrage doit atteindre.
La largeur de la crête dépend de plusieurs facteurs, notamment des risques de tremblement de terre et de la longueur minimum du chemin d'infiltration. La largeur en crête peut être évaluée à l'aide des formules suivantes :

a. Formule de T. KNAPPEN

$$b_{cr} = 1.65 \times \sqrt{H_b} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(III.82)}$$

b. Formule E.F. PREECE

$$b_{cr} = 1.1 \times \sqrt{H_b} + 1 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(III.83)}$$

c. Formule Simplifiée (Anonyme)

$$b_{cr} = 3.6 \times \sqrt[3]{H_b} - 3 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(III.84)}$$

d. Formule Pratique (USBR)

$$b_{cr} = \frac{5}{3} \times \sqrt{H_b} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(III.85)}$$

Avec bcr : la largeur en crete.
Hb : hauteur du barrage.

III.7.4. Hauteur du barrage

La hauteur du barrage représente la somme des différentes hauteurs qui correspond aux (hauteur volume mort + volume utile, la hauteur déversant, la revanche, tassement).

$$H_b = T + H_d + R + H_{NNR} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(III.86)}$$

Les résultats de la hauteur du barrage, tassement et hauteur déversant suivant les différentes largeurs de l'évacuateur, sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau III. 50 : résultats des caractéristiques du barrage suivant les différentes largeurs d'évacuateur de crues

									bcr (m)						
B (m)	**Hd (m)**	**cote NPHE**	**Qs laminé (m3/s)**	**volume forcé (Mm3)**	**revanche (m)**	**Hnnr (m)**	**tassement (m)**	**Hb (m)**	**KNAP**	**PREEC**	**SIMPLIFIER**	**PRATIQUE**	**MOYENNE**	**valeur à prend**	**cote du crete (m NGA)**
20	6,013	570,29	362,19	19.86	1,44	33,28	0,75	41,48	10,62	8,08	9,46	10,73	9,727	9,5	572,48
25	5,182	569,46	414,36	16.67	1,44	33,28	0,75	40,65	10,52	8,01	9,37	10,62	9,63	9,5	571,65
30	4,588	568,86	423,669	14.46	1,44	33,28	0,75	40,05	10,44	7,96	9,31	10,54	9,56	9,5	571,05
35	4,14	568,42	458,73	12.84	1,44	33,28	0,75	39,61	10,38	7,9	9,27	10,48	9,51	9,5	570,61
40	3,787	568,06	462,22	11.60	1,44	33,28	0,75	39,25	10,33	7,89	9,23	10,44	9,47	9,5	570,25
45	3,5	567,78	466,96	10.61	1,44	33,28	0,75	38,97	10,30	7,86	9,20	10,40	9,44	9,5	569,97
50	3,264	567,54	496,30	9.81	1,44	33,28	0,75	38,73	10,26	7,84	9,18	10,37	9,41	9,5	569,73
55	3,063	567,34	499,65	9.14	1,44	33,28	0,75	38,53	10,24	7,82	9,15	10,34	9,39	9,5	569,53
60	2,89	567,17	524,54	8.57	1,44	33,28	0,75	38,36	10,21	7,81	9,14	10,32	9,37	9,5	569,36
65	2,74	567,02	529,46	8.08	1,44	33,28	0,75	38,21	10,19	7,79	9,12	10,30	9,35	9,5	569,21
70	2,608	566,88	535,646	7.65	1,44	33,28	0,75	38,07	10,18	7,78	9,11	10,28	9,34	9,5	569,07
75	2,491	566,77	537,54	7.27	1,44	33,28	0,75	37,96	10,16	7,77	9,09	10,26	9,32	9,5	568,96
80	2,386	566,66	539,65	6.94	1,44	33,28	0,75	37,85	10,15	7,76	9,08	10,25	9,31	9,5	568,85

III.7.5. Longueur de la crête

La longueur de crête est déterminer suivant la topographie du site (carte topographique de Wilaya de Tébessa 1/50000, elle estimer à :

Lcr=380.5 m

III.7.6. Calcule le coût

a. Coût de la digue

On calcule le coût approximatif de la digue pour les différentes variantes de la hauteur du barrage, en utilisant la relation suivante :

$$V_b = \sum_{i=1}^{n} V_i \text{..... (III.87)}$$

$$V_i = \frac{S_i + S_{i+1}}{2} \times Li \text{..... (III.88)}$$

Avec Vi : le volume de barrage à la cote i.
Li : distance entre deux coupes voisines.
Si : section transversale correspondante à la coupe i, elle est calculer par :

$$S_i = \frac{b + Bi}{2} \times Hi \text{..... (III.89)}$$

Avec b : largeur de la crete (m).
Bi : largeur du barrage pour Hi (m). $B_i = (m1 + m2) * H_i + b$..... (III.90)
Hi : hauteur du barrage pour un point i (m).
m1 et m2 : fruit du talus amont et aval m1=0 et m2=0.9

*pour Le prix du mètre cube estimé à 5000 DA (source : ANBT).

Tableau III. 51 : Résultats de coût de la digue pour les différentes largeurs d'évacuateur de crues

b (m)	Hauteur (m)	volume totale (m3)	Coût digue (DA)
20	41,483	152453,89	762269468,9
25	40,652	147633,11	738165557,4
30	40,058	144231,47	721157392,2
35	39,61	141690,35	708451756,9
40	39,257	139702,86	698514336,4
45	38,97	138096,58	690482936
50	38,734	136782,19	683910994,5
55	38,533	135667,33	678336674,6
60	38,36	134711,15	673555796,4
65	38,21	133884,63	669423195,9
70	38,07	133159,24	665796241,4
75	37,96	132517,81	662589059,1
80	37,85	131943,38	659716914,2

b. Cout de déversoir

Le calcul du coût d'évacuateur et estimer pour un déversoir de type GREGER car il s'adapte mieux à l'écoulement de la lame d'eau qui épouse toujours ce type de profil, pour réduire les risques des phénomènes hydrauliques qui déstabilisent l'ouvrage.
La section transversale du déversoir est obtenue en schématisant le profil du déversoir pour la charge déversant à l'aide de la relation du profil donnée par :

$$\frac{Y}{H} = 0.47 \times \left(\frac{X}{H}\right)^{1.85} \text{ ..... (III.91)}$$

Avec H: Charge sur le seuil (m).
Y : Ordonnée du profil (m).
X : Abscisse du profil (m).

Le volume de déversoir est donc égale à : Vd=S×b

Avec S : section transversale du profil (m2).
b : largeur déversant (m).

En opte pour le prix d'un mètre cube du béton : 1m3 = 35000 DA (source ANBT d'ALGER)

Tableau III. 52 : Résultats de coût de déversoir de crue pour les différentes largeurs

b (m)	Hd (m)	surface (m2)	Volume (m3)	Coût de déversoir (DA)
20	6,013	57,22	1144,40	40060000
25	5,182	50,47	1261,75	44163750
30	4,588	46,11	1383,30	48425000
35	4,14	40,38	1413,30	49475000
40	3,787	36,21	1448,40	50700000
45	3,5	33,21	1494,45	52310000
50	3,264	30,77	1538,50	53850000
55	3,063	29,38	1616,00	56562500
60	2,89	27,90	1674,00	58610000
65	2,74	27,07	1759,55	61585000
70	2,608	25,59	1791,30	62705000
75	2,491	24,64	1848,00	64700000
80	2,386	24,15	1932,00	67640000

c. Coût de coursier

Pour cette étape on opte pour un coursier de forme rectangulaire de longueur 45 m. le volume du coursier égale à :

$$V_{coursier} = S_{béton} \times L_{coursier} \text{ ..... (III.92)}$$

La largeur de coursier est déterminer suivant le débit laminer et pour l'épaisseur du radier et les mures bajoyer on prend les valeurs respectivement 1m et 70 cm

Tableau III. 53 : Coût de coursier suivant les variantes de largeurs d'évacuateur

B (m)	Hd (m)	Q laminé (m3/s)	Surface de béton (m2)	Volume béton (m3)	Coût de l'évacuateur (DA)
20	6,01	362,19	28,41	1278,81	44758665
25	5,18	414,36	32,25	1451,46	50801310
30	4,58	423,66	36,42	1639,04	57366540
35	4,14	458,73	40,79	1835,82	64253700
40	3,78	462,22	45,30	2038,58	71350335
45	3,5	466,96	49,9	2245,5	78592500
50	3,26	496,30	54,56	2455,63	85947120
55	3,06	499,65	59,28	2667,96	93378915
60	2,89	524,54	64,04	2882,07	100872450
65	2,74	529,46	68,83	3097,62	108416700
70	2,60	535,64	73,65	3314,30	116000640
75	2,49	537,54	78,48	3531,93	123617655
80	2,38	539,65	83,34	3750,31	131261130

d. Coût de canal d'approche

Elle permet de réduire la perte d'énergie et guider la crue vers l'évacuateur, on suppose que sa forme est rectangulaire avec une hauteur calculé suivant :

$$H_{canal\ app} = H + P + R \text{……..…} \quad \text{(III.93)}$$

Avec H : lame déversant (m).
P : hauteur de pelle (m).
R : la revanche (m).

Et le volume du canal est : $V_{canal} = L \times H_{canal} \times e$ ……. (III.94)

Avec L : longueur du canal d'approche. L=30m.
e : épaisseur des mures. e=0.5m.

Tableau III. 54 : Coût de canal d'approche

B (m)	Hd (m)	H canal (m)	Surface du canal d'approche (m2)	Volume du canal d'approche (m3)	Coût du canal d'approche (DA)
20	6,01	40,73	1221,99	610,99	21384825
25	5,18	39,90	1197,06	598,53	20948550
30	4,58	39,30	1179,24	589,62	20636700
35	4,14	38,86	1165,8	582,9	20401500
40	3,78	38,50	1155,21	577,60	20216175
45	3,5	38,22	1146,6	573,3	20065500
50	3,26	37,98	1139,52	569,76	19941600
55	3,06	37,78	1133,49	566,74	19836075
60	2,89	37,61	1128,3	564,15	19745250
65	2,74	37,46	1123,8	561,9	19666500
70	2,60	37,32	1119,84	559,92	19597200
75	2,49	37,21	1116,33	558,16	19535775
80	2,38	37,10	1113,18	556,59	19480650

e. Coût total du barrage

Les résultats obtenus sont dans le tableau suivant :

Tableau III. 55 : Coût totale du barrage suivant les différentes largeurs d'évacuateur de crues

b (m)	Hb (m)	Hd (m)	Coût digue (DA)	Coût de déversoir (DA)	Coût de coursier (DA)	Coût de canal d'approche (DA)	Coût de l'évacuateur (DA)	Coût totale du barrage (DA)
20	41,48	6,013	762269468,9	40060000	44758665	21384825	106203490	868472958,9
25	40,65	5,182	738165557,4	44163750	50801310	20948550	115913610	854079167,4
30	40,05	4,588	721157392,2	48425000	57366540	20636700	126428240	847585632,2
35	39,61	4,14	708451756,9	49475000	64253700	20401500	134130200	842581956,9
40	39,25	3,787	698514336,4	50700000	71350335	20216175	142266510	840780846,4
45	38,97	3,5	690482936	52310000	78592500	20065500	150968000	841450936
50	38,73	3,264	683910994,5	53850000	85947120	19941600	159738720	843649714,5
55	38,53	3,063	678336674,6	56562500	93378915	19836075	169777490	848114164,6
60	38,36	2,89	673555796,4	58610000	100872450	19745250	179227700	852783496,4
65	38,21	2,74	669423195,9	61585000	108416700	19666500	189668200	859091395,9
70	38,07	2,608	665796241,4	62705000	116000640	19597200	198302840	864099081,4
75	37,96	2,491	662589059,1	64700000	123617655	19535775	207853430	870442489,1
80	37,85	2,386	659716914,2	67640000	131261130	19480650	218381780	878098694,2

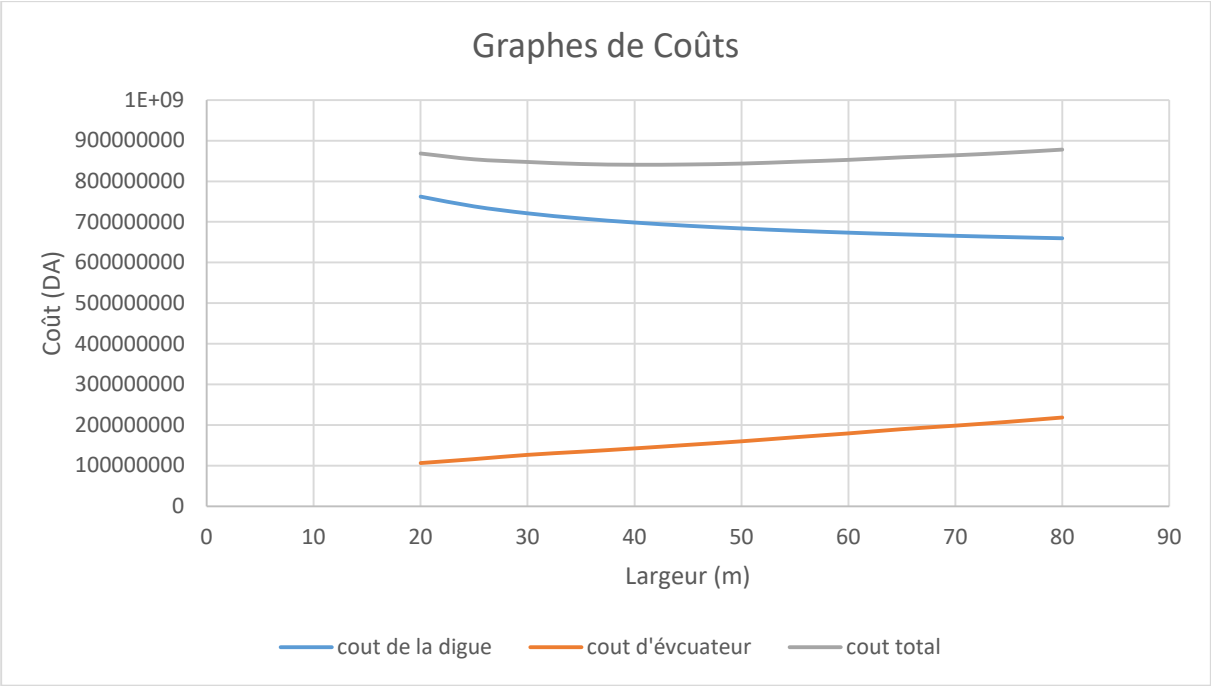


Figure III. 30 : Graphe des coûts (digue, évacuateur et totale)

*Alors d'après les résultats obtenus de l'étude d'optimisation on a les caractéristiques finales du barrage dans le tableau suivant :

Tableau III. 56 : Résultat finale de l'étude d'optimisation

Largeur d'évacuateur (m)	Hauteur déversant (m)	Débit déversant (m3/s)	Hauteur du barrage (m)	Cote en crête du barrage (m NGA)
40	3.787	462.222	39.257	570.257

Conclusion

D'après cette étude hydrologique on a pu déterminer tous les paramètres nécessaires du barrage, les éléments du barrage sont redimensionnés suivant les données améliorées et les résultats correspondants déterminés par cette étude hydrologique. La récapitulation des résultats obtenus est dans le tableau suivant :

Tableau III. 57 : Récapitulation des résultats de l'étude hydrologique

Désignation	Unité	Valeurs
Volume mort	Mm3	21.37
Volume utile	Mm3	12.58
Volume NNR	Mm3	33.95
Cote du fond	m NGA	531
Cote NVM	m NGA	558.77
Cote NNR	m NGA	564.28
Cote NPHE	m NGA	568.067
Cote NCR	m NGA	570.257
Hauteur du barrage	m	39.257
Larguer en crête	m	9.5
Longueur en crête	m	380.5
Largeur du déversoir	m	40
Charge maximale déversant	m	3.787

Les résultats de notre propre étude montrent une faible différence par rapport au Synthèse des résultats de l'étude de faisabilité de l'ANBT et le bureau d'étude ENERGOPROGECT, cette différence est exprimée par la taille des séries d'enregistrements déterminée par la station d'Ouenza. L'étude de l'ANBT et le Bureau ENERGOPROJECT est une ancienne étude avec une série de données très petite (nombre des données est petite à partir 1970 au 1990). Notre étude est basée sur la mise à jour des données de la même station à partir 1970 jusqu'au les années 2000 et plus pour les précipitations maximales, cela rendre la précision de notre propre travail plus importante que l'ancienne étude.

CHAPITRE IV : Etude des variantes de l'évacuateur de crue

INTRODUCTION

Le barrage est un ouvrage construit pour l'utilisation dans plusieurs domaines, il est constitué de plusieurs ouvrages annexes tels que l'évacuateur de crue qui est le but de ce chapitre.

L'évacuateur de crue est un ouvrage très important pour le fonctionnement normal du barrage car il permet d'évacuer l'excès de l'eau vers le cours d'eau naturelle pour la protection du barrage, il existe plusieurs types d'évacuateurs selon la nature de la fondation que l'évacuateur doit être posé, et suivant aussi la nature de la digue du barrage (les matériaux qui construisent la digue).

Dans ce chapitre on va donner la classification des évacuateurs de crues et selon quoi ils sont classés, les types des évacuateurs qui sont adéquats pour notre cas et pour finir on va choisir trois variantes à dimensionner, faire une étude technicoéconomique et choisir la variante la plus adéquate.

IV.1. Synthèse des variantes

IV.1.1. description du site du barrage

Au droit du site du barrage principal, la fondation rocheuse est constituée d'un complexe marno-calcaire du Crétacé supérieur. La variation du ratio argiles/carbonates conduit à une alternance de couches tantôt plus marneuses, tantôt plus calcaires. Du fait de leur résistance relativement plus grande à l'érosion, les niveaux à contenu plus élevés en carbonate forment le verrou caractéristique du site, tandis que les horizons marneux, plus tendres, sont prédominants en fond de vallée.

IV.1.2. construction de la digue

Pour la digue principale du barrage d'Ouldjet Mellegue, elle en BCR est fondé au toit du substratum sain et peu fracturé. La profondeur d'excavation prévue est de l'ordre de 7 à 8 mètres dans les deux rives et de 3 mètres en font d'Oued. Des injections de consolidation systématiques sous l'emprise du barrage sont prévues jusqu'à 6 m de profondeur et un voile d'injection mono linéaire descendant jusqu'à 40 m de profondeur maximale.

IV.1.3. classification et types des évacuateurs de crue

IV.1.3.1. selon le type de fonctionnement hydraulique ou régime d'écoulement

- ✓ Évacuateur de surface (entonnement frontal, latéral, labyrinthe…).
- ✓ Évacuateur en charge (puits, siphon sommaire pour les petits barrages, siphon a faible charge et fort débit).

IV.1.3.2. L'emplacement par rapport à la digue

- ✓ Evacuateur centrale.
- ✓ Evacuateur latérale (latérale a entonnement frontale, latérale a entonnement latérale).

IV.1.3.3. Mode de régale du débit

- ✓ Seuil vannée.
- ✓ Seuil non vannée.

IV.1.4. principaux critères pour choisir le type d'évacuateur de crue

- ✓ La facilité d'entretien.
- ✓ La facilité de modification.
- ✓ Le coût de l'ouvrage.
- ✓ La sûreté et la sécurité de fonctionnement.
- ✓ Les exigences topographiques du site.
- ✓ Les exigences géologiques du site.
- ✓ Les difficultés de réalisation.

IV.1.5. Classification des évacuateurs selon leurres emplacement

IV.1.5.1. Evacuateur centrale intégré au corps du barrage

C'est la solution la plus prendre pour les barrages poids de type BCR (comme notre cas), il se caractérise par :

- ✓ Il supporte une grande charge sur le déversoir.
- ✓ Entretien facile.
- ✓ Une bonne sécurité et un bon rendement.

IV.1.5.2. Evacuateur de crue posée sur la rive

Ce type d'évacuateur, il est utilisée pour les barrages poids, une fondation rocheux sur l'un des rive du barrage, il est caractérise avec :

- ✓ Risque de glissement de différents plots de l'évacuateur.
- ✓ Coursier à fort pente.
- ✓ Couteux.

IV.1.5.3. Evacuateur de crue de type siphon

De type en charge, et posée sur la digue du barrage, parmi ces principales importances on a : aucune exigence topographique, Calcul usuel, installation facile. Et parmi ces principaux inconvenants on a : Amorçage et le désamorçage, Entretient indispensable, Dispositif sur le corps de la digue.

IV.1.5.3. Evacuateur de forme tulipe

Le déversoir est circulaire ou semi-circulaire, posée généralement séparé de la digue, il se caractérise par un puits partir de la hauteur NNR vers le fond suive par un coude et une galerie et par une conduite d'écoulement à surface libre et un dissipateur d'énergie pour conduise l'eau vers le cours d'eau.

IV.1.6. Choix de type d'évacuateur pour notre cas d'étude

D'après tous ce qu'on a dit au précédent (description du site et conception du barrage), et suivant la classification et choix de type de l'évacuateur (la digue et de type poids en BCR et sur les deux rives on a une fondation rocheux « marno-calcaire), alors pour notre cas on opte pour les variantes suivantes :

a) **Evacuateur centrale de type GREAGER avec coursier lisse et un bassin de dissipation de type USBR**
b) **Evacuateur en déversoir labyrinthe avec coursier lisse et un dissipateur de forme saut de ski.**

IV.2. Dimensionnement des variantes d'évacuateur choisis

IV.2.1. Evacuateur centrale de type GREAGER à coursier lisse et bassin de dissipation de type USBR.

Ce type d'évacuateur est le répondue pour un barrage poids en BCR (comme notre cas), posé au centre de l'évacuateur qui surélevé le lit majore de l'oued. Composé d'un déversoir du type GREAGER suit par un coursier lisse, pour réduire la quantité d'énergie de l'écoulement, on place un dissipateur d'énergie du type USBR.

Les données utilisées et obtenus l'or de l'étude hydrologique :

- Largeur d'évacuateur b=40 m.
- Le débit déversant. Qdev=462.222 m3/s.
- Charge hydraulique. H=3.787 m.

a. Vitesse d'approche

La vitesse d'approche Va doit être calculée pour vérifier l'influence de l'écoulement sur le canal d'approche.

$$V_a = \frac{Q_s}{Sc} \text{..... (IV.1)}$$

Avec Qs : débit laminé (m3/s).
S : surface du canal d'approche = b×H (m2)
H= h+P h : charge déversante (m)
P : hauteur de pelle(m).

$$0.4<P/h<1.6$$

$$P=3.787\times1.2 \rightarrow P=4.544 \text{ m}$$

AN $$Va=462.222/(40\times(3.787+4.544))$$

$$Va=1.387\text{m/s} < Vad=3.10 \text{ m/s} \rightarrow \text{pour une formation marno-calcaire}$$

*alors condition vérifier : pas de risque d'érosion.

b. Déversoir

Le profil du seuil déversant est du type CREAGER, l'avantage de ce type est qu'en chaque point de son parement avale la pression égale à la pression atmosphérique, les coordonnées du profil du déversoir sont déterminées à l'aide de l'équation suivante :

$$Y = 0.5 \times \frac{X^{1.85}}{H^{0.85}} \text{..... (IV.2)}$$

Avec Y : coordonné par rapport à oy.
X : coordonnée par rapport à ox.
H : la charge (m).

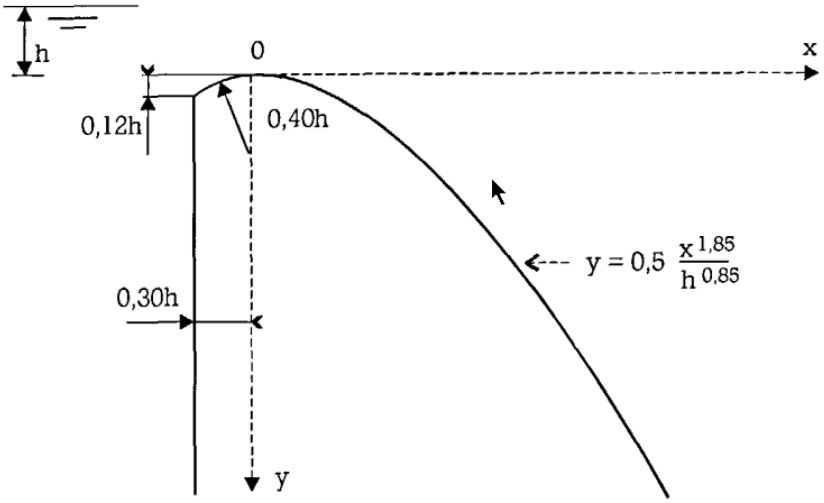


Figure IV. 1 : profile en long de déversoir de type GREAGER (Source USBR design of small dams (Duncan et al. 1987)

- Calcule les géométries de déversoir :

$$\left.\begin{array}{l} A=0.12\times h=0.12\times 3.787=0.454m \\ B=0.4\times h=0.4\times 3.787=1.514m \\ C=0.3\times h=0.3\times 3.787=1.136m \end{array}\right\}\ldots \text{(IV-3)}$$

Tableau IV. 1 : Coordonnées de déversoir de type GREAGER

X (m)	Y (m)
0	0
0,5	0,044
1	0,16
1,5	0,34
2	0,58
2,5	0,87
3	1,23
3,5	1,63
4	2,09
4,5	2,60
4,544	2,65

Dans la figure ci-dessous on a le profil du déversoir de type GREAGER :

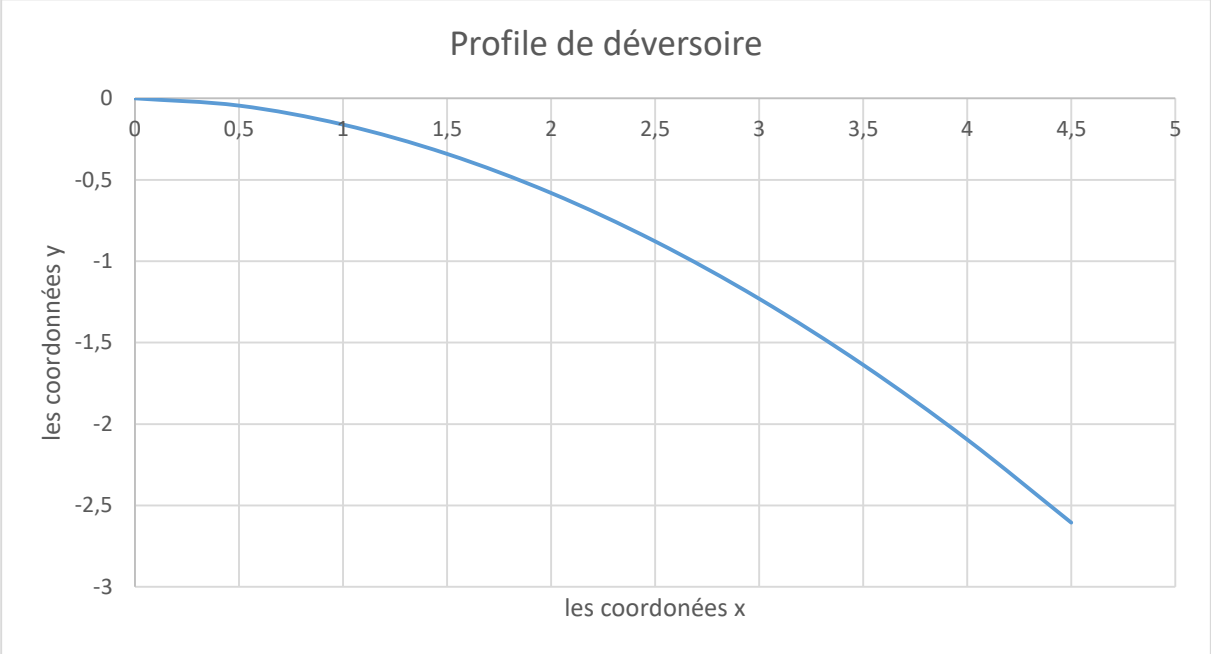


Figure IV. 2 : Profile du déversoir de type GREAGER

c. Calcule de coursier

Le coursier permettre de conduise l'écoulement à partir de déversoir vers le bassin de dissipation. Dans le coursier on a l'écoulement est torrentiel c'est-à-dire on aura

$$hn < hc$$

Pour cela on va vérifier la condition précédente on calculant hc et hn :

- **Dimensionnement**

✓ Hauteur critique hc :

Puisque on a un coursier de forme rectangulaire alors la relation qui permettre de calculer la hauteur critique hc est :

$$h_c = \sqrt[3]{\frac{Qs^2}{b^2 \times g}} \text{..... (IV.4)}$$

Avec hc : hauteur critique (m).
Qs : débit laminé (m3/s).
b : largeur de l'évacuateur de crue (m).

AN hc= 2.387 m

✓ Calcule de hn :

La hauteur hn représente la hauteur normale c'est-à-dire la hauteur de la lame d'eau dans le coursier, hn est calculé par la relation de maning-strickler :

$$Q_s = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times S_i \times i^{\frac{1}{2}} \text{..... (IV.5)}$$

Avec Qs : débit laminé (m3/s).
n : coeifficiene de maning. Pour le béton on a n=0.014.
R : rayon hydraulique. R=Sm/Pm → Sm : surface mouillée (m2).
Pm : périmètre mouillée (m).
Si : surface mouillée (m2).
i : la pente de coursier. i=1/0.9 m/m.

Par le calcule itératif on obtient : hn=0.327 m → V=35.338 m/s

*on a d'après les résultats obtenues hn < hc alors la condition est vérifier est donc on a un écoulement torrentiel.

✓ Méthode indirecte d'intégration numérique :

L'équation de cette méthode représente la solution de l'équation différentielle de l'équation de mouvement, en considère que (dQ/dx)=0.

(S0-Sf)/(1-Fr^2)=dx/dy..... (IV.6)

Avec S0 : pente du fond.
Sf : pente de la ligne d'énergie.
Fr : nombre de froude.

Suivant l'hypothèse qui dit que la pente de la ligne d'énergie Sf peut être calculée pour chaque valeur de profondeur en utilisant l'équation de Manning. L'équation devient en différences finies :

$$\Delta x = \frac{1-Fr^2}{i-G1} \times \Delta y \text{..... (IV.7)}$$

Avec Δx : variation suivant x.
Δy : variation suivant y.
Fr : nombre de froude.

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gh}} \text{..... (IV-8)}$$

G : représente l'équation.

G= (n^2×Q^2)/(Amoy^2×Rmoy^4/3)..... (IV.9)

Pour cela on donne des valeurs arbitraire a y telle que on a de hc=yc → hn=yn.
*les résultats de calcule sont dans le tableau suivant :
*Au niveau de h=hc on a un Froude = 1, donc la ligne d'eau atteindre une valeur infinie, pour résoudre ce problème en commence le calcule depuis une valeur inferieur à hc. Pour notre cas on a hc= 2.387 m donc au niveau du tableau IV.2 on a commencée par h=2.35 m.

Tableau IV. 2 : Résultats de calcule itératif

Y (m)	y moy (m)	Surface moy (m)	Périmètre moy (m)	R moy	Fr^2	1-Fr^2	(n2*Q2)/(Smoy2*R^4/3)	i-G1	dx	L
2,35										
2,3	2,325	93	44,65	2,08	1,05	-0,058	0,001	1,108	-0,00	0,00
2,2	2,25	90	44,5	2,02	1,19	-0,194	0,002	1,107	-0,01	0,02
2,1	2,15	86	44,3	1,94	1,36	-0,369	0,002	1,107	-0,03	0,05
2	2,05	82	44,1	1,85	1,57	-0,57	0,002	1,107	-0,05	0,10
1,9	1,95	78	43,9	1,77	1,83	-0,8	0,0031	1,106	-0,07	0,18
1,8	1,85	74	43,7	1,69	2,14	-1,14	0,003	1,106	-0,10	0,28
1,7	1,75	70	43,5	1,60	2,53	-1,53	0,004	1,105	-0,13	0,42
1,6	1,65	66	43,3	1,52	3,03	-2,03	0,005	1,104	-0,18	0,61
1,5	1,55	62	43,1	1,43	3,65	-2,65	0,006	1,103	-0,24	0,85
1,4	1,45	58	42,9	1,35	4,46	-3,46	0,008	1,101	-0,31	1,16
1,3	1,35	54	42,7	1,26	5,53	-4,53	0,01	1,09	-0,41	1,57
1,2	1,25	50	42,5	1,17	6,96	-5,96	0,01	1,096	-0,54	2,12
1,1	1,15	46	42,3	1,08	8,94	-7,94	0,01	1,09	-0,72	2,85
1	1,05	42	42,1	0,99	11,75	-10,75	0,02	1,08	-0,99	3,84
0,9	0,95	38	41,9	0,90	15,87	-14,875	0,03	1,07	-1,38	5,22
0,8	0,85	34	41,7	0,81	22,16	-21,16	0,04	1,062	-1,99	7,21
0,7	0,75	30	41,5	0,72	32,26	-31,26	0,071	1,038	-3,0	10,22
0,6	0,65	26	41,3	0,62	49,56	-48,56	0,11	0,995	-4,87	15,10
0,5	0,55	22	41,1	0,53	81,81	-80,81	0,19	0,91	-8,87	23,97
0,44	0,47	18	40,9	0,44	149,37	-148,37	0,38	0,72	-20,49	45

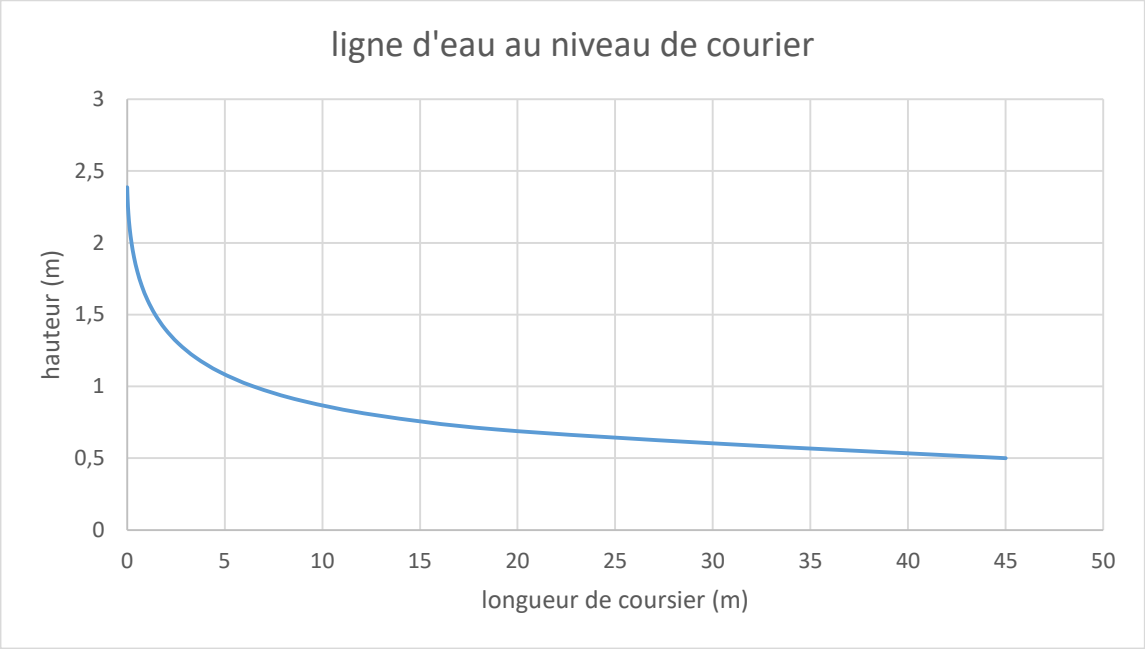


Figure IV. 3 : Courbe de ligne d'eau au niveau du coursier

✓ Calcule de la hauteur des mures bajoyer de coursier

Les murs bajoyers permettaient de garder l'écoulement de l'eau au niveau du coursier, donc ils un rôle de protection qui guide l'écoulement au niveau du coursier, la hauteur des murs bajoyers sont calculé avec la relation suivante :

$$H_m = h_n + R \text{……..…. (IV.10)}$$

Avec Hm : hauteur de mur bajoyer (m).
hn : hauteur normale de l'eau (m).
R : la revanche (m).

La revanche sert à protéger l'ouvrage de l'écoulement de l'eau pour un phénomène extrême, la revanche est calculée par la relation suivant :

$$R=0.61+0.14V\text{^}(1/3) \text{……..…. (IV.11)}$$

Avec V : vitesse de l'écoulement dans le coursier. V=35.338 m/s

AN R=1.06 m

Alors Hm=0.348+1.06

Hm=1.41 m

✓ Vérification des phénomènes d'aération et les vagues roulantes le long de coursier :

Au niveau du coursier on a la vitesse d'écoulement est important, cela peut engendrer le phénomène des vagues qui peut engendrer d'importants dégâts (l'érosion et la cavitation). Pour la vérification on prend des sections est on vérifier que V < Vcr. Pour le calcul de Vcr en utilise la relation de VOYNICH SYANOGENSKY

$$V_{cr} = 6.63\sqrt{gR\cos\theta}\sqrt{1+\frac{0.0011}{R^2}}\left(1+\frac{8.71\times n}{R^{\frac{1}{6}}}\right) \quad \text{(IV.12)}$$

Avec Vcr : vitesse critique (m/s).
R : rayon hydraulique.
Θ : langle de coursier en °.
n : la rugosité du béton n=0.014.

Les résultats de calcule se trouve dans le tableau suivant :

Tableau IV. 3 : Résultats de calcule de phénomène d'aération et les vagues roulantes

Y (m)	R	Vcr (m/s)	V (m/s)	Vcr > V
2,343	2,09	27	4,93	vérifier
2,15	1,94	26,24	5,37	vérifier
1,85	1,69	24,55	6,24	vérifier
1,55	1,43	22,65	7,45	vérifier
1,25	1,17	20,56	9,24	vitrifier
1,05	0,99	18,97	11,00	vitrifier
0,95	0,90	18,12	12,16	vitrifier
0,65	0,62	15,16	17,77	non vérifier
0,45	0,44	12,87	25,67	non vérifier

Remarque IV.1 : D'après les résultats du tableau que l'ensemble des hauteurs d'eau vérifier la condition Vcr > V sauf les deux dernières valeurs. En prend la hauteur Y=0.45 m pour qu'il vérifiait il faut que V <Vcr = 12.87 m/s.
On prend Vadm= 9 m/s et on calcule la rugosité que doit le béton avoir.

n=(R^1/6×(Ri)^0.5)/Vadm …… (IV-13)

AN n = 0.067

Alors le coefficient de rugosité doit être n > 0.067 pour vérifier la condition

d. Bassin de dissipation

L'écoulement en bas de coursier se caractérise par une vitesse élevée, cette grande vitesse et cette importante quantité d'énergie peuvent endommager la morphologie de coure d'eau. Pour

éviter ça, au pied du coursier en doit mettre un système qui permet de diminuer cette quantité d'énergie et transformer le type d'écoulement de torrentiel vers fluvial.
D'après les expériences réalisées par l'USBR « The Bureau of Réclamation » : le type du bassin dissipation dépend de nombre de Froude et la vitesse d'écoulement en bas de coursier.

Tableau IV. 4 : Types des bassins de dissipation suivant nombre de Froude et vitesse d'écoulement (Source : ANBT)

Les cas	Type du bassin dissipation
2.5<Fr<4.5	USBR type I
Fr>4.5 V<15 m/s	USBR type II
Fr>4.5 V>15 m/s	USBR type III

On a d'après les résultats précèdent :

h1= 0.327 m et V1= 35.338 m/s

Fr=19.73

Alors pour Fr = 19.73 > 4.5 et V1 = 35.338 m/s > 15 m/s, on opte pour un **bassin dissipation de type III (block de chute + seuil denté).**

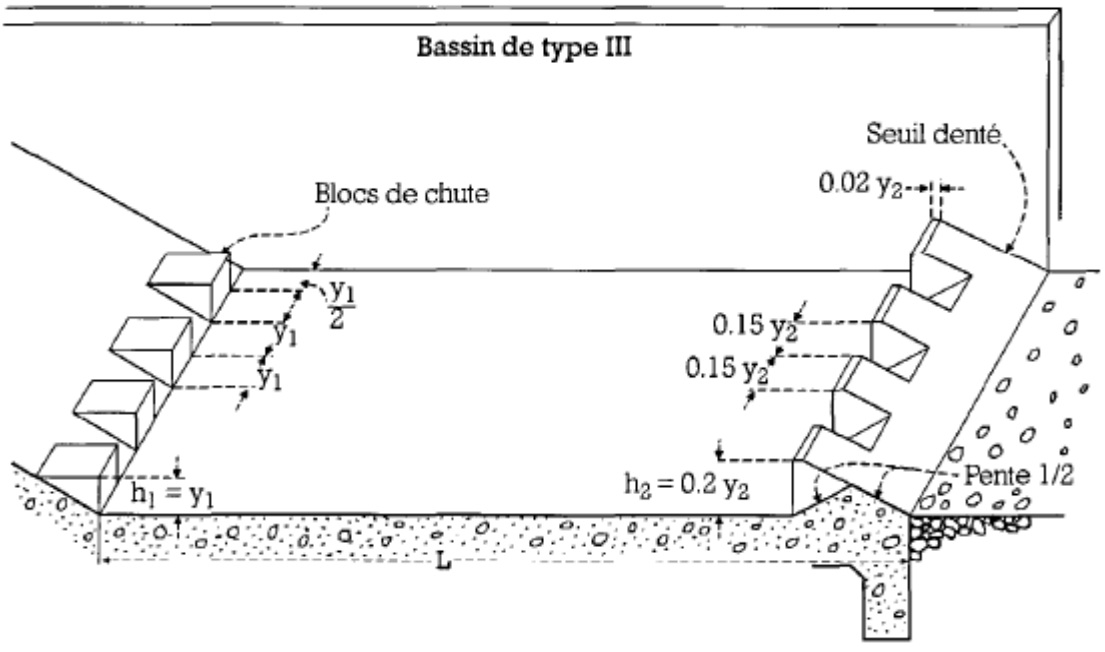


Figure IV. 4 : Bassin de dissipation USBR de Type III (Source : USBR desigh of small dams(Duncan et al. 1987))

- **Dimensionnement**

Pour le dimensionnement du bassin, on calcule les paramètres suivant :

✓ Calcule la hauteur h2=y2 :

$$y2 = \frac{y1}{2}\left[\sqrt{1 + 8Fr^2} - 1\right}\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{ (IV.14)}$$

Avec y2 : hauteur après ressaut (m).
y1 : hauteur avant ressaut (m).
Fr : nombre de Froude.

AN y2= 8.96 m

✓ Longueur du bassin :

$$L_{bssin} = 4.1 \times h2\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{ (IV.15)}$$

Lbassin = 36.736

Lbassi = 37 m

✓ Dimensionnement du bloc de chute :

Les résultats sont dans le tableau suivant :

Tableau IV. 5 : Résultats de dimensionnement des blocs de chute

Grandeur	Formule	Valeur
Hauteur	hb=y1	0.327 m
épaisseur	eb=y1	0.327 m
Espacement entre les blocs	db=y1	0.327 m
Nombres des blocs	$n = \frac{b}{2y1}$…… (IV-16)	61 blocs

✓ Dimensionnement du seuil denté :

Les résultats sont dans le tableau suivant :

Tableau IV. 6 : Résultats de dimensionnement de seuil denté

grandeur	Formule	Valeur
Hauteur	hd=0.2y2	1.792 m
Epaisseur	ed=0.15y2	1.34 m
Espacement entre les dents	dd=0.15y2	1.34 m
Largeur en crete	e'd=0.02y2	0.18 m
Nombre des dents	$n_d = \frac{b}{2y2}$….. (IV-17)	2.23 ≃ 3 dents

✓ Vérification de type d'écoulement à la fin du bassin de dissipation :

Pour vérifier si on aura un écoulement fluvial à la fin du bassin de dissipation on calcule le nombre de Froude et il faut trouver que Fr < 1, pour que la condition doit vérifier.

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{gh2}} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(IV18)}$$

Avec Fr : nombre de Froude.
H2 : hauteur en aval du bassin dissipation (m).
V : vitesse d'écoulement (m/s).

$$V = \frac{Q}{b \times h2} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(IV.19)}$$

Avec Q : débit au niveau du bassin Q=462.222 (m3/s).
b : largeur du bassin. B=40 m.

AN V = 462.222/(40×8.96)

V = 1.29 m/s

Fr = 0.13 < 1 → condition vérifier.

*Alors on a un écoulement fluvial à la fin du bassin de dissipation.

✓ Hauteur de mur bajoyer du bassin dissipation :

La hauteur de mur bajoyer du bassin dissipation sert à garder l'écoulement au niveau du bassin et éviter le débordement vers le milieu extérieur. Pour déterminer la hauteur de mur bajoyer on a :

$$h_m = h2 + r \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(IV.20)}$$

Avec hm : hauteur de mur bajoyer (m).
h2 : hauteur en aval du bassin h2=8.67 m.
r : la revanche (m).

r=0.61+0.14×V^(1/3)……..….(IV.21)

Avec V : vitesse d'écoulement en aval du bassin V=1.33 m/s.

AN r = 0.76 m

hm = 8.96 + 0.76 = 9.72 m

hm ≃ 10 m

e. Canal de fuite

Le canal de fuit suivi directement le bassin de dissipation, sert a conduise l'écoulement vers le cour d'eau naturelle. Pour notre cas on a un canal de 11 m de largeur avec m = 1.

- **Dimensionnement**

✓ Hauteur critique :

Pour le calcul de la hauteur critique on a la relation suivant :

$$h_{cr} = \left(1 - \frac{\sigma_{cr}}{3} + 0.015 \times \sigma_{cr}^2\right) \times K \text{…….…….. (IV.22)}$$

Avec hcr : hauteur critique (m).

$$\sigma_{cr} = \frac{K \times m}{b} \text{……..…… (IV.23)}$$

$$K = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{gb^2}} \text{…….…..… (IV.24)}$$

AN K= 5.64

σcr = 0.51

hcr= 4.70 m

✓ Pente critique :

La pente critique est calculée par la relation suivant :

$$I_{cr} = \frac{Q^2}{s_{cr}^2 \times C_{cr}^2 \times R_{cr}} \text{……..……..…. (IV.25)}$$

Avec Icr : la pente critique.
Q : débit évacué.

Scr : surface moullé (m2). $S_{cr} = b \times h_{cr}$…….. (IV.26)
Ccr : coeifficient de cheezy
Rcr : rayon hydraulique cririque $R_{cr} = \frac{S_{cr}}{P_{cr}}$……...… (IV.27)

AN Scr= 11 × 4.70 → Scr= 51.7 m2.

Rcr= 51.7/20.4 → Rcr= 2.53 m.

Ccr= 83.39

Icr= 0.00454 m/m → Icr= 0.45 %

✓ Profondeur normale :

Par le calcule itératif on a la profondeur normale est :

hn= 4.69 m.

- ✓ Calcule la vitesse d'écoulement :

$$V = \frac{Q}{Sn} \text{…….. (IV.28)}$$

Avec Q : débits (m3/s)
Sn : surface normale (m2)

AN V= 8.95 m/s

Remarque IV.2 : Le sol du canal est constitué par des blocs d'alluvions grossières. La vitesse admissible correspondante à ce type de sol est : $Vadm$= 1.80 ÷ 2.20 m/s. Pour réduire la vitesse, on augmente la section d'écoulement ou on crée une perte de charge par des roches de dimensions entre 800 et 1000 mm.

IV.2.2. Evacuateur centrale en déversoir labyrinthe avec coursier lisse et un dissipateur de type saut de ski.

Pour ce type d'évacuateur on a un déversoir du type GREAGER et un coursier en forme d'escalier et pour réduire la quantité d'énergie on place un dissipateur d'énergie de type USBR. Les données utilisées et obtenait l'or de l'étude hydrologique :

- Largeur d'évacuateur b=40 m.
- Le débit déversant. Qdev=462.222 m3/s.
- Charge hydraulique. H=3.787 m.
- Hauteur de pelle.

a. Vitesse d'approche

Dans ce type on a la vitesse d'approche est égale a la vitesse d'approche déterminer pour l'évacuateur centrale a coursier lisse. Alors :

$$V_a = \frac{Q_s}{Sc} \text{…….. (IV.29)}$$

Avec Qs : débit laminé (m3/s).
S : surface du canal d'approche = b×H (m2).
H= h+P h : charge déversante (m)
P : hauteur de pelle(m).

0.4<P/h<1.6

P=3.787×1.2 → P=4.544 m

AN Va=462.222/(40×(3.787+4.544))

Va=1.387m/s < Vad=3.10 m/s → pour une formation marno-calcaire

*alors condition vérifier : pas de risque d'érosion.

b. Déversoir en labyrinthe

Le déversoir labyrinthe est l'un des types des déversoirs utilisés pour les évacuateurs de crues portés par la digue du barrage, le dimensionnement de labyrinthe est tellement différent de déversoir type GREAGER, il se caractérise par augmenter la largeur déversant en formes de triangle, trapézoïdale ou même des rectangulaires. Donc on constate que pour une même largeur déversant le déversoir labyrinthe donne un rondement plus et un débit d'évacuation plus que le déversoir de type GREGAER. Pour notre cas on va dimensionner un déversoir labyrinthe de forme trapézoïdale.

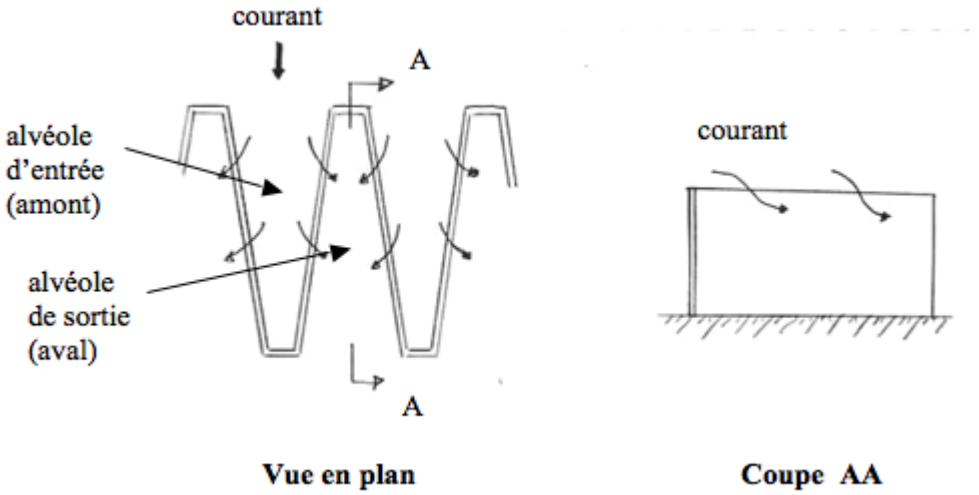


Figure IV. 5 : schéma d'un déversoir en labyrinthe (Source : support de coure Mr. Zeroual)

Puisque pour une même largeur déversant entre déversoirs labyrinthe et déversoir de type GREAGER, on aura un débit plus élevé pour le déversoir labyrinthe. Alors pour le dimensionnement dans notre cas on va diminuer la largeur de déversoir labyrinthe.

*on a les caractéristiques de départ :

- Débit déversant Qdév= 462.222 m3/s.
- La largeur de déversoir W= 15 m.
- La hauteur déversant hdév=3 .787 m.
- La hauteur de pelle P= 9.46 m
- Nombre des cycles n= 5

- **Détermination du rapport (L/w)**

Pour le calcul du rapport L/w en utilise les relations suivantes :

✓ Formule de (Darvas, 1971)

$$Q_l = C_w \times W \times h^{1.5} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(IV.30)}$$

Avec Ql : débit de labyrinthe Ql =462.222 m3/s.
Cw : coefficient de décharge.
W : largeur totale de labyrinthe (m).
h : hauteur déversant (m).

Pour utiliser cette relation il faut que la condition suivante doive être vérifiée :

$\frac{w}{P} \leq 2$ Avec w : largeur pour un cycle (m) w=3m.
P : hauteur de pelle (m) P=9.46 m.

Alors w/P = 3/9.46 = 0.31 ≤ 2 → condition vérifier.

Donc $C_w = \frac{Q_l}{W \times h^{1.5}}$ ……..…….. (IV.31)

AN Cw= 462.222/(15×3.787^1.5)

Cw= 4.18

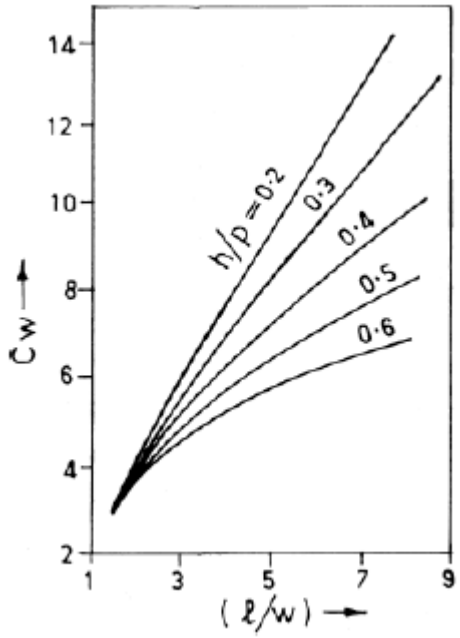


Figure IV. 6 : abaque de relation entre Cw, h/P et L/w (Darvas 1971)

Alors on a Cw=4.18 et h/p=3.787/9.46= 0.4 donc d'après l'abaque → L/w= 2.2

- ✓ Formule de *(Zarrouk, Seqqat-Dakhma, Chérif 1995)*

$$\mu_w = \frac{Q_l}{W \times \sqrt{2g}h^{1.5}} \text{…….. (IV.32)}$$

Avec Ql : débit labyrinthe Ql=462.222 m3/s.
W : largeur total de labyrinthe (m).
H : charge déversant (m).

AN $\mu w = 0.94$

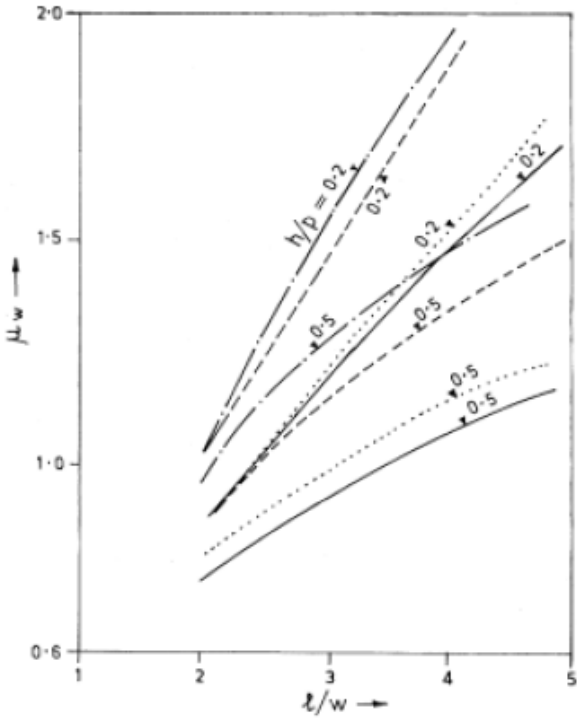


Figure IV. 7 : abaque relation μw, h/P et l/w (Zarrouk, Seqqat-Dakhma, Chérif 1995)

Alors pour μw=0.94 et h/P=0.4 et l'abaque de ZARROUK → L/w=2.1

*calculons la moyenne de l/w entre VARDAS et ZARROUK :

$$L/w=(2.2+2.1)/2 \quad \rightarrow \quad L/w = 2.15$$

*on a la largeur totale de labyrinthe W=15 m.
*le nombre des cycles n=5.
*largeur d'un seul cycle. w=15/5 → w=3 m

*calcule le rapport (w/P) :

$$w/P \quad \rightarrow \quad 3/9.46= 0.32$$

*calculons la largeur l, on a : L/w=2.15 et w=3 m

Donc L=6.45 m

- **Calcul a et b de déversoir labyrinthe**

On a :

$$L = 4a + 2b \text{…….. (IV.33)}$$

On pose a= 0.5 m et on calcule b

$$b= (6.45-4\times0.5)/2$$

$$b=2.225 \text{ m.}$$

- **Calcule l'angle αmax et α**

Pour le calcul des deux angles de déversoir labyrinthe α max et α on a :

✓ Calcule l'angle α max :

On a la relation suivant :

$$\alpha_{max} = \sin^{-1}\left[\frac{\frac{W}{10}}{b+2a}\right] \text{……. (IV.34)}$$

Avec α max : angle maximale que fait le déversoir.
W : largeur totale de déversoir labyrinthe W=15 m.

On a a= 0.5 m et b=2.225 m.

AN α max= 27.71°

✓ Calcule l'angle α:

On a la relation suivant :

$$\alpha = \sin^{-1}\left[\frac{\frac{W}{10}-2a}{b}\right] \text{……..…. (IV.35)}$$

Avec α : angle reele de déversoir.
W : largeur totale de déversoir labyrinthe W=15 m.

On a : a=0.5 m et b= 2.225 m.

AN α= 12.98° ≃ α= 13°

*On calcule le rapport (α/α max) :

α/α max → 13/27.71=0.47

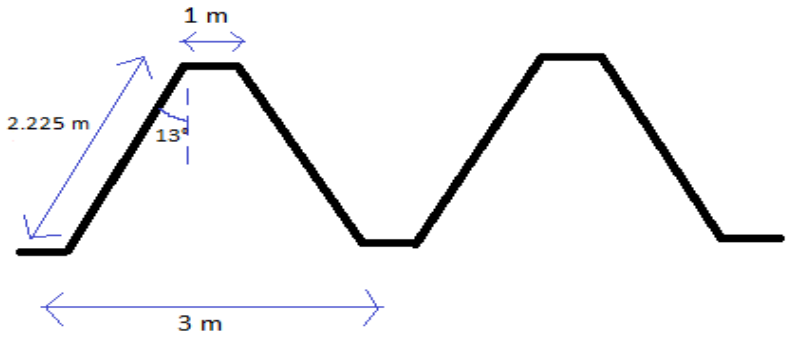


Figure IV. 8 : schéma de déversoir labyrinthe avec dimension

c. Coursier lisse

Après avoir dimensionné le déversoir de type labyrinthe on va dimensionner le coursier qui a une forme trapézoïdale.

- **Dimensionnement**

Pour le dimensionnement d'un coursier en forme trapézoïdale, on suit les mêmes étapes de calcule que le coursier rectangulaire.

✓ Calcule de la hauteur critique :

Pour le calcul de la hauteur critique hc on utilise la relation de maning-strikler :

$$Q= (1/n)R^{2/3}*S*n^{(1/2)} \quad \text{(IV.36)}$$

$$h_c = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{b^2 g}} \quad \text{(IV.37)}$$

Avec hc : hauteur critique (m).
Q : débit laminé (m3/s).
b : largeur de l'évacuateur de crue (m) b=15m.

AN hc= 4.59 m

✓ Calcule de hn :

La hauteur hn représente la hauteur normale c'est-à-dire la hauteur de la lame d'eau dans le coursier, hn est calculer par la relation de maning-strickler :

$$Q_s = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times S_i \times i^{\frac{1}{2}} \quad \text{(IV.38)}$$

Avec Qs : débit laminé (m3/s).
n : coeifficiene de maning. Pour le béton on a n=0.014.

R : rayon hydraulique. R=Sm/Pm → Sm : surface mouillée (m2).
Pm : périmètre mouillée (m).
Si : surface mouillée (m2).
i : la pente de coursier. i=1/0.9 m/m.

Par le calcule itératif on obtient : hn=0.616 m → V=50.02 m/s

*on a d'après les résultats obtenues hn < hc alors la condition est vérifier est donc on a un écoulement torrentiel.

✓ Méthode indirecte d'intégration numérique :

L'équation de cette méthode représente la solution de l'équation différentiel de l'équation de mouvement, en considère que (dQ/dx)=0.

(S0-Sf)/(1-Fr^2)=dx/dy……..…. (IV.39)

Avec S0 : pente du fond.
Sf : pente de la ligne d'énergie.
Fr : nombre de froude.

Suivant l'hypothèse qui dit que la pente de la ligne d'énergie Sf peut être calculée pour chaque valeur de profondeur en utilisant l'équation de Manning. L'équation devient en différences finies :

$$\Delta x = \frac{1-Fr^2}{i-G1} \times \Delta y \text{……. (IV.40)}$$

Avec Δx : variation suivant x.
Δy : variation suivant y.
Fr : nombre de froude.

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gh}} \text{……. (IV.41)}$$

G : représente l'équation.

G=(n^2×Q^2)/(Amoy^2×Rmoy^4/3)…….…. (IV.42)

Pour cela on donne des valeurs arbitraire a y telle que on a de hc=yc → hn=yn.
*les résultats de calcule sont dans le tableau suivant :

*Au niveau de h=hc on a un Froude = 1, donc la ligne d'eau atteindre une valeur infinie, pour résoudre ce problème en commence le calcule depuis une valeur inferieur à hc. Pour notre cas on a hc= 4.59 m donc au niveau du tableau IV.7 on a commencée par h=4.55 m.

Tableau IV. 7 : Résultats de calcule itératif de coursier

y	moy	s moy	P moy	r moy	Fr^2	1-Fr^2	(n2*Q2)/(Smoy2*R^4/3)	i-G1	dx	L
4,55										
4,4	4,475	67,125	23,95	2,80	1,06	0,06	0,00	1,10	-0,005	0,005
4,2	4,3	64,5	23,6	2,73	1,21	-0,21	0,002	1,10	-0,01	0,02
4	4,1	61,5	23,2	2,65	1,40	-0,40	0,003	1,10	-0,03	0,06
3,8	3,9	58,5	22,8	2,56	1,63	-0,6	0,003	1,10	-0,051	0,11
3,6	3,7	55,5	22,4	2,47	1,91	-0,91	0,004	1,105	-0,08	0,200
3,4	3,5	52,5	22	2,38	2,25	-1,25	0,004	1,10	-0,11	0,31
3,2	3,3	49,5	21,6	2,297	2,69	-1,69	0,005	1,10	-0,15	0,46
3	3,1	46,5	21,2	2,19	3,24	-2,24	0,006	1,10	-0,20	0,67
2,8	2,9	43,5	20,8	2,09	3,96	-2,96	0,008	1,10	-0,26	0,94
2,6	2,7	40,5	20,4	1,98	4,91	-3,91	0,010	1,09	-0,35	1,297
2,4	2,5	37,5	20	1,87	6,19	-5,19	0,012	1,09	-0,47	1,77
2,2	2,3	34,5	19,6	1,76	7,95	-6,95	0,016	1,09	-0,63	2,407
2	2,1	31,5	19,2	1,64	10,45	-9,45	0,021	1,08	-0,86	3,27
1,8	1,9	28,5	18,8	1,51	14,11	-13,11	0,029	1,08	-1,21	4,48
1,6	1,7	25,5	18,4	1,38	19,70	-18,70	0,041	1,06	-1,75	6,23
1,4	1,5	22,5	18	1,25	28,67	-27,67	0,061	1,04	-2,63	8,87
1,2	1,3	19,5	17,6	1,10	44,05	-43,05	0,096	1,01	-4,246	13,12
1	1,1	16,5	17,2	0,95	72,72	-71,72	0,16	0,94	-7,570	20,69
0,8	0,9	13,5	16,8	0,80	132,77	-131,77	0,30	0,80	-16,42	37,11
0,785	0,708	10,62	16,416	0,64	272,73	-271,73	0,66	0,44	-60,87	45

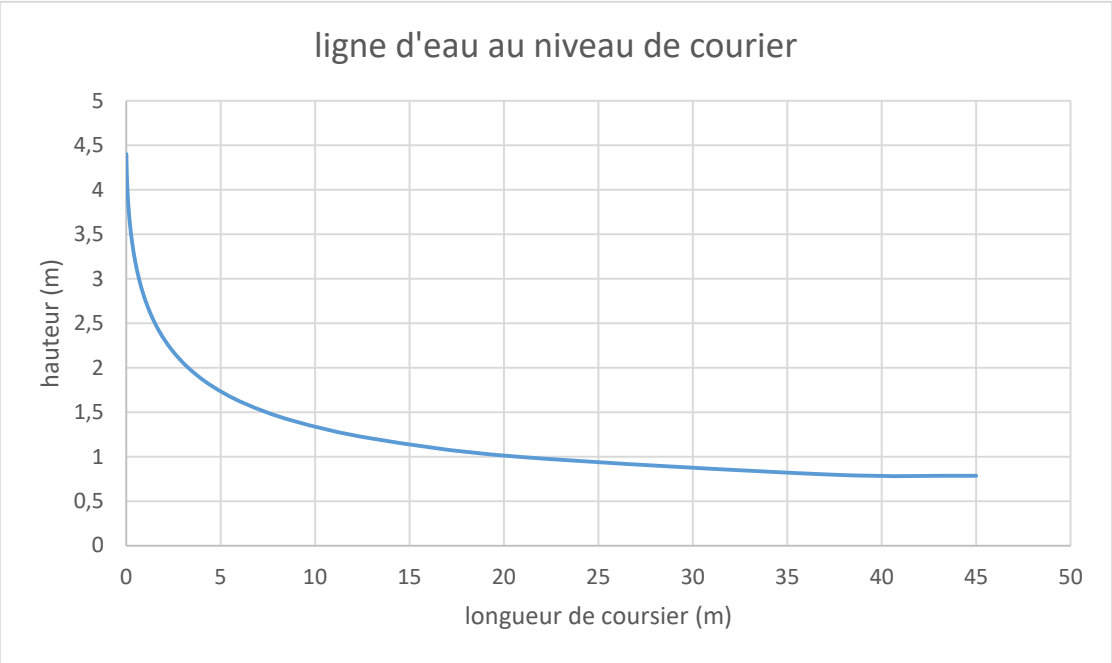


Figure IV. 9 : Courbe de ligne d'eau au niveau du coursier

✓ Calcule de la hauteur des mures bajoyer de coursier

Les murs bajoyers permettaient de garder l'écoulement de l'eau au niveau du coursier, donc ils un rôle de protection qui guide l'écoulement au niveau de coursier, la hauteur des murs bajoyers sont calculé avec la relation suivante:

$$H_m = h_n + R \text{……..…. (IV.43)}$$

Avec Hm : hauteur de mur bajoyer (m).
hn : hauteur normale de l'eau (m).
R : la revanche (m).

La revanche sert a protéger l'ouvrage de l'écoulement de l'eau pour un phénomène extrême, la revanche est calculé par la relation suivant :

$$R=0.61+0.14V\text{^}(1/3)\text{……..…. (IV.44)}$$

Avec V : vitesse de l'écoulement dans le coursier. V=50.02 m/s

AN R=1.12 m

Alors Hm=0.616+1.12

Hm=1.736 m

✓ Vérification des phénomènes d'aération et les vagues roulantes le long de coursier :

Au niveau du coursier on a la vitesse d'écoulement est important, cela peut engendrer le phénomène des vagues qui peut engendrer d'importants dégâts (l'érosion et la cavitation). Pour la vérification on prend des sections est on vérifier que V < Vcr. Pour le calcul de Vcr en utilise la relation de VOINITCH SYANOGENSKY

$$V_{cr} = 6.63\sqrt{gRcos\theta}\sqrt{1+\frac{0.0011}{R^2}}\left(1+\frac{8.71\times n}{R^{\frac{1}{6}}}\right) \text{..... (IV.45)}$$

Avec Vcr : vitesse critique (m/s).
R : rayon hydraulique.
θ : langle de coursier en °.
n : la rugosité du béton n=0.014.

Les résultats de calcule se trouve dans le tableau suivant :

Tableau IV. 8 : Résultats de calcule de phénomène d'aération et les vagues roulantes

Y (m)	R	Vcr (m/s)	V (m/s)	V<Vcr
4,495	2,81	28,68	6,85	vérifier
4,1	2,65	27,86	7,51	vérifier
3,6	2,43	26,71	8,55	vérifier
3,2	2,24	25,67	9,62	vérifier
2,8	2,03	24,49	11,00	vérifier
2,4	1,81	23,16	12,83	vérifier
2	1,57	21,62	15,40	vérifier
1,6	1,31	19,81	19,25	vérifier
1,3	1,10	18,21	23,70	non vérifier
1	0,88	16,33	30,81	non vérifier
0,8	0,72	14,86	38,51	non vérifier
0,616	0,56	13,29	50,02	non vérifier

Remarque IV.2 : D'après les résultats du tableau que l'ensemble des hauteurs d'eau vérifier la condition Vcr > V sauf les quatre (04) derniers valeurs. En prend la hauteur Y=0.616 m pour qu'il vérifier il faut que V <Vcr = 13.29 m/s.
On prend Vadm= 12 m/s et on calcule la rugosité que doit le béton avoir.

n=(R^1/6×(Ri)^0.5)/Vadm ……..…. (IV.46)

AN n = 0.060

Alors le coefficient de rugosité doit être n > 0.060 pour vérifier la condition.

d. Ouvrage de restitution :

Tenant compte de la géologie en général et puisqu'on a un barrage en BCR, alors on opte pour un ouvrage de restitution de type saut de ski qui représente une solution très abordée pour les barrages en béton.

Le principe de dimensionnement consiste à installer en bas de l'évacuateur un bec relançant l'eau vers le haut suivant un angle θ et une fosse d'affouillement. Il se crée à l'aval une fosse d'érosion, le pied du barrage doit être protégé sur la profondeur maximale de cette fosse.

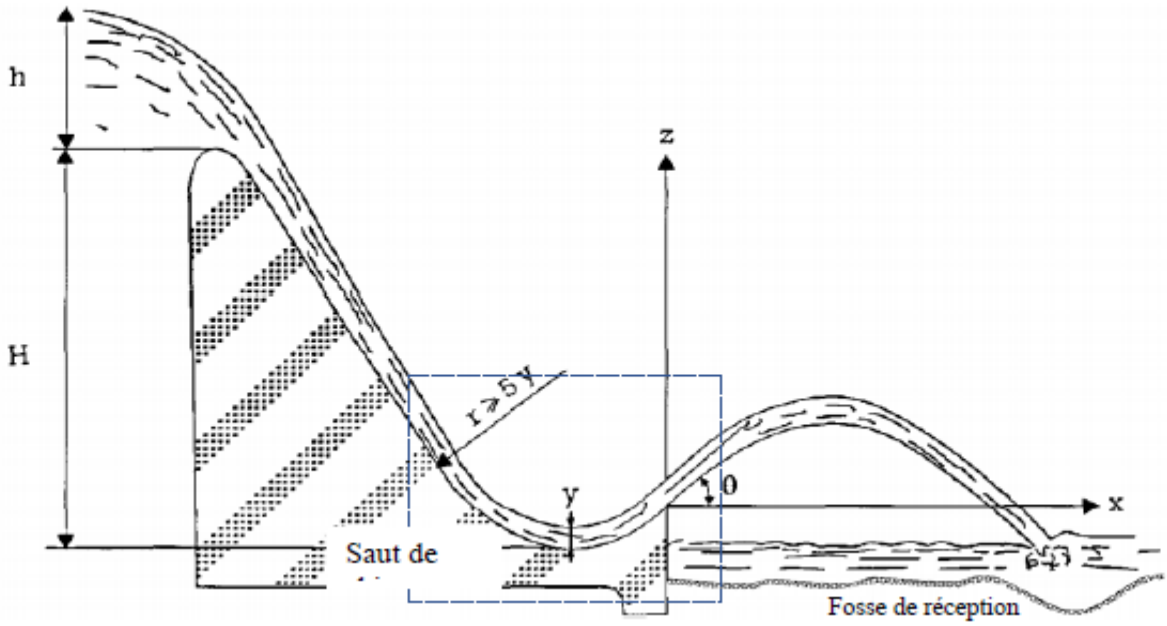


Figure IV. 10 : schéma d'un évacuateur avec saut de ski (source : USBR désign of small dams (Duncan et al. 1987))

- **Dimensionnement**

✓ Rayon minimum de dissipateur saut de ski :

Pour un écoulement en fin du coursier, on utilise une cuvette simple ayant un rayon minimum (R) qui permet un décollage du jet dans des bonnes conditions et pour la réduction de la quantité de mouvement de l'écoulement.

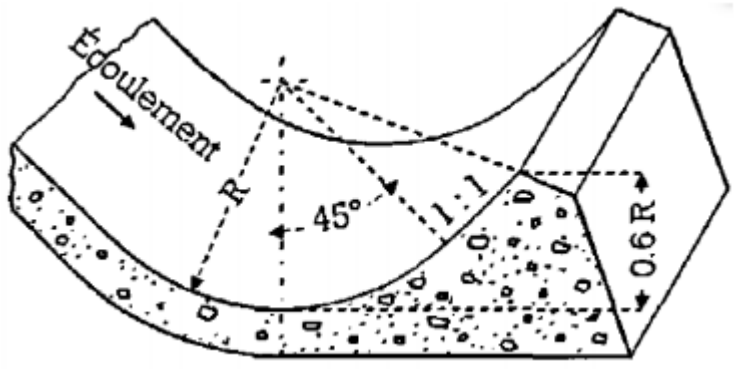


Figure IV. 11 : schéma d'un saut de ski (source : Google image)

Le rayon minimum "Rmin" dépend de nombre de Froude, il est calculer à partir de l'abaque qui se trouve dans l'annexe :

Alors on a : $F_r = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$…….. (IV.47)

AN Fr=20.34

De l'abaque on a Fr=20.34 → $0.04 = \frac{R_{min}}{h1+\frac{V_1^2}{2g}}$……. (IV.48)

Avec Rmin : rayon minimum (m).
V1 : vitesse en bas de coursier (m/s).
h1 : hauteur en bas de coursier (m).

AN Rmin= 5.12 m

Alors on opte pour un rayon de R= 5.5 m

- ✓ Angle de décollage de jet :

Le jet est caractérisé par une parabole, ce qui permet d'estimer la hauteur ainsi que la distance jusque auxquelles le jet peut être projeté. L'angle θ de décollage joue un grand rôle. Il est typiquement compris entre 20° et 40°.
Le jet s'évolue et retombe à une distance égale :

$$X = 1.8(h + \frac{V^2}{2g}) \sin 2\theta \text{..... (IV.49)}$$

Avec X : distance maximale de jet (m).
θ : angle de décollage en °.
V : vitesse de décollage.

*La hauteur de jet déterminer par rapport au point de décollage est suivant la relation suivant :

$$Y = 0.9 \sin(\theta)^2 \times H_t \text{……. (IV.50)}$$

Avec $H_t = cote_{NPHE} - cote_{fond} - h1$……..…(IV.51)

AN Ht= 36.451 m

*Les hauteurs et les distances de jet pour les différents angles θ sont représenté dans le tableau suivant :

Tableau IV. 9 : Résultats de calcules des hauteurs et distances suivants les différentes angles de jet

θ°	20	25	30	35	40
X (m)	148.25	176.688	199.74	216.74	227.14
Y (m)	3.83	5.85	8.20	10.79	13.55

D'après les résultats de Tableau IV-9 : on va perdre un angle 20°

Alors : X= 148.25 m et Y=3.83 m

✓ La fosse d'affouillement :

La protection avale est assuré par une fosse de dissipation (d'affouillement) et les parois de l'ouvrage sont protégées par des enrochements. La profondeur de la fosse d'affouillement est déterminée à l'aide de la relation suivante :

$$H_{aff} = 1.9 \times H^{0.225} \times q^{0.54} \text{..... (IV.52)}$$

Avec Haff : profondeur de la fosse d'affouillement (m).

$$H = 0.9 \sin(\theta)^2 \times H_t + \alpha \text{..... (IV.53)}$$

Avec Ht= 36.451 m et α= 1 m

AN H= 4.83 m

Haff= 17.24 m

IV.3. Choix de type de l'évacuateur

Après avoir dimensionné les deux types d'évacuateur choisissent comme variante proposé pour le barrage d'Ouldjet Meellegue (barrage en BCR). Dans le tableau suivant on donne une récapitulation sur les résultats trouvés par les calculs précédents.

Tableau IV. 10 : Récapitulation des résultats de calcule

Les différentes dimensions	**Evacuateur centrale avec déversoir de type GREAGER et bassin de dissipation de type USBR**		**Evacuateur centrale avec déversoir labyrinthe et coursier lisse et un dissipateur saut de ski**	
Déversoir	Déversoir de type GREAGER	-Largeur= 40 m -Charge déversant= 3.787 m	Déversoir de type labyrinthe	W= 15 m a=0.5 m b=2.225 m
Coursier	Coursier lisse	-Longueur= 45 m. -Largeur= 40m. -Hauteur des murs bajoyer= 1.41 m -épaisseur de mur bajoyer= 0.20 m	Coursier lisse	-Longueur= 45 m. -Largeur= 15 m. -Hauteur des murs bajoyer= 1.736 m.
Ouvrage de dissipation	Bassin de dissipation de type USBR	-Longueur du bassin= 37 m. -Largeur du bassin= 40 m. -Hauteur des mures bajoyer= 10 m. -Nombre des blocs= 61 -Nombre des dents= 3	Saut de ski	-Rayon = 5.5 m. -L'angle de jet= 20°. -Profondeur de la fosse = 17.24 m. -Longueur de jet= 148.25 m. -Hauteur de jet= 3.83 m.

IV.3.1. Critères de choix de la variante favorable.

La variante de l'évacuateur la plus favorable c'est la celle qui répond à plusieurs critères, parmi les critères importants on a :

- le rendement et la stabilité de l'ouvrage.
- la facilité de réalisation et exigence d'entretien.
- le cout et la durée de réalisation.

*Pour le barrage d'Ouldjet Mellegue, la variante la plus adéquat et l'évacuateur centrale avec déversoir de type GREAGER et coursier lisse, car :

- **Côté conception**
  - ✓ Le déversoir de type GREAGER est plus facile à réaliser que le déversoir de type labyrinthe.
  - ✓ Diminution de largeur de coursier pour la deuxième variante augmente le risque de débordement l'ors d'un évènement extrême.
  - ✓ La conception du bassin dissipation de la 1er variante est plus facile a réaliser que le saut de ski avec fausse d'affouillement qui à une grande longueur (148.25 m).

- **Coté cout de conception**

Dans le tableau suivant, on a le cout de réalisation des deux variantes d'évacuateurs proposé comme variante pour le barrage d'Ouldjet Mellegue.

Tableau IV. 11 : Cout de la conception totale de chaque variante

La variante	Type d'évacuateur	Le volume total (m3)	Cout totale de conception (DA)
1er variante	Evacuateur centrale avec déversoir de type GREAGER et coursier lisse	1116.927	39092445
2eme variante	Evacuateur centrale avec déversoir de type labyrinthe et saut de ski	Vbéton= 5863.1455 Vremblais= 43557.12	244411500.5

Conclusion

Dans ce chapitre on a donné deux variantes qui sont théoriquement et pratiquement faisables pour un barrage en BCR avec le calcul détaillé pour chaque variante proposée. Pour la fin de chapitre on a pu faire une sorte de comparaison entre les deux variantes proposées.
Après la comparaison entre les deux variantes, pour le dimensionnement de l'évacuateur de crues du barrage Ouldjet Mellegue, on opte pour la variante « Evacuateur de crues centrale avec déversoir de type GREAGER et coursier lisse et un bassin de dissipation de type USBR ».

CHAPITRE V : Etude de la variante choisi

INTRODUCTION

Dans le chapitre précédent (IV) on a proposé deux variantes d'évacuateur de crues qui sont théoriquement et pratiquement faisables pour un barrage en BCR, on a fait le dimensionnement de chacun des deux évacuateurs et en enfin on a choisi la variante à appliquer pour le barrage. Pour ce chapitre on va faire une étude génie civil détaillé de la variante choisit commençant par l'étude de stabilité (reversement, glissement), ensuite on passe par le ferraillage de tous les organes de l'évacuateur de crue.

V.1. Etude de stabilité

L'étude de stabilité est une étape très importante pour ce genre d'ouvrage, car elle permettre de vérifier si l'ouvrage est stable durant toute sa période de service.

Pour vérifier la stabilité d'un ouvrage, il faut qu'on doive vérifier :

- Stabilité en renversement.
- Stabilité au glissement.
- Stabilité au glissement.

V.1.1. Stabilité du déversoir

L'évacuateur choisi est intégré sur le centre du barrage suivant l'axe du Oued Mellegue, on a le seuil du déversoir est sur la cote 564.28 m NGA, le déversoir commence de la cote 563.826 m NGA. Le profil déversant de la crête se raccorde tangentiellement au parement avale du profil type GREAGER. Il sera réalisé avec des plotes avec des joints water-stops qui assure l'étanchéité du déversoir.

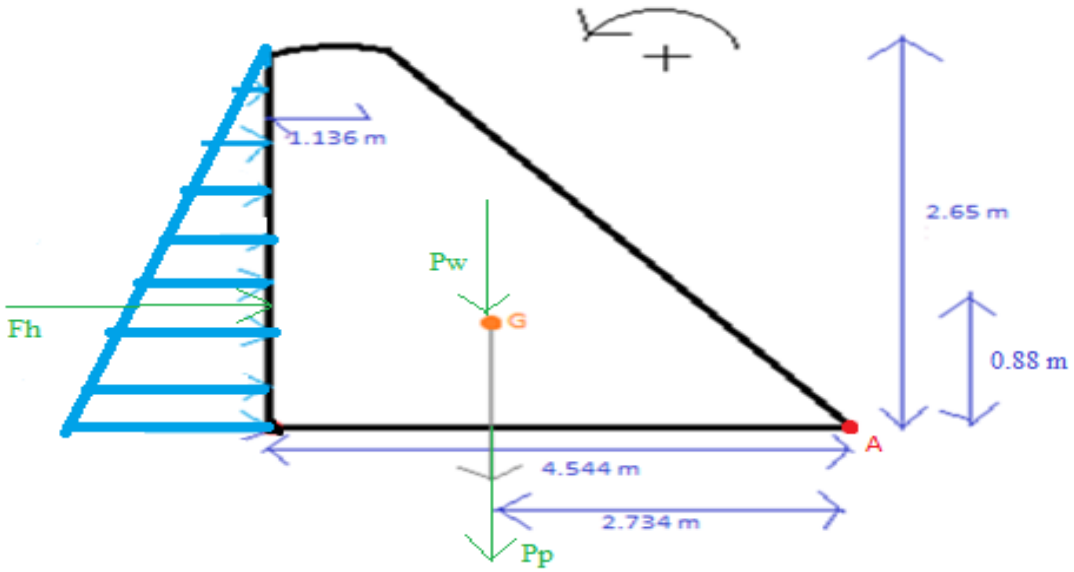


Figure V. 1 : schéma explicatifs des différentes longueurs dans le déversoir

- **Poids propre du déversoir**

Le poids du déversoir est calculé par la relation suivant :

$$P_p = \gamma_b \times S_d \times L_s \text{…….…. (V.1)}$$

Avec Pp : poids propre de déversoir (t).
γb : pois propre du béton γb= 2.5 t/m3.
Sd : section du déversoir (m2).
Ls : longueur du tranché Ls=1 m.

AN Pp= 2.5×6.675×1

Pp=16.68 t

- **Poids propre de la tranche d'eau appliquée sur le déversoir**

Le poids de l'eau est calculé par la relation suivant :

$$P_w = \gamma_w \times S_w \times L_s \text{…….. (V.2)}$$

Avec Pw : poids propre de l'eau (t).
γw : poids propre de l'eau γw=1t/m3.
Sw : section du tranché de l'eau appliquée sur le déversoir (m2).
Ls : longueur de tranché Ls= 1m.

AN Pw= 1×3.89×1

Pw=3.89 t

- **Force hydrostatique**

La force hydrostatique est calculée par la relation suivante :

$$F_h = \frac{1}{2} \times \gamma_w \times H_{amont}^2 \times L_s \text{…….... (V.3)}$$

Avec Fh : force hydrostatique
γw : poids propre de l'eau γw= 1t/m3.
Hamont : hauteur amont de l'eau (m).
Ls : longueur de tranché (m).

AN Fh=3.51 t

a. Stabilité en renversement

Pour vérifier la condition de renversement, on a la relation suivante :

$$(\sum MsA/\sum MrA) \geq 3 \text{ ……..... (V.4)}$$

Avec ∑Ms/A : la somme des moments stabilisatrice (t.m).

∑Mr/A : la somme des moments renversant (t.m).

Remarque V.1 : Puisque le barrage d'Ouldjet Mellegue se trouve dans un endroit avec une sismicité moyenne. Alors, pour assurer la sécurité de l'ouvrage en utilise un coefficient de sismicité qui rendre la vérification de stabilité supérieur à 3 (inclut le coefficient de séisme) selon la notification de RPA 2003.

AN $\sum Ms/A = Pp \times a + Pw \times b$…… (V.5)

$\sum Ms/A = 16.68 \times 2.734 + 3.89 \times 2.734$

$\sum Ms/A = 56.23 t.m$

$\sum Mr/A = Fh \times c$…….. (V.6)

$\sum Mr/A = 3.51 \times 0.88$

$\sum Mr/A = 3.08$ t.m

$\sum MsA/\sum MrA = 56.23/3.08$

$\sum MsA/\sum MrA = 18.25 > 3$ → condition vérifier.

*Alors la stabilité de déversoir au reversement est vérifiée.

b. Stabilité au glissement

Pour vérifier la stabilité au glissement, il faut que la condition suivante doive être vérifiée :

$\frac{\sum F_h}{\sum F_v} < 0.8$…… (V.7)

Avec ∑Fh : somme des forces horizontale (t).
∑Fv : somme des forces verticale (t).

Remarque V.2 : la valeur de condition de stabilité 0.8, est une valeur donnée selon les normes pour le cas d'une région exposée au séisme (le coefficient de séisme est pris en considération dans la valeur 0.8) avec un degré moyenne selon le RPA 2003.

AN $\sum Fh = 3.51$ t

$\sum Fv = 16.68 + 3.89 = 20.57$ t

$\sum Fh/\sum Fv = 3.51/20.57$

$\sum Fh/\sum Fv = 0.17 < 0.8$ → condition vérifier.

*Alors la stabilité de déversoir au glissement est vérifiée.

Remarque V.3 : comme on a une digue en BCR et l'évacuateur de crue et posé sur la digue, alors la stabilité de déversoir au poinçonnement est vérifier.

V.1.2. Stabilité des murs bajoyer de coursier

Puisque on a un barrage en BCR, alors comme on a mentionné avant que l'évacuateur est posé sur la digue. Donc le coursier de l'évacuateur a le même fruit de talus que la digue 0.9H/1V avec une largeur de 40 m. Les murs de soutènement de coursier a deux principaux rôles. Les premiers, il s'opposant la poussé de l'eau et deuxièmes ils conduisent l'écoulement vers l'aval. Pour le calcul de stabilité des murs en considère que le coursier est plein pour des raisons de sécurité.

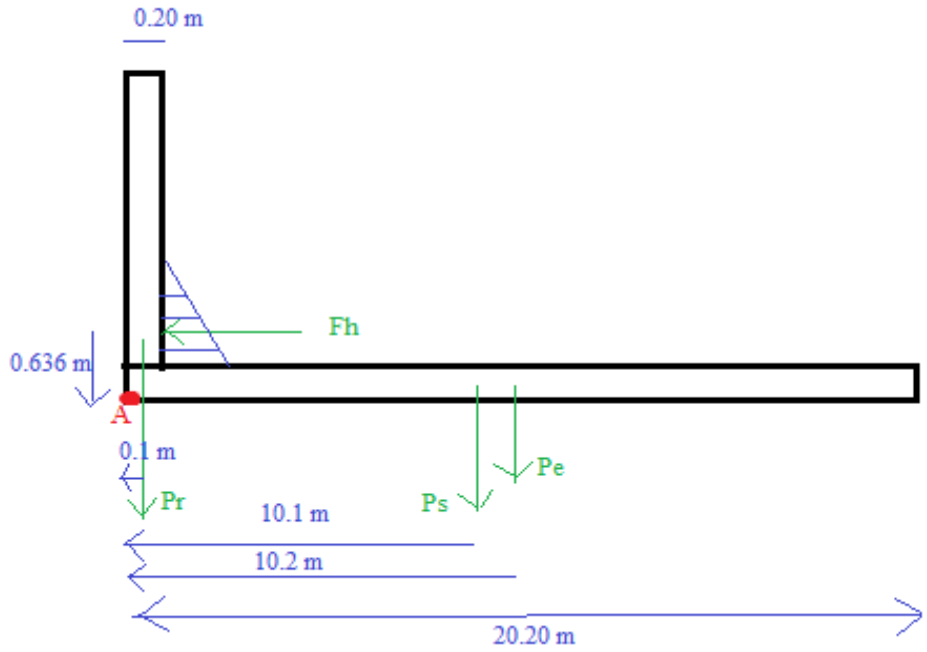


Figure V. 2 : schéma explicatif des différentes longueurs dans le coursier

- **Forces verticales**

✓ Poids propre de rideau :

Le poids de rideau est déterminer par :

$$P_r = \gamma_b \times S_r \times L_s \text{..... (V.8)}$$

Avec Pr : poids propre de rideau (t).
γb : poid du béton γ=2.5 t/m3.
Sr : section de rideau (m2) → Sr= 1.41×0.20= 0.282 m2
Ls : longueur de la tranche Ls= 1 m.

AN Pr= 2.5×0.282×1

Pr= 0.705 t

✓ Poids propre de la semelle :

Le poids de la semelle est calculé par la relation suivant :

$$P_s = \gamma_b \times S_s \times L_s \text{..... (V.9)}$$

Avec Ps : poids de la semelle (t).
γb: poids du béton γb=2.5 t/m3.
Sse : section de la semelle → Sse= 20.2×0.5= 10.1 m2.
Ls : longueur de la tranche Ls= 1 m.

AN Ps= 2.5×10.1×1

Ps= 25.25 t

✓ Poids propre de l'eau :

Le poids de l'eau est calculé par :

$$P_e = \gamma_w \times S_e \times L_s \text{……. (V.10)}$$

Avec Pe : poids propre de l'eau (t).
γw : poids de l'eau γw= 1t/m3.
Se : surface occupé par l'eau. → Se= 20×0.348= 6.96 m2.
Ls : longueur de la tranche Ls= 1m.

AN Pe= 1×6.96×1

Pe= 6.96 t

- **Forces horizontales**

✓ Poussée de l'eau dans le coursier :

La poussé de l'eau est déterminer par :

$$F_h = \frac{1}{2}\gamma_w \times hn^2 \times L_s \text{……...….. (V.11)}$$

Avec Fh : poussé de l'eau (t).
γw : poids de l'eau γw= 1 t/m3.
hn : hauteur de l'eau hn= 0.348 m.
Ls : longueur de tranché Ls= 1 m.

AN Fh= 0.5×1×0.348^2×1

Fh= 0.060 t.

a. Stabilité au renversement

Pour vérifier la stabilité, il faut que la condition suivant soit vérifié :

$$\sum Ms,A/\sum Mr,A > 3 \text{ ……..…. (V.12)}$$

Avec ∑ Ms/A : somme des moments stabilisatrice (t.m).
∑Mr/A: somme des moments reversant (t.m).

Remarque V.4 : Puisque le barrage d'Ouldjet Mellegue se trouve dans un endroit avec une sismicité moyenne. Alors, pour assurer la sécurité de l'ouvrage en utilise un coefficient de sismicité qui rendre la vérification de stabilité supérieur à 3 (inclut le coefficient de séisme) selon la notification de RPA 2003.

AN $\sum Ms/A = Pr \times a + Ps \times b + Pe \times c$…… (V.13)

$$\sum Ms/A = 0.705 \times 0.1 + 25.25 \times 10.1 + 6.96 \times 10.2$$

$$\sum Ms/A = 326.08 \text{ t.m}$$

$\sum Mr/A = Fh \times d$…….. (V.14)

$$\sum Mr/A = 0.060 \times 0.636$$

$$\sum Mr/A = 0.038 \text{ t.m}$$

$$\sum MsA/\sum MrA = 326.08/0.038$$

$\sum MsA/\sum MrA = 8581.05 > 3$ → condition vérifier.

*Alors la stabilité des murs bajoyer au reversement est vérifiée.

b. Stabilité au glissement

Pour vérifier la stabilité des murs au glissement, il faut que la condition suivant doive être vérifié :

$$\frac{\sum F_h}{\sum F_v} < 0.8$$…….. (V.15)

Avec ∑Fh : somme des forces horizontales (t).
∑Fv : somme des forces verticales (t).
f=0.8 : coefficient de glissement béton/béton.

Remarque V.5 : la valeur de condition de stabilité 0.8, est une valeur donnée selon les normes pour le cas d'une région exposée au séisme (le coefficient de séisme est pris en considération dans la valeur 0.8) avec un degré moyenne selon le RPA 2003.

AN $$\sum Fh = 0.060 \text{ t}$$

$$\sum Fv = 0.705 + 25.25 + 6.96 = 32.91 \text{ t}$$

$$\sum Fh/\sum Fv = 0.060/32.91$$

$\sum Fh/\sum Fv = 0.001 < 0.8$ → condition vérifier.

*Alors la stabilité de murs bajoyer au glissement est vérifiée.

Remarque V.6 : comme le coursier est posée directement sur la digue en béton. Alors la stabilité au poinçonnement est vérifier sans calcule.

V.1.3. Stabilités des murs bajoyer du bassin de dissipation

Le bassin de dissipation sert à réduire la quantité d'énergie de l'écoulement en aval du coursier. Le bassin est équipé des deux côtés par des murs appelés murs bajoyer du bassin qui ont une forme d'un mur a contre fort. Pour le calcul de stabilité en considère les valeurs suivantes qui sont adéquats pour notre cas :

- Epaisseur des murs bajoyer du bassin Em= 35 cm.
- Epaisseur de la semelle du bassin Es= 50cm.
- Epaisseur du contre fort Ecf= 35 cm.
- Longueur entre deux contre fort Lcf= 4m.
- Largeur de base du contre fort lcf= 2m.

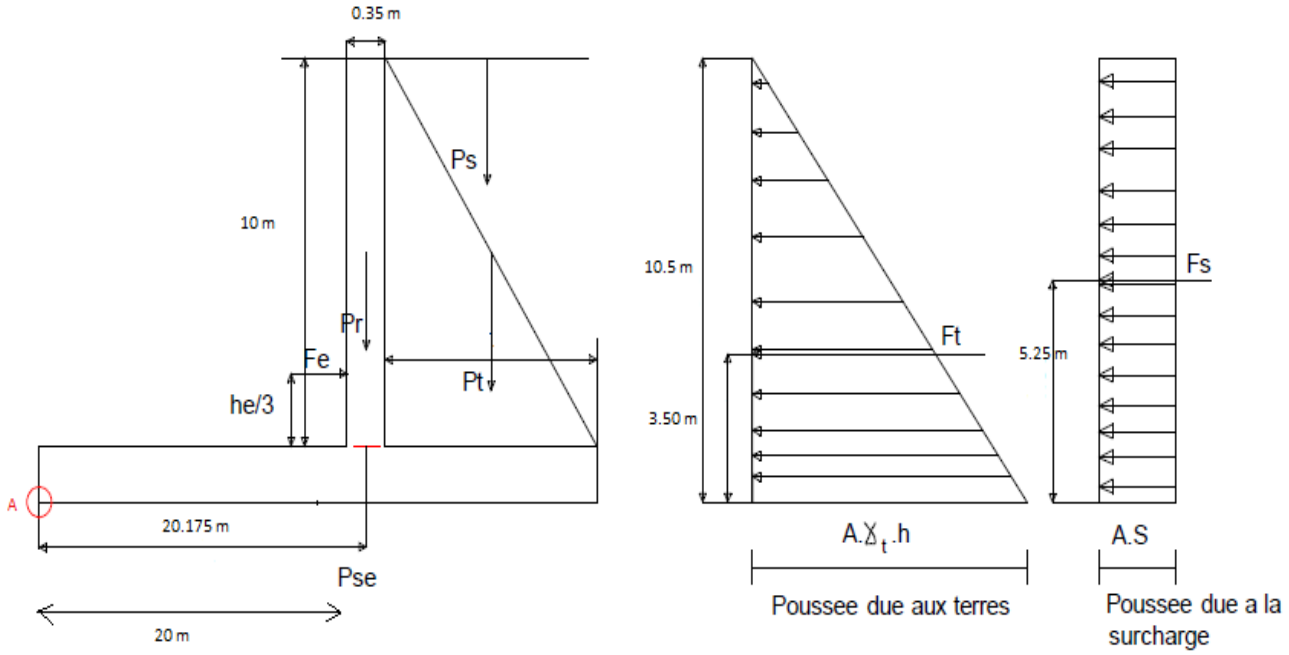


Figure V. 3 : schéma explicatif de différentes charges et longueur dans le bassin de dissipation

- **Calculs des forces verticales**

✓ Poids propre de rideau :

Le poids propre de rideau est déterminé par la relation :

$$P_r = \gamma_b \times S_r \times L_s \text{.....} \quad \text{(V.16)}$$

Avec Pr : poids propre de rideau (t).
γb : poids du béton γb= 2.5t/m3.
Sr : section de rideau avec Sr= 10×0.35= 3.5 m2.
Ls : longueur de tranché Ls= 1m.

AN Pr= 2.5×3.5×1

Pr= 8.75 t

✓ Poids propre de la semelle :

Le poids de a semelle est calculé par :

$$P_{se} = \gamma_b \times S_{se} \times L_s \text{…….. (V.17)}$$

Avec Pse : poids propre de la semelle (t).
γb : poids du béton γb=2.5 t/m3.
Sse : section de la semelle avec Sse= 22.35×0.5= 11.175 m2.
Ls : longueur de tranché Ls= 1m.

AN Pse= 2.5×11.175×1

Pse= 27.93 t

✓ Poids propre du contre fort :

Le poids du contre fort égale à :

$$P_{cf} = \gamma_b \times S_{cf} \times L_s \text{……..…. (V.18)}$$

Avec Pcf : poids propre du contre fort (t).
γb : Poid du béton γb=2.5 t/m3.
Scf : section du contre fort avec Scf= (2×10)/2= 10 m2.
Ls : longueur du contre fort Ls= 0.35m.

AN Pcf= 2.5×10×0.35

Pcf= 8.75 t

✓ Poids propre de l'eau :

Le poids propre de l'eau est :

$$P_e = \gamma_w \times S_e \times L_s \text{……. (V.19)}$$

Avec Pe : poids propre de l'eau (t).
γw : poids de l'eau γw=1t/m3.
Se : section occupé par l'eau avec Se= 20×8.96= 179.2 m2.
Ls : longueur de tranché Ls= 1m.

AN Pe= 1×179.2×1

Pe= 179.2 t

✓ Poids propre des terres :

Le poids des terres est déterminer par :

$$P_t = \gamma_t \times S_t \times L_s \text{…….. (V.20)}$$

Avec Pt : poids propre des terres (t).
γt : poid des terres γt= 1.8t/m3.
St : section des terres avec St= 2×10 = 20m2.
Ls : longueur d'une tranche Ls= 1m.

AN Pt= 1.8×20×1

Pt= 36 t

✓ Poids propre de la surcharge :

Considérons une surcharge sur le sol, alors :

$$P_s = s \times l \times L_s \text{……..…… (V.21)}$$

Avec Ps : poids de la surcharge (t).
s : poids de la surcharge s= 0.8 t/m2.
l : largeur de la surcharge l= 2m.
Ls : longueur du tranché Ls= 1m.

AN Ps= 0.8×2×1

Ps= 1.6 t

- **Forces horizontales**

✓ Poussée de l'eau :

$$F_e = \frac{1}{2}\gamma_w \times h^2 \times L_s \text{……..…….. (V.22)}$$

Avec Fe : poussée de l'eau (t).
γw : poids de l'eau γw= 1t/m3.
H : hauteur de l'eau (m).
Ls : longueur de tranché Ls= 1m.

AN Fe= 0.5×1×8.96^2×1

Fe= 40.14 t.

✓ Poussées des terres :

$$F_t = k \times \gamma_t \times \frac{h^2}{2} \times Ls \text{…….. (V.23)}$$

Avec Ft : poussées des terres (t).

$$k = \tan\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right) \text{^2……..…. (V.24)}$$

φ : angle de frottement en °
h : hauteur d'eau (m).
γt : poids des terres γt= 1.8t/m3.
Ls : longueur d'un tranché Ls= 1 m.

AN Ft= 0.333×1.8×(10^2/2)×1

Ft= 30 t

✓ Poussée de la surcharge :

$$F_s = k \times s \times h \text{…….. (V.25)}$$

Avec Fs : poussée de la surcharge (t).
s : la surcharge s= 0.8t/m2.
h : hauteur en (m).

AN Fs= 0.333×0.8×10

Fs= 2.66 t

a. Stabilité au reversement

Pour vérifier la stabilité, il faut que la condition suivant soit vérifié :

$$\sum Ms/\sum Mr \geq 3 \text{ ……... (V.26)}$$

Avec ∑ Ms/A : somme des moments stabilisatrice (t.m).
∑Mr/A : somme des moments reversant (t.m).

Remarque V.7 : Puisque le barrage d'Ouldjet Mellegue se trouve dans un endroit avec une sismicité moyenne. Alors, pour assurer la sécurité de l'ouvrage en utilise un coefficient de sismicité qui rendre la vérification de stabilité supérieur à 3 (inclut le coefficient de séisme) selon la notification de RPA 2003.

AN ∑Ms= Pr×a+Ps×b+Pcf×c+Pe×d+Pt×e+Ps×f…… (V.27)

∑Ms= 8.75×20.175+27.93×11.175+8.75×21.01+179.2×10+36×21.35+1.6×21.35

∑Ms/A= 3267.24 t.m

∑Mr/A= Ft×g+Fs×h-Fe×i……..…….. (V.28)

∑Mr/A=-30×3.50-2.66×5.25+40.14×3.15

∑Mr/A= 217.476 t.m

∑Ms/∑Mr= 3267.24/217.476

$$\sum Ms/\sum Mr=15.02 > 3 \quad \rightarrow \text{condition vérifier.}$$

*Alors la stabilité au renversement est vérifiée.

b. Stabilité au glissement

Pour vérifier la stabilité des murs au glissement, il faut que la condition suivant doive être vérifié :

$$\frac{\sum F_h}{\sum F_v} < 0.8 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(V.29)}$$

Avec ∑Fh : somme des forces horizontales (t).
∑Fv : somme des forces verticales (t).
f=0.8 : coefficient de glissement béton/béton.

Remarque V.8 : la valeur de condition de stabilité 0.8, est une valeur donnée selon les normes pour le cas d'une région exposée au séisme (le coefficient de séisme est pris en considération dans la valeur 0.8) avec un degré moyenne selon le RPA 2003.

AN ∑Fh= 40.14+30+2.66= 72.8 t.

∑Fv= 8.75+27.93+8.75+179.2+36+1.6= 262.23 t

∑Fh/∑Fv= 72.8/262.23

∑Fh/∑Fv= 0.28 < 0.8 → condition vérifier.

*Alors la stabilité de murs bajoyer au glissement est vérifiée.

c. Stabilité au poinçonnement

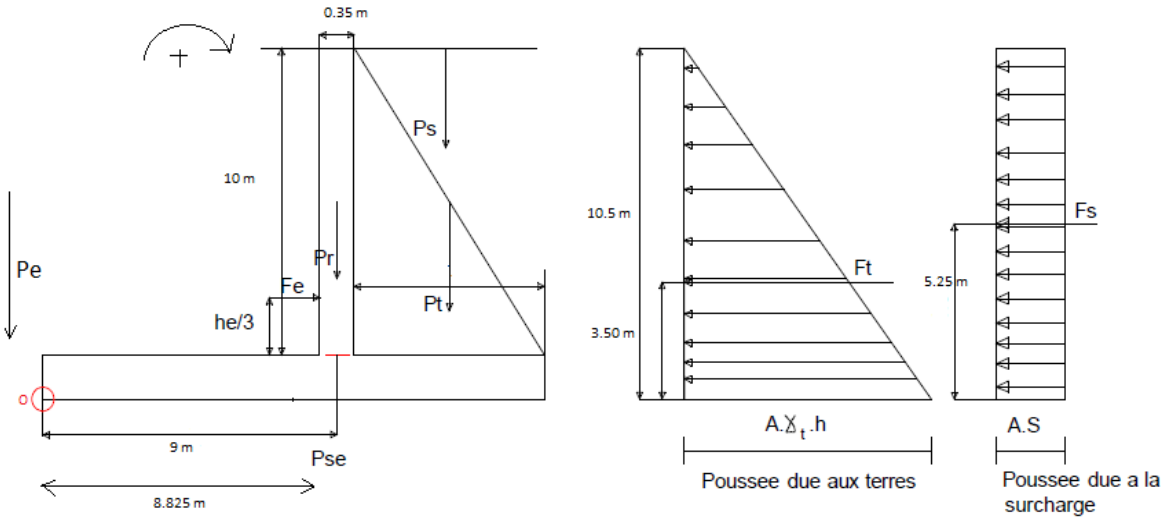


Figure V. 4 : schéma des charges et longueur pour vérifier le poinçonnement

Pour vérifier la stabilité de l'ouvrage au poinçonnement, on suit la méthodologie suivante :

On a $\sum Fv=N= 262.23t$

Et $\sigma_{1,2} = \frac{N}{100\times B} \pm \frac{6M}{100\times b^2}$…… (V.30)

Avec σ : contrainte effectuer au niveau du béton (bar).
N : somme des forces verticales (t).
M : moment totale appliqué sur l'ouvrage.

✓ Calcule le moment total appliqué sur l'ouvrage :

Pour le calcul du moment total appliqué on a la relation :

$$Mtot= \sum M/o \text{…….... (V.31)}$$

Avec Mtot : moment total appliqué (t.m).
∑M/o : somme des moments par rapport au point o.

AN $Mtot= Pr\times d1+Pcf\times d2+(Pt+Ps)\times d3-Pe\times d4+Fe\times d5-Fs\times d6-Ft\times d7$

$$Mtot= 329.22 \text{ t.m}$$

✓ Calcul les contraintes σ1 et σ2 et σ moy :

Il faut que la condition suivante doive être vérifiée :

$$\frac{3\sigma_1+\sigma_2}{4} < \sigma_{sol} \text{……..…. (V.32)}$$

Alors :

σ1= 1.56 bar.
σ2= 0.77 bar.

✓ Calcule σ moyenne :

$$\sigma_{moy} = \frac{3\times\sigma_1+\sigma_2}{4} \text{……..….. (V.33)}$$

AN σ moy= (3×1.56+0.77)/4

σ moy= 1.36 bar < σ sol= 1.8 bar → condition vérifier.

Remarque V.9 : la valeur de la contrainte de la terre 1.8 bar, est une valeur donnée selon les normes pour le cas d'une région exposée au séisme (le coefficient de séisme est pris en considération pour la contrainte des terres) avec un degré moyenne selon le RPA 2003.

*Alors la stabilité au poinçonnement est vérifiée.

Conclusion V.1 : après le calcul de stabilité, on constate que l'évacuateur résiste aux différentes charges appliquant, et donc on passé vers l'étape de calcul de ferraillage des éléments de l'évacuateur.

V.2. Ferraillage des éléments d'évacuateur

V.2.1. Ferraillage du déversoir

Le calcul de ferraillage du déversoir suit le même principe de ferraillage d'un rideau sans contre fort, pour ce cas la force qui intègre c'est la poussée de l'eau. Le déversoir d'une hauteur de 2.65 m.

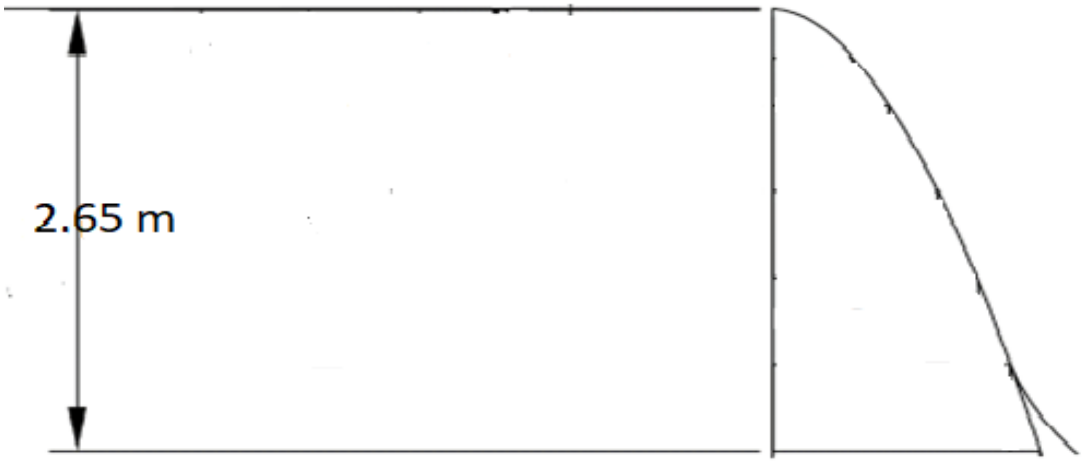


Figure V. 5 : schéma expliquant les tranches du déversoir

a. Données de départ

Les données a utilisées sont représenter dans le tableau suivant :

Tableau V. 1 : Données de départ pour le ferraillage du déversoir

Désignation	Symbole	valeur
Hauteur du déversoir	h	2.65 m
La force hydrostatique	Fh	3.51 t
Contrainte admissible à la compression du béton	γbc	142 bars
Poids volumique du béton.	γb	2.5 t/m3
Contrainte de rupture des aciers	Fe (bar)	4000 bars
Coefficient de sécurité pour les aciers.	γs (cas courant)	1.15
Enrobage choisi	e	4 cm

b. Calcule des moments de chaque tranche

Le calcul des moments de chaque tranche est déterminé par l'équation suivant :

$$M_i = 1.5 \times F_h \times \left(\frac{hi}{2}\right) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(V.34)}$$

Avec Mi : moment de chaque tranche (t.m).
Fh : force hydrostatique (t).
hi : hauteur du mur (m).
1.5 : coefficient de sécurité selon RPA.

AN : le calcul des moments pour chaque tranche est représenté dans le tableau suivant :

Tableau V. 2 : Résultats de calcul des moments pour chaque tranche de déversoir

Hauteur hi (m)	Le moment Mi (t.m)
2.65	6.97

d. Calcul des aciers

✓ Calcul du moment réduit :

Le moment réduit est calculé selon la relation :

$$\mu_i = \frac{Mi}{\sigma_{bc} \times b \times d^2} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(V.35)}$$

Avec σbc: Contrainte admissible a la compression du béton. σbc=142 $bars$
b : Longueur de la tranche. ⇒ b=1 m
di: Largeur du mur diminue de l'enrobage de chaque tranche.

$$di = ai - e \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(V.36)}$$

ai : Largeur du mur de chaque tranche.
e : Enrobage. e= 4cm.

AN : les résultats sont dans le tableau suivant :

Tableau V. 3 : Résultats de calcule de μi

hi (m)	Mi (t.m)	μi
2.65	6.97	0.0053

✓ Calcul de la section des aciers :

La section d'acier nécessaire pour chaque tranche est déterminée par la relation ci-dessous :

$$A_s = \frac{M_i}{\beta_i \times d_i \times \sigma_s} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(V.37)}$$

Avec

$$\beta_i = 1 - 0.4\alpha_i \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(V.38)}$$

Et $\alpha_i = \frac{1-\sqrt{1-2\mu_i}}{0.8}$…… (V.39)

✓ Calcule la section des aciers minimum :

D'après le RPA 2003 : Le pourcentage total minimum des aciers longitudinaux est de 0,5% de la section du béton en toute section.

$$A_{s,min} = 0.05 \times b \times a \text{……..…} \quad \text{(V.40)}$$

✓ Choix de la section à prendre :

La section d'acier à prendre est déterminer par :

$$A_s = \max(A_{s,cal}, A_{s,min}) \text{……..} \quad \text{(V.41)}$$

✓ Nombre des aciers :

Le calcul des nombres des aciers se fait par l'équation suivant :

$$N_b = \frac{A_s}{A_0} + 1 \text{……..…} \quad \text{(V.42)}$$

Avec Nb : nombres des barres d'aciers.
As : section des aciers (cm).
A0 : section d'un acier (cm).

Tableau V. 4 : section des aciers utilisés (Source : ANBT)

Diamètre d'acier (cm)	A0 (cm2)
12	1,13
14	1,54
16	2,01
20	3,14
25	4,91
32	8,04
40	12,57

✓ Ferraillage horizontale :

Pour le ferraillage horizontal, dépend du ferraillage vertical suivant la relation :

$$A_{repartie} = \frac{A_{s,choisi}}{4} \text{……..…} \quad \text{(V.43)}$$

Avec As,choisi : section d'acier verticale utiliser (cm2).
A repartie : section des armatures horizontales nécessaire (cm2).

*Le calcul du ferraillage total vertical est représenté dans le tableau ci-dessous :

Tableau V. 5 : Résultats de calcul de ferraillage du déversoir

tranche	Mi (t.m)	ui	α	β	Ai (cm2)	Ai min (cm2)	As (cm2)	Diamètre (cm)	section de l'acier	nombre d'acier	As répartie (cm2)	nombres d'aciers
1	6.97	0.0053	0.006	0.997	2.09	480	480	12	1,13	425	120	105
								14	1,54	310		80
								16	2,01	240		60
								20	3,14	150		40
								25	4,91	100		25
								32	8,04	60		15
								40	12,57	40		10

V.2.2. Ferraillage de coursier avec mur bajoyer

Le ferraillage de coursier + mur bajoyer suit le même principe de ferraillage d'un mur de soutènement avec semelle. Dans le coursier la force qui influents c'est la poussée de l'eau Fe. Comme la hauteur de mur n'est pas importante, alors on calcule seulement les aciers par rapport à la base de mur et le calcul se fait à l'état limite ultime (1.35 pour des charges permanantes et 1.5 pour les charges d'exploitation) et un enrobage de e= 3cm.

1. Ferraillage de mur de coursier

a. Données de départ

Les données a utilisées sont représenter dans le tableau suivant :

Tableau V. 6 : Données de départ pour le ferraillage du coursier

Désignation	Symbole	valeur
Hauteur du coursier	P	1.41 m
La force hydrostatique	Fe	0.060t
Contrainte admissible à la compression du béton	γbc	142 bars
Poids volumique du béton.	γb	2.5 t/m3
Contrainte de rupture des aciers	Fe (bar)	4000 bars
Coefficient de sécurité pour les aciers.	γs (cas courant)	1.15
Enrobage choisi	e	3 cm

b. Calcule le moment de mur de coursier

Le calcul de moment de mur est déterminé par l'équation suivant :

$$M_i = 1.5 \times \gamma_w \times h^2 \times \frac{1}{2} \times 1 \text{……..…. (V.44)}$$

Avec Mi : moment de chaque tranche (t.m).
hi : hauteur de mur
1.5 : coeifficient de sécurité selon RPA.

AN Mi= 1.49 t

c. Calcul des aciers

✓ Calcul du moment réduit :

Le moment réduit est calculé selon la relation :

$$\mu_i = \frac{Mi}{\sigma_{bc} \times b \times d^2} \text{…… (V.45)}$$

Avec σbc: Contrainte admissible à la compression du béton.
b : Longueur de la tranche. b=1 m

di: Largeur du mur diminue de l'enrobage de chaque tranche.

$$di=ai-e \quad \text{(V.46)}$$

ai : Largeur du mur de chaque tranche.
e : Enrobage. e= 3cm.

AN ui= 0.036

- ✓ Calcul de la section d'aciers :

La section d'acier nécessaire pour chaque tranche est déterminée par la relation ci-dessous :

$$A_s = \frac{M_i}{\beta_i \times d_i \times \sigma_s} \quad \text{(V.47)}$$

Avec

$$\alpha_i = \frac{1-\sqrt{1-2\mu_i}}{0.8} \quad \text{(V.48)}$$

AN α= 0.045

Et $\beta_i = 1 - 0.4\alpha_i$ (V.49)

AN βi= 0.982

Alors Ai= 2.56 cm2

- ✓ Nombre des aciers :

Le calcul des nombres des aciers se fait par l'équation suivant :

$$N_b = \frac{A_s}{A_0} + 1 \quad \text{(V.50)}$$

Avec Nb : nombres des barres d'aciers.
As : section des aciers (cm).
A0 : section d'un acier (cm).

Tableau V. 7 : nombres des armatures suivants la section des aciers ordinaire

Diamètre d'acier (cm)	A0 (cm2)	Nombres d'aciers	Espacement (cm)
12	1,13	4	25
14	1,54	3	33
16	2,01	2	50

Donc on aura : 4 barres de 12 mm avec espacement de 25 cm

✓ Ferraillage horizontale :

Pour le ferraillage horizontal, dépend du ferraillage vertical suivant la relation :

$$A_{repartie} = \frac{A_{s,choisi}}{4} \text{..... (V.51)}$$

Avec As,choisi : section d'acier verticale utiliser (cm2).
A repartie : section des armatures horizontales nécessaire (cm2).

AN A reparti= 0.64 cm2

Donc on a : 4 barres de 8 mm avec espacement de 25 cm

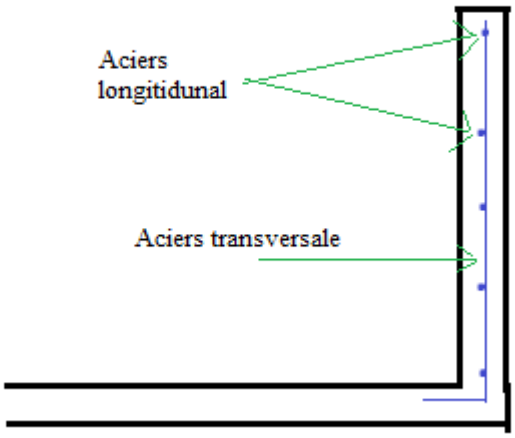


Figure V. 6 : schéma explicatif de ferraillage du mur de coursier

2. Ferraillage de la semelle de coursier

La semelle de coursier reçoit les charges effectuer par : poids propre de la semelle, poids propre de mur bajoyer, poids de l'eau et réaction du sol.

a. Calcule des contraintes effectuées à la semelle

✓ Contrainte dus au poids propre de la semelle :

$$\sigma_{se} = \frac{1.35 \times P_{se}}{100 \times B} \text{..... (V.52)}$$

Avec σse : contrainte dus au poids de la semelle (bars).
Pse : poids propre de la semelle (Kg).
B : largeur de la semelle (cm).

AN σse= 0.152 bar

✓ Contrainte dus au poids propre (Pr et Pe) :

$$\sigma_{r,e} = \frac{1.35\times P_r + 1.5\times P_e}{100\times B1} \text{..... (V.53)}$$

Avec σ r,e : contrainte dus au poids Pr et Pe (bar).
Pr : poids propre de rideau (Kg).
Pe : poids propre de l'eau (Kg).
B1: largeur (cm).

AN σr,e= 0.056 bar

✓ Calcule les deux contraintes de poinçonnement :

$$\sigma_{1,2} = \frac{N}{100\times B} \pm \frac{6M_o}{100\times B^2} \text{..... (V.54)}$$

Avec σ1,2 : contrainte du poinçonnement (bar).
N : somme des forces vertical (Kg).
M/o : somme des moments par rapport au point o (Kg.cm).

AN σ1= 0.172 bar et σ2= 0.153 bar

*Dans la figure ci-dessous on a le diagramme des contraintes appliqué sur la semelle :

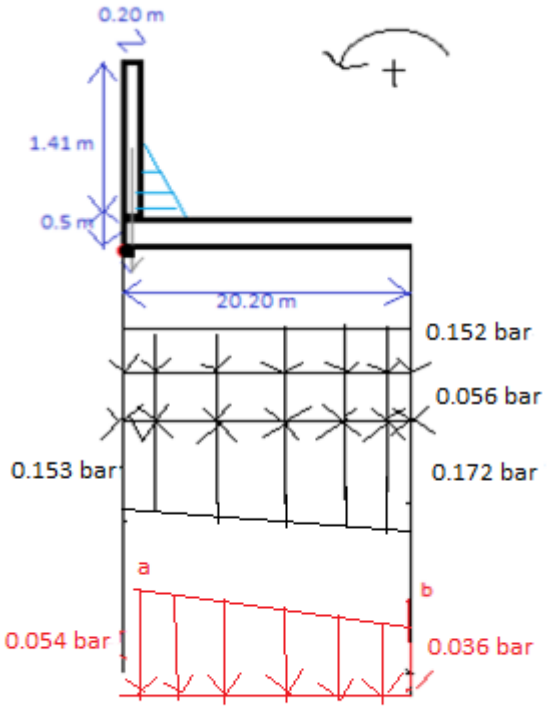


Figure V. 7 : diagramme de contraintes appliquées sur la semelle

*alors pour le ferraillage de la semelle en considère les contraintes de « a à b » :
- contrainte rectangulaire de σ= 0.036 bar.

- contrainte triangulaire de σ'= 0.054-0.036 → σ'= 0.018 bar.

b. Calcule la section d'acier

✓ Calcul la force exercé :

Frec= 0.036×2000×100 → Frec= 7.2 t
Ftrian= 0.018×1000×100 → Ftrian= 1.8 t

✓ Calcul le moment au point a :

$$M_a = F_{rec} \times \frac{l}{2} + F_{triang} \times \frac{l}{3} \text{..... (V.55)}$$

Avec M/a : moment au point a (t.m).
l= 20 m.

AN M/a= 84 t.m

Le moment réduit est calculé selon la relation :

$$\mu_i = \frac{Mi}{\sigma_{bc} \times b \times d^2} \text{..... (V.56)}$$

Avec σbc: Contrainte admissible à la compression du béton. σbc=142 $bars$
b : Longueur de la tranche. b=100 cm
di: Largeur du mur diminue de l'enrobage de chaque tranche.

$$di = ai - e \text{..... (V.57)}$$

ai : Largeur du mur de chaque tranche.
e : Enrobage. e= 3cm.

AN ui= 0.267

✓ Calcul de la section d'aciers :

La section d'acier nécessaire pour chaque tranche est déterminée par la relation ci-dessous :

$$A_s = \frac{M_i}{\beta_i \times d_i \times \sigma_s} \text{..... (V.58)}$$

Avec

$$\alpha_i = \frac{1 - \sqrt{1 - 2\mu_i}}{0.8} \text{..... (V.59)}$$

AN α= 0.396

Et $\beta_i = 1 - 0.4\alpha_i$..... (V.60)

AN βi= 0.841

Alors Ai= 61.09 cm2

- ✓ Nombre des aciers :

Le calcul des nombres des aciers se fait par l'équation suivant :

$$N_b = \frac{A_s}{A_0} + 1 \quad \text{(V.61)}$$

Avec Nb : nombres des barres d'aciers.
As : section des aciers (cm).
A0 : section d'un acier (cm).

Tableau V. 8 : nombres des armatures suivants la section des aciers ordinaire

Diamètre d'acier (cm)	A0 (cm2)	Nombres d'aciers
12	1,13	56
14	1,54	41
16	2,01	32
20	3,14	20
25	4.91	12
32	8.04	8
40	12.56	5

Alors on a : 5 barres de 40 mm avec espacement de 20 cm

- ✓ Ferraillage horizontale :

Pour le ferraillage horizontal, dépend du ferraillage vertical suivant la relation :

$$A_{repartie} = \frac{A_{s,choisi}}{4} \quad \text{(V.62)}$$

Avec As,choisi : section d'acier verticale utiliser (cm2).
A repartie : section des armatures horizontales nécessaire (cm2).

AN A reparti= 15.27 cm2.

Alors on a : 5 barres de 20mm avec espacement de 20 cm

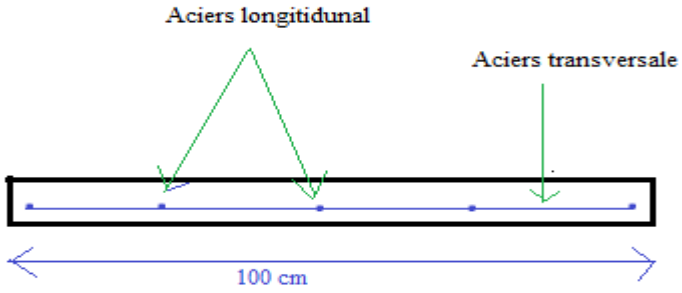


Figure V. 8 : Schéma de ferraillage de la semelle

Tableau V. 9 : Récapitulation des résultats trouvés

ferraillage	Mur bajoyer	Semelle
La section aciers tendus	2.56	61.09 cm2
Nombres des aciers tendus	4 barres de 12 mm.	5 barres de 40 mm
Espacement	25 cm	20 cm
Les aciers repartis	0.64	15.27 cm2
Nombres d'aciers repartis	4 barres de 8 mm	5 barres de 20mm
espacement	25 cm.	20 cm.

V.2.3. Ferraillage de mur du bassin dissipation avec semelle

Le bassin dissipation comme il est mentionné avant est l'un des ouvrages qui constitue l'évacuateur de crue. Les éléments ont ferraillé dans le bassin on a les murs bajoyer avec contrefort et la semelle du bassin. Le principe de dimensionnement suit les mêmes étapes étudiées pour le ferraillage des éléments de coursier, seulement pour le mur du bassin il est de type « contre fort » de 10 m, donc on doit devise le mur en plusieurs tranche avec 2 m pour chaque tranche et en calculant les deux moments Ma et Mt pour le mur ensuit en calcule le moment pour le contre fort pour la détermination de la section d'aciers pour chacune des deux éléments.

Pour la semelle en suit le principe que le coursier.

- Epaisseur des murs bajoyer de coursier Em= 35 cm.
- Epaisseur de la semelle du bassin Es= 50cm.
- Epaisseur du contre fort Ecf= 35 cm.
- Longueur entre deux contre fort Lcf= 4m.
- Largeur de base du contre fort lcf= 2m.
- La surcharge s= 0.8 t/m2.

1. Ferraillage de mur du bassin

Le ferraillage de mur consiste à calculer les deux moments Ma et Mt par les données des charges calculer avants.

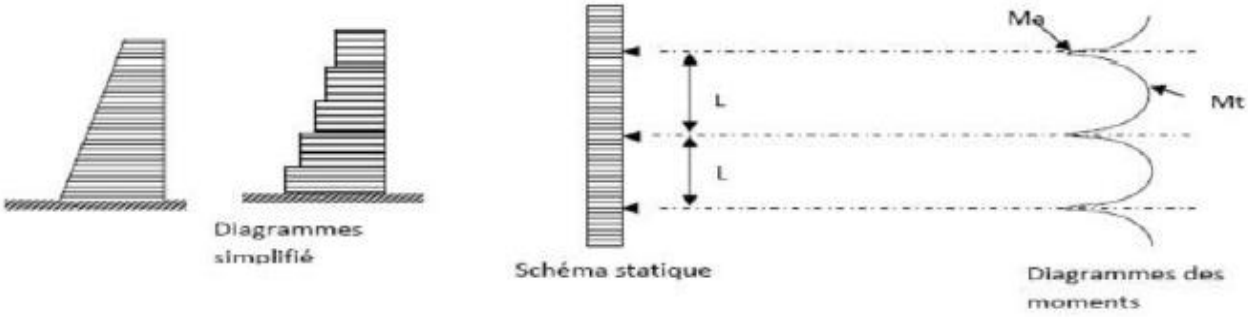


Figure V. 9 : représentation de l'allure des moments en travers et en appui de mur (Source : Support de coure Beton 2)

a. Calcule les charges appliquant pour chaque tranche

Pour le calcul des charges appliquant, on a la relation suivant :

$$P_i = (1.35 \times k \times \gamma_t \times (hr - i) + 1.5 \times (k \times s + \gamma_w \times (hr - i))) \times h_{tranche} \ldots \text{(V-63)}$$

Avec Pi : la charge pour chaque tranche (t/ml).
hr : hauteur de mur hr= 10m.
i : hauteur de chaque tranche i= 2m.
γt : poids des terres γt= 1.8 t/m3.
γw : poids de l'eau γw= 1t/m3.

AN : les résultats sont représenté dans le tableau suivant :

Tableau V. 10 : Résultats de calcules des charge pour chaque tranche

tranche	h tranche (m)	Pi (t/ml)
1	10	46,98
2	8	37,74
3	6	28,50
4	4	19,27
5	2	10,03

b. Ferraillage du mur

✓ Calcul les moments Ma et Mt

Pour le calcul des deux moments Mt er Ma, on a les deux relations suivantes :

$$M_a = \frac{P_i \times L^2}{16} \ldots\ldots\ldots \text{(V.64)} \qquad \text{et} \qquad M_t = \frac{P_i \times L^2}{10} \ldots\ldots\ldots\ldots \text{(V.65)}$$

Avec Ma : moment en appuit (t.m).
Mt : moment en travé (t.m).
Pi : la charge pour haque tranche (t/ml).
L : longueur entre deux contre fort. L= 400 cm

AN : les résultats sont dans le tableau suivant :

Tableau V. 11 : Résultats de calcule de moment Ma et Mt pour chaque tranche

tranche	h tranche (m)	Pi (t/ml)	Ma (t,m)	Mt (t,m)
1	10	46,98	46,98	75,17
2	8	37,74	37,74	60,39
3	6	28,50	28,50	45,61
4	4	19,27	19,27	30,83
5	2	10,03	10,03	16,05

Le moment réduit est calculé selon la relation :

$$\mu_i = \frac{Mi}{\sigma_{bc} \times b \times d^2} \text{..... (V.66)}$$

Avec σbc: Contrainte admissible à la compression du béton. σbc=142 $bars$
b : Longueur de la tranche. b= 100 cm
di: Largeur du mur diminue de l'enrobage de chaque tranche.

$$di = ai - e \text{..... (V.67)}$$

ai : Largeur du mur de chaque tranche.
e : Enrobage. e= 3cm.

✓ Calcul de la section d'aciers :

La section d'acier nécessaire pour chaque tranche est déterminée par la relation ci-dessous :

$$A_s = \frac{M_i}{\beta_i \times d_i \times \sigma_s} \text{..... (V.68)}$$

Avec

$$\alpha_i = \frac{1 - \sqrt{1 - 2\mu_i}}{0.8} \text{..... (V.69)}$$

Et $$\beta_i = 1 - 0.4\alpha_i \text{..... (V.70)}$$

AN : les résultats sont représenté dans le tableau suivant :

Tableau V. 12 : Résultats de la section d'acier nécessaire

tranche	h tranche (m)	Pi (t/ml)	Ma (t,m)	Mt (t,m)	Aa (cm2)	At (cm2)
1	10	46,98	46,98	75,17	52.93	129.67
2	8	37,74	37,74	60,39	40.04	76.87
3	6	28,50	28,50	45,615	28.77	50.88
4	4	19,27	19,27	30,83	18.64	31.5
5	2	10,03	10,03	16,05	9.34	15.31

✓ Nombre des aciers :

Le calcul des nombres des aciers se fait par l'équation suivant :

$$N_b = \frac{A_S}{A_0} + 1 \quad \text{(V.71)}$$

Avec Nb : nombres des barres d'aciers.
As : section des aciers (cm).
A0 : section d'un acier (cm).

AN : les résultats sont dans le tableau suivant :

Tableau V. 13 : Nombres des barres nécessaires pour chaque tranche

tranche	h tranche (m)	Aa (cm2)	At (cm2)	nombres des bares Aa	nombres des barres At
1	0	52.93	129.67	10 barres de 32mm	10 barres de 40 mm
2	2	40.04	76.87	10 barres de 25mm	10 barres de 32 mm
3	4	28.77	50.88	10 barres de 20 mm	10 barres de 25 mm
4	6	18.64	31.5	10 barres de 16 mm	10 barres de 20 mm
5	8	9.34	15.31	10 barres de 12 mm	10 barres de 16 mm

✓ Ferraillage horizontale :

Pour le ferraillage horizontal, dépend du ferraillage vertical suivant la relation :

$$A_{repartie} = \frac{A_{s,choisi}}{4} \quad \text{(V.72)}$$

Avec As,choisi : section d'acier verticale utiliser (cm2).
A repartie : section des armatures horizontales nécessaire (cm2).

AN : les résultats sont dans le tableau suivant :

Tableau V. 14 : Nombres des barres réparties pour chaque tranche

tranche	h tranche (m)	Aa répartie (cm2)	At répar-tie (cm2)	nombres des barres Aa reparties	nombres des barres At repar-ties
1	10	13,23	32.41	10 barres de 12 mm	10 barres de 20 mm
2	8	10.01	19.21	10 barres de 12 mm	10 barres de 16 mm
3	6	7.19	12.72	10 barres de 8 mm	10 barres de 12 mm
4	4	4.66	7.87	10 barres de 8 mm	10 barres de 8 mm
5	2	2.33	3.82	10 barres de 8 mm	10 barres de 8 mm

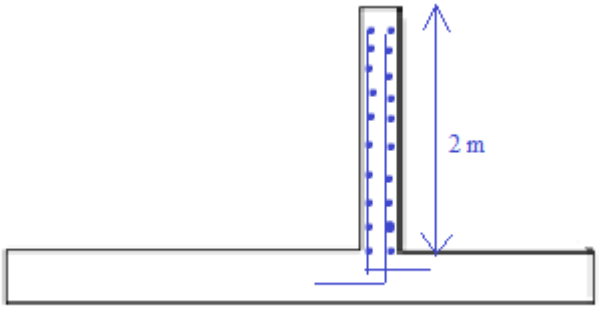


Figure V. 10 : Schéma de ferraillage d'une tranche du mur

2. Ferraillage du contre fort

Pour le ferraillage du contre fort on doit calculer :

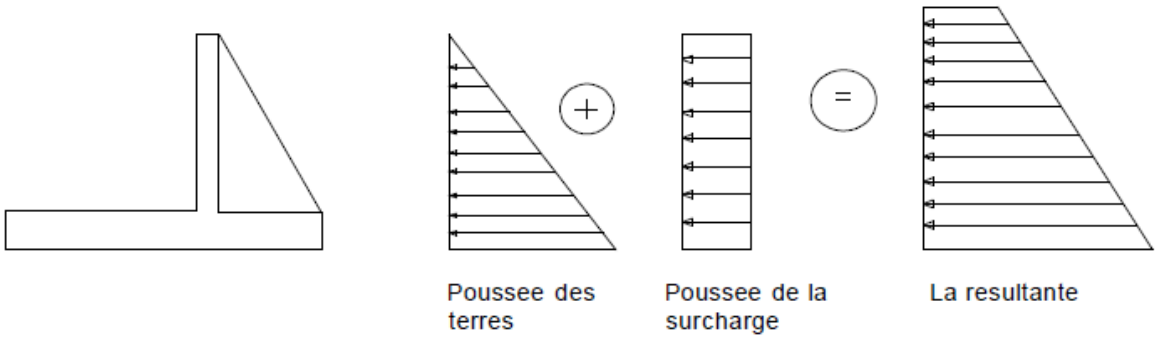


Figure V. 11 : représentation des charges appliquées au contre fort (Source : Support de cour Beton 2)

a. Calcul les charges

On a les deux relations :

$$P_1 = (1.35 \times \gamma_t \times k \times h_r + 1.5(k \times s + \gamma_w \times h_r))L \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(V.73)}$$

$$P_2 = 1.5 \times k \times s \times L \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(V.74)}$$

Avec P1 : la charge à la base du contre fort (t/ml).
P2 : la charge au sommet du contre fort (t/ml).
hr : hauteur de mur hr= 10m.
γt : poids des terres γt= 1.8 t/m3.
γw : poids de l'eau γw= 1t/m3.
L : longueur entre deux contre fort. L= 4m.
s : la surcharge. S= 0.8 t/m2

AN P1= 93.66 t/ml. et P2= 1.58 t/ml.

b. Ferraillage du contre fort

✓ Calcul les moments d'encastrement :

Pour le calcul du moment on a :

$$F_{rec} = P_2 \times h_r \text{……..….. (V.75)}$$

$$F_{trin} = \frac{P_1 - P_2}{2} \times h_r \text{……..… (V.76)}$$

Avec Frec : la force correspondante a la surcharge s (t).
Ftrin : la force correspondante la charge des terres et l'eau (t).

AN Frec= 15.8 t. et Ftrin= 460.4 t.

$$M_{encas} = F_{rec} \times \frac{h_r}{2} + F_{trian} \times \frac{h_r}{3} \text{……. (V.77)}$$

$$T = F_{rec} + F_{trian} \text{……..…… (V.78)}$$

Avec M/encas : moment d'encastrement a la base du contre fort.

AN M/encas= 1612.33 t.m

T= 476.2 t

Le moment réduit est calculé selon la relation :

$$\mu_i = \frac{Mi}{\sigma_{bc} \times b \times d^2} \text{…….…… (V.79)}$$

$$di = ai - e \text{……..…. (V.80)}$$

Avec ai : Largeur du mur de chaque tranche.
e : Enrobage. e= 3cm.

AN ui= 0.210

✓ Calcul de la section d'aciers :

La section d'acier nécessaire pour chaque tranche est déterminée par la relation ci-dessous :

$$A_s = \frac{M_i}{\beta_i \times d_i \times \sigma_s} \text{..... (V.81)}$$

Avec

$$\alpha_i = \frac{1-\sqrt{1-2\mu_i}}{0.8} \text{..... (V.82)}$$

AN α= 0.298

Et $\beta_i = 1 - 0.4\alpha_i$..... (V.83)

AN βi= 0.880

Alors Ai= 227.05 cm2

✓ Nombre des aciers :

Le calcul des nombres des aciers se fait par l'équation suivant :

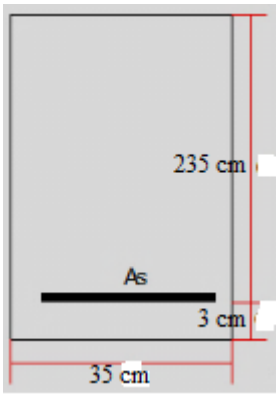
$$N_b = \frac{A_s}{A_0} + 1 \text{..... (V.84)}$$

Avec Nb : nombres des barres d'aciers.
As : section des aciers (cm).
A0 : section d'un acier (cm).

AN Nb= 20 barres de 40 mm.

✓ Ferraillage horizontale :

Pour le ferraillage horizontal pour chaque tranche, il dépend du ferraillage vertical



Avec As,choisi : section d'acier verticale utiliser (cm2).
A repartie : section des armatures horizontales nécessaire (cm2).

AN A rep= 56.76 cm2

Alors pour : A rep= 56.76 cm2 → Nb= 20 barres de 20 mm avec espacement de 5 cm

3. Ferraillage de la semelle

Le ferraillage de la semelle du bassin dissipation suit les mêmes étapes de ferraillage que la semelle de coursier. Alors :

a. Calcule des contraintes effectuées à la semelle

✓ Contrainte dus au poids propre de la semelle :

$$\sigma_{se} = \frac{1.35 \times P_{se}}{100 \times B} \text{..... (V.85)}$$

Avec σse : contrainte dus au poids de la semelle (bars).
Pse : poids propre de la semelle (Kg).
B : largeur de la semelle (cm).

AN σse= 0.168 bar

Contrainte dus au poids propre (Pr, Pcf, Pt, Ps et Pe) :

$$\sigma_{r,t,s,e} = \frac{1.35 \times (P_r + P_t + Pcf) + 1.5 \times (P_e + P_s)}{100 \times B1} \text{..... (V.86)}$$

Avec σ r,cf,t,s,e : contraintes
Pr : poids propre de rideau (Kg).
Pe : poids propre de l'eau (Kg).
B1: largeur (cm).

AN σr,cf,t,s,e= 1.48 bar

✓ Calcule les deux contraintes de poinçonnement :

$$\sigma_{1,2} = \frac{N}{100 \times B} \pm \frac{6M_o}{100 \times B^2} \text{..... (V.87)}$$

Avec σ1,2 : contrainte du poinçonnement (bar).
N : somme des forces vertical (Kg).
M/o : somme des moments par rapport au point o (Kg.cm).

AN σ1= 1.56 bar et σ2= 0.77 bar

*Dans la figure ci-dessous on a le diagramme des contraintes appliqué sur la semelle :

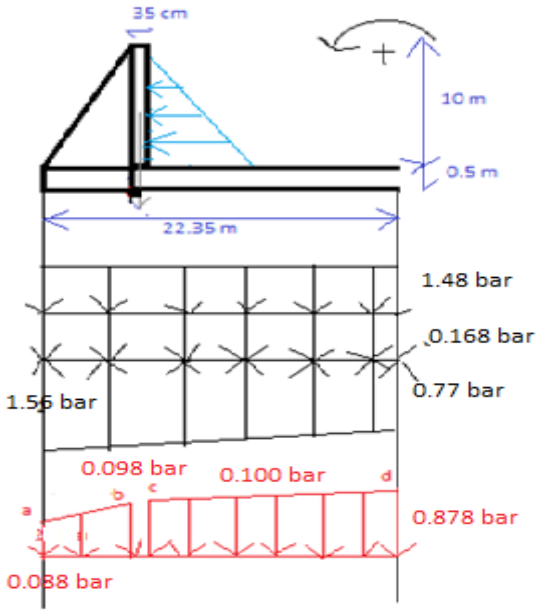


Figure V. 12 : Diagramme de contraintes appliquées sur la semelle

*alors pour le ferraillage de la semelle en considère les contraintes de « a à b » :
- contrainte rectangulaire de σ= 0.088 bar.
- contrainte triangulaire de σ'= 0.098-0.088 → σ'= 0.01 bar.

b. Calcule la section d'acier

✓ Calcul la force exercé :

Frec= 0.088×200×100 → Frec= 1.76 t
Ftring= 0.01×100×100 → Ftring= 0.1 t

✓ Calcul le moment au point b :

$$M_b = F_{rec} \times \frac{l}{2} + F_{tring} \times \frac{l}{3} \text{..... (V.88)}$$

Avec M/b : moment au point b (t.m).
l= 2 m.

AN M/b= 1.83 t.m

Le moment réduit est calculé selon la relation :

$$\mu_i = \frac{Mi}{\sigma_{bc} \times b \times d^2} \text{..... (V.89)}$$

Avec σbc: Contrainte admissible à la compression du béton. σbc=142 $bars$
b : Longueur de la tranche. b=100 cm
di: Largeur du mur diminue de l'enrobage de chaque tranche.

$$di=ai-e \quad \text{(V.90)}$$

ai : Largeur du mur de chaque tranche.
e : Enrobage. e= 3cm.

AN ui= 0.005

✓ Calcul de la section d'aciers :

La section d'acier nécessaire pour chaque tranche est déterminée par la relation ci-dessous :

$$A_s = \frac{M_i}{\beta_i \times d_i \times \sigma_s} \quad \text{(V.91)}$$

Avec

$$\alpha_i = \frac{1-\sqrt{1-2\mu_i}}{0.8} \quad \text{(V.92)}$$

AN α= 0.001

Et $\beta_i = 1 - 0.4\alpha_i$ (V.93)

AN βi= 0.999

As (a-b) = 1.12 cm2

Alors pour : As(a-b)= 1.12 cm2 → 4 barres de 16 mm avec esp de 25 cm.

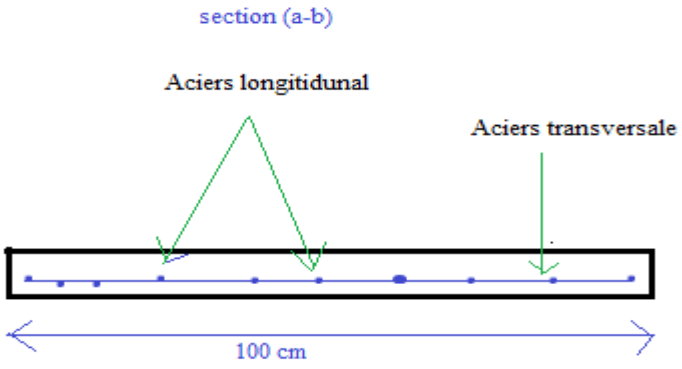


Figure V. 13 : Schéma de ferraillage de la semelle du bassin dissipation (tranche a-b)

*alors pour le ferraillage de la semelle en considère les contraintes de « c à d » :

- contrainte rectangulaire de σ= 0.100 bar.
- contrainte triangulaire de σ'= 0.878-0.100 → σ'= 0.778 bar.

*on suit les memes etapes que la partie (a-b) est on trouve pour la partie (c-d) :

As(c-d)= 152.33 cm2

Pour As(c-d)= 152.33 cm2 → Nb= 15 barres de 40 mm avec esp de 6 cm.

✓ Ferraillage horizontale :

Pour le ferraillage horizontal, dépend du ferraillage vertical suivant la relation :

$$A_{repartie} = \frac{A_{s,choisi}}{4} \quad \text{..... (V.94)}$$

Avec As,choisi : section d'acier verticale utiliser (cm2).
A repartie : section des armatures horizontales nécessaire (cm2).

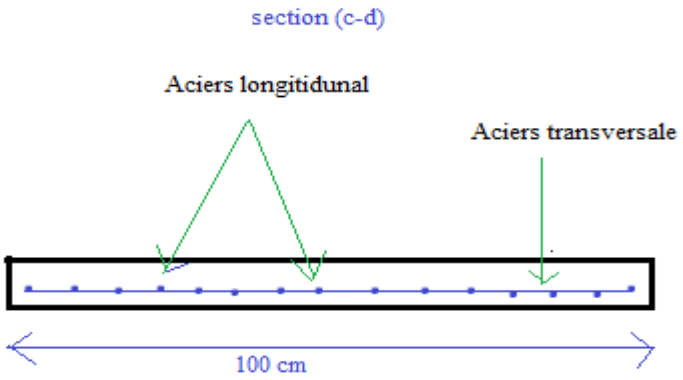


Figure V. 14 : Schéma de ferraillage de la semelle du bassin dissipation (tranche c-d)

AN : les résultats sont dans le tableau suivant :

Tableau V. 15 : Résultats de calcul des nombres des barres pour la section repartie de la semelle

Ferraillage	A rep(a-b)	A rep(c-d)
Section cm2	0.40	38.08
Nbr des barres	10 barres de 8 mm	15 barres de 20 mm

Conclusion

Dans ce chapitre on a pu faire l'étude génie civil des éléments de la variante d'évacuateur choisi, on a commencé par l'étude de stabilité de l'ouvrage qui permet de savoir la possibilité de mise en œuvre de l'ouvrage en état pratique, ensuite on fait le ferraillage des éléments de l'évacuateur on détermine la section et les nombres des aciers nécessaires tous en respectant les normes.

CHAPITRE VI : Organisation de chantier

INTRODUCTION

La réalisation d'un ouvrage nécessite l'implantation d'un chantier, le chantier permet que la construction de l'ouvrage (pour notre cas c'est le barrage) soit dans les bonnes conditions d'exécution.

Pour le choix du site du chantier nécessite une importante étude, car l'implantation de chantier dans un emplacement aux certaines exigences, il aide énormément pour le dressage du plan de déroulement des engins dans le chantier et leurs diverses opérations pour répondre à la condition d'espace et de temps.

Le planning d'une bonne organisation de chantier permet de mettre le coût de construction aux valeurs minimums (le temps de réalisation sera diminué). Pour cela dans ce chapitre on va faire l'organisation de chantier du barrage Ouldjet Mellegue Tébessa pour assurer.

- ✓ Assurer la qualité de construction d'ouvrages.
- ✓ Assurer les délais de fin pour chaque phase de construction.
- ✓ Assurer l'économie de l'ouvrage (évitez des sommes en plus pour le coût total de l'ouvrage).
- ✓ Un emploi de travail qui a pour but d'organiser le travail des engins et travailleurs.

VI.1. Organisation des données préparatoire et technique

L'organisation des données consiste à établir tous les documents nécessaires qui permettre au l'organisme qui est responsable à l'exécution de commencer la première phase de travail. Cette phase de préparation passe par différentes étapes :

- ✓ Préparation de la chronologie de la réalisation de chantier.
- ✓ Mettre en ordre les différentes techniques a utilisé dans le chantier (technique de construction ou de prévention).
- ✓ Mesure l'approvisionnement de chantier en technique de travail et matériaux de construction pour assurer la qualité et quantité de travail.

VI.2.Principaux intervenants dans le chantier

Les principaux intervenants de chantier ont une grande importance car chaque intervenant est responsable sur l'une des opérations au niveau du chantier. Donc avant le commencement d'implanter le chantier il faut désigner les différentes intervenantes qui sont :

VI.2. 1Maitre d'ouvrage

C'est une personne physique ou morale dans son rôle est le financement et préparation du plan de travail de l'ouvrage à exécuter, le maitre d'ouvrage a la responsabilité de choisir le maitre d'œuvre.

VI.2.2. Maitre d'œuvre.

Le maitre d'œuvre c'est une personne physique ou morale qui est responsable sur l'exécution de l'ouvrage, il est désigné par le maitre d'ouvrage, établir le dossier de consultation des entreprises et le contrôle de la construction pour chaque phase à réaliser.

Pour le cas d'un barrage le maître d'œuvre est responsable de début des travaux de réalisations jusqu'au premier mise en eau dans le barrage.

VI.2.3. L'entrepreneure

C'est toujours représenter par une personne physique ou morale, appartient au marché des travaux, il est responsable sur l'exécution de l'ouvrage en respectant les délais de réalisation mentionnés sur le cahier de charge. Par fois pour la conception d'un grand ouvrage, on désigne plusieurs entrepreneures et chaque entrepreneure est responsable sur une partie de l'ouvrage à réaliser.

VI.3. Les différentes phases de chantier.

Dans le chantier on a plusieurs étapes pour la réalisation du projet, ces étapes sont indispensables car chaque retardement ou mauvais travail peut influencer sur l'étape qui suit, on a :

VI.3.1. Préparation et ouvertures des accès pour le chantier et zones d'emprunts.

Avant de commencer à installer le chantier, il faut faciliter le déplacement vers le site du chantier et l'exécution de l'ouvrage et même pour les zones d'emprunts pour faciliter aux engins et les différents équipements de travail de respecter le planning de construction préparer par le maitre d'ouvrage. Pour la préparation des chemins de déplacement il faut la consultation des cartes topographiques de la région de projet, pour le choix de cheminement le plus favorable en réduisant le cout et le temps.

VI.3.2. Installation de chantier et travaux préparatoire

L'implantation de chantier nécessite un grand terrain, car dans le même chantier on a l'implantation des installations destinés aux personnelles, installation pour les engins et stockage des matériaux de construction.

a. Installation destiné au personnelle

Les installations péronnelle sont destinés au tous les travailleurs de chantier, ces installations doivent assurer le confort et les besoins essentiels pour un être humain, parmi les ces besoins on trouve (les dortoirs, les réfectoires, les installations sanitaires) et aussi on a la présence des bureaux de chantier.

b. Installation destinés mettre les engins et réparation des engins

Dans le chantier il faut prévenir un important espace pour mettre les engins en fin de période de travail et pour la réparation des engins ont assurant un atelier tout équipé par les utiles qui permettent d'assurer la réparation au site, pour gagner du temps et gagner d'argent de rechange des engins qui variable selon l'importance de l'engin.

c. Installation pour le stockage des matériaux de construction

L'installation des matériaux de construction doit répondre aux plusieurs exigences, car chaque matériau a son propre style de stockage. Parmi les matériaux les plus importants on a :

- ✓ le ciment (stocké loin du sol dans des silos métalliques, soit des baraquements en bois ou en métal).
- ✓ Séparer les différents types d'agrégats pour éviter le mélange et assurer le bon dosage du béton.

d. Installation destinés à la préfabrication

Ces installations permettre de produire des matériaux sont les ramener pour gagner l'économie de l'ouvrage et gagner le temps, parmi ces préfabrications, on a : les poutres, les conduites…ect.

VI.3.3. Travaux de réalisation

a. Implantation des ouvrages sur le chantier

Autrement dit le piquetage, c'est l'une des tâches les plus importantes dans le chantier (matérialisation de l'ouvrage et installations cités précédemment). Et on a deux de piquetage :

- ✓ Piquetage principale : estime les axes de l'ouvrage.
- ✓ Piquetage secondaire (complémentaire) : concerne les bords (contours) de l'ouvrage

b. Travaux de terrassement

Pour la réalisation des travaux de terrassement, il est de préférence de mettre une stratégie qui assure l'équilibre entre les masses volumiques de terrassement ont concentrant sur les travaux 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.

c. Travaux d'excavation

Les techniques d'opération d'excavation devront être réalisées suivant les données mentionnées dans le dossier des plans et le programme général des travaux, comprennent (le décapage de terre végétale, l'excavation et mise en œuvre des dépôts).

- ✓ Le décapage : consiste à nettoyage de terrains de tous ce qui se trouve en surface du sol avant l'excavation.
- ✓ L'excavation : en utilisant les différents types d'engins, c'est la première étape des travaux au niveau de chantier.
- ✓ Mise des dépôts : vient après l'étape d'excavation et travaux de fondation.

d. Travaux secondaires

Consiste le travail dont les besoin est de pouvoir utilisées et exploiter tous les ouvrages dans les meilleures conditions possibles. Parmi leurres utilisation dans :

- ✓ Aménagement de la zone d'emprunt.
- ✓ Stabilité des décharges et protection contre l'érosion et leur éloignement des cours d'eau.
- ✓ Reboisement des zones à risque d'érosion aux alentours du barrage.

VI.4. Les moyennes de chantier

En ce qui concerne les moyens en personnel, l'entreprise devra sélectionner 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 qui auraient à intervenir sur le chantier.

La construction d'un ouvrage hydraulique et ces les ouvrages annexes (pour notre cas on a un barrage en BCR), nécessitent l'utilisation de nombreux engins mécaniques destiné à scarifier, excaver, transporter, niveler et compacter les matériaux, ainsi des engins et matériels de bétonnage. On peut distinguer le matériel de compactage, la fonction, les caractéristiques principales et le rendement des différents engins de terrassement et de compactage susceptible d'être utilisés lors de la réalisation du barrage.

VI.4.1. Moyennes humaines

Pour les moyennes humaines utilisées pour la réalisation de projets, les travailleurs sélectionnés pour ce travail devront être compétents et capables et chaque travailleur a son poste selon leur spécialité, dans un projet de réalisation d'un barrage parmi les travailleurs qu'on peut les trouver, on distingue :

- ✓ 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...ect).
- ✓ Géologue pour la mission géologique en phase d'étude.
- ✓ Cadres dirigeants en coté financiers, ressources humaines, spécialiste en sécurité de chantier.

VI.4.2. Les engins de terrassement

Les engins de terrassement englobent toutes les matérielles utilisées pour : constitution des fouilles d'assise des ouvrages du barrage, l'extraction, le transport des matériaux de construction, les bétonnages et la réalisation des finitions (remblais et enrochement). Parmi les engins les plus utilisées et leures fonctionnement, on a le tableau suivant :

Tableau VI. 1 : différentes engins avec leurres utilisation (Source : Support de coure ODC de Mr. Kahlerrase)

L'engin	Utilisation
Bulldozer	pour les terrassements de masse et les voies d'accès.
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.
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.
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.	Assure l'énergie électrique au niveau de chantier
Décapeuse.	Nettoyage de la surface du sol avant l'excavation

VI.4.3. Le matériel de bétonnage

Parmi les outils les plus importants, il assure les besoins de chantier en matière du béton pour la réalisation des différentes parties de projet (digue, évacuateur, tour de prise, vidange du fond et canal déviation).

VI.4.4. Matériels spécifique

Ces types de matériel englobes tous les outils utilisées pour (réalisation des forages et les injections, la production des certaines matériaux de construction).

VI.5. Planification de chantier

La planification des travaux dans un chantier est un moyen qui permet de chercher constamment la meilleure façon d'utiliser avec économie la main d'œuvre, et les autres moyens de mise en œuvre pour assurer l'efficacité et la fiabilité de l'action à entreprendre. Son objectif est de s'assurer que les travaux se font dans un ordre les plus favorable c'est-à-dire une bonne succession des travaux en respectant les délais de réalisation, et aussi économique que possible, c'est à dire faire un bénéfice.

VI.5.1. Attribution des durées de chaque opération

Concernant l'attribution des durées, il faut retenir :

- ✓ Nombres des moyens humains et matériels.
- ✓ Dimensions du projet. En utilisant les normes C.N.A.T, on utilisant la relation suivante :

$$T = \frac{Q \times N}{n} \text{..... (VI-1)}$$

Avec Q : quantité de travail.
N : rendement de travail.
n : nombre d'équipes.

VI.5.2. Délai de construction et programme des travaux

Le délai de construction du projet est égal au somme du temps de réalisation de chaque étape de construction, en tenant compte que certaines opérations peuvent être réalisées en parallèle. Pour une bonne planification, il faut utiliser dans le bon déroulement toutes les ressources nécessaires à moyennes humaines et matérielles, suivant certaines consignes :

- ✓ Suivant le plan de planification déterminer par le maitre d'ouvrage.
- ✓ Respectés les délais de réalisation pour chaque étape de construction.
- ✓ Garder le cout de projet à la valeur minimum que possible.

VI.5.3. Programme de réalisation pour le barrage d'Ouldjet Mellegue

Pour le programme de réalisation du barrage Ouldjet Mellegue Tébessa, la réalisation de ce projet a été établir en tenant comptes toutes les principales étapes de réalisation avec le délai pour chaque étape et la localisation de site au niveau de la région de travail.

- ✓ Un délai de sept (7) mois pour l'accès et installation de chantier.
- ✓ Dérivation d'oued Mellegue se commence au période sèche.
- ✓ Assurer un volume d'excavation de 7500 m3 pour chaque mois suivant le délai de réalisation.
- ✓ La réalisation et fermeture de la dérivation provisoire doit être en période sèche.

VI.5.4. Symboles et temps de réalisation pour chaque période

Les symboles et délai de réalisation pour chaque étape de construction est déterminer dans le tableau suivant :

Tableau VI. 2 : symbole et temps de réalisation pour chaque étape de construction (Source : ANBT)

Opération	symbole	Délai de réalisation
Installations et accès	A	7
Excavations à ciel ouvert rive droite	B	3
Excavations à ciel ouvert rive gauche	C	2
Excavations à ciel ouvert lit d'oued	D	2
Excavations Galerie souter-raines	E	4
Bétonnage Galerie souter-raines	F	3
Pré-batardeau	G	1
galerie de dérivation	H	4
Batardeau amont	I	3
Batardeau aval	J	2
Construction de la digue en BCR	K	8
Construction du Bassin de dissipation	L	4
Construction du déversoir et le coursier	M	3
Prise d'eau	N	2
Vidange de fond	O	1
Injections et drainage	P	1
L'équipement hydroméca-nique	Q	1
Travaux de finition et mise en eau	R	4

VI.5.5.Les techniques de planification

Pour la planification des étapes d'un projet, trois méthodes sont utilisées :

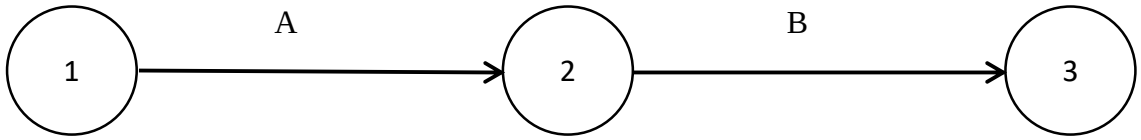
- ✓ Méthode basé sur le réseau ou méthode C.P.M (réseau à nœud, réseau à flèche).
- ✓ Méthode basé sur le tableau.
- ✓ Méthode basé sur le graphique ou méthode des barres (diagramme de Gantt).

1. Méthode basé sur le réseau

Le réseau est une représentation graphique d'un projet qui permet de déterminer la relation entre les différentes opérations qui peuvent être successives, simultanées, convergentes et la durée (délai) de réalisation. On a deux types de réseaux :

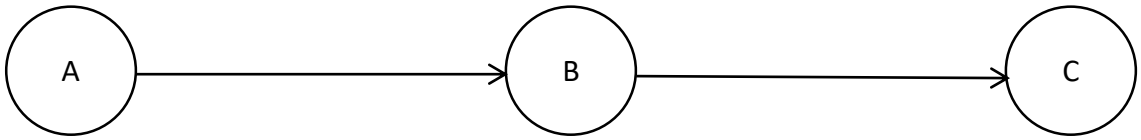
a. Réseau à flèche

L'opération est représentée par une flèche et la relation entre les opérations par des nœuds.



b. Réseau a nœud

L'opération est représentée par un nœud et la relation entre les opérations par des flèches.



*L'opération (B) ne peut commencer que si l'opération (*A*) est complètement achevée.
*L'opération (C) ne peut commencer que si l'opération (B) est complètement achevée.

c. Construction du réseau

Pour la construction d'un réseau, il faut prendre en compte les six (6) étapes suivantes :

- ✓ Etablissement d'une liste des tâches : procéder à un inventaire très précis et détaillé de toutes les opérations indispensables à la réalisation d'un projet.
- ✓ Détermination des tâches précédentes, et succèdes : après avoir dressé la liste des taches à réaliser on déterminants les opérations qui précèdent et qui succèdent pour chaque opération.
- ✓ Décomposer le projet en opérations : précède, succède, et durées :

Opération	tr	précède	succède

- ✓ Construction des graphes partiels (trois opération au max).
- ✓ Regroupement des graphes partiels.
- ✓ Construction du réseau.

d. Méthode C.P.M (méthode du chemin critique)

Le but de cette technique est déterminé le chemin ou le temps de réalisation du projet est le plus petit que possible.

- ✓ **1ère phase :** l'effectif nécessaire pour effectuer le travail considéré.
- ✓ **2éme phase :** analysé systématiquement le réseau, heure par heure, jour pour jour, selon l'unité de temps retenue.
- ✓ **3éme phase :** adapter le réseau aux conditions ou contraintes fixées par l'entreprise.

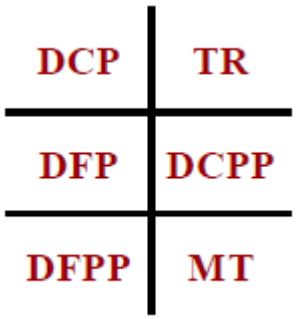
e. Etape de planification

Elle passe par trois étapes importantes :

- ✓ **Collection d'information :** établissement d'une synthèse d'analyse d'information qui est acquis par des études comparatives.
- ✓ **Décomposition du projet :** chaque étape de projet à un responsable et la main d'œuvre et matériels nécessaires.
- ✓ **Relation entre les taches :** il existe deux relation : - enchainement logique.
  -enchainement préférentiel.

f. Les paramètres a déterminer pour la méthode C.P.M

Consiste à faire le calcul allé et retour en utilisant les paramètres :



Avec TR : temps de réalisation.
DCP : date de commencement au plus tôt.
DFP : date de finition au plus tôt.
DCPP : date de commencement au plus tard.
DFPP : date de finition au plus tard.
MT : intervalle du temps entre plus tôt et plus tard.

*Calcul allé :

$$DFPi = DCPi + TR$$
$$DFPj = DCPi$$

Et pour dernier opération on a :

$$DCPP = DCP$$
$$DFPP = DFP$$

*Calcul retoure :

$$DCPPj = DFPPi$$
$$DCPPi = DFPPi - TR$$

*Marge totale :

$$MT = DCPP - DCP$$
$$MT = DFPP - DFP$$

Remarque VI.1 : -pour dernier opération on a MT=0
- La marge totale n'est pas négative $MT \geq 0$.

g. Chemin critique

Il est défini comme étant le chemin le plus long dans le réseau, il donne la durée totale de la réalisation DTR. En effet le chemin critique reliait les opérations où on a la marge totale est nulle MT=0. Donc les deux conditions suivantes doivent être vérifiées :

$$\begin{cases} MT = 0 \\ \sum TR = DTR \end{cases}$$

h. Application de la méthode de réseau

L'application de la méthode du réseau pour la planification du barrage Ouldjet Mellegue est déterminer par : - réseau à nœud.

Tableau VI. 3 : résultats des opérations précède et succède pour le barrage d'Ouldjet Mellegue

Opération	TR	Précède	succède
A	7	/	B,C,D
B	3	A	G
C	2	A	G
D	2	A	E
E	4	D	F
F	3	E	K
G	1	B .C	H
H	4	G	J.I
I	3	H	K
J	2	H	K
K	8	J,I,F	L,M,N
L	4	K	O
M	3	K	P
N	2	K	P
O	1	L	R
P	1	M.N	Q
Q	1	P	R
R	4	O.P	/

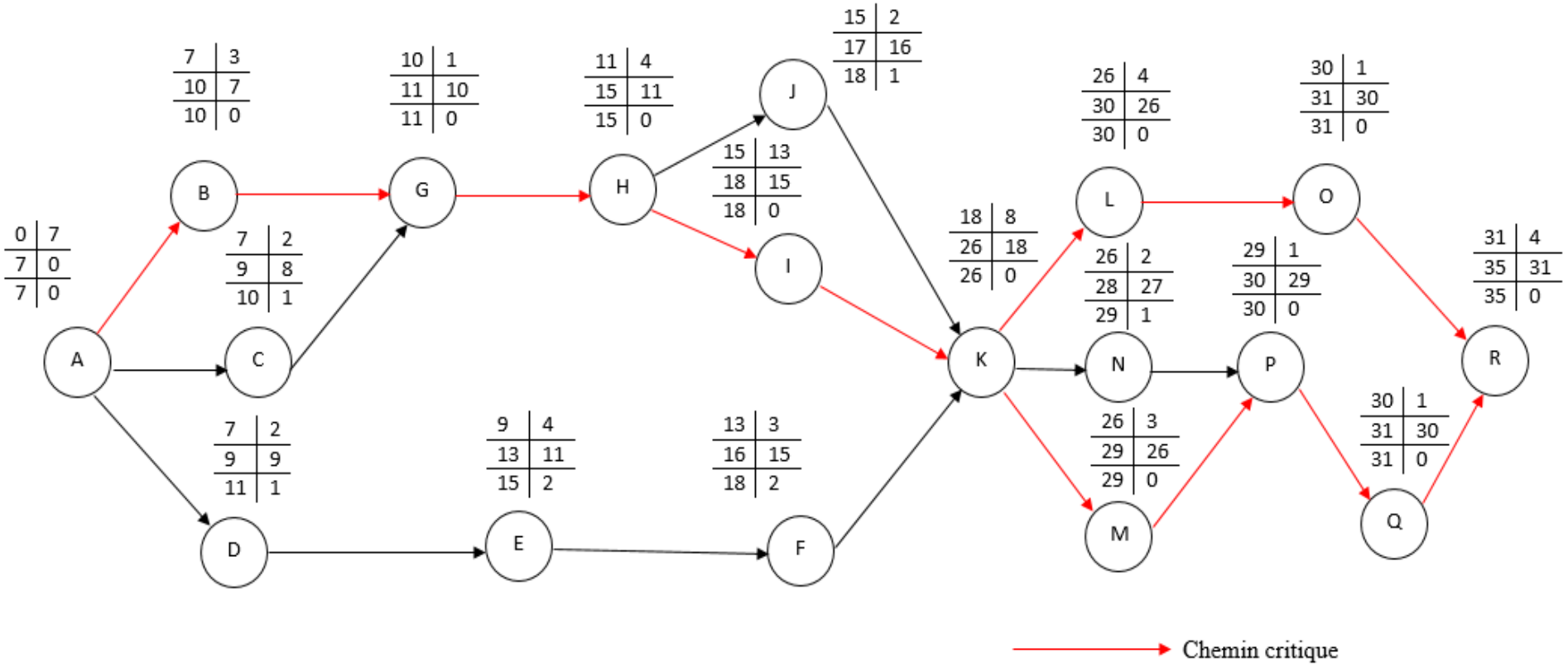


Figure VI. 1 : Schéma du réseau a nœud du barrage Ouldjet Mellegue

2. Méthode basé sur le tableau

Il s'agit de faire le calcul en utilisant un tableau conçu pour le calcul de la durée du projet et la définition du chemin et des taches critiques, ainsi que les marges totales.

Tableau VI. 4 : Détermination du chemin critique par la méthode du tableau

Opération	TR	DP		DPP		MT
		DCP	DFP	DCPP	DFPP	
1-2	7	0	7	0	7	0
2-3	3	7	10	7	10	0
2-4	2	7	9	8	10	1
2-5	2	7	9	9	11	2
4-3	0	9	9	10	10	0
3-6	1	10	11	10	11	0
5-7	4	9	13	11	15	2
6-8	4	11	15	11	15	0
7-10	3	13	16	15	18	2
8-9	3	15	18	15	18	0
8-10	2	15	17	16	18	1
9-10	0	18	18	18	18	0
10-11	8	18	26	18	26	0
11-12	4	26	30	26	30	0
11-13	3	26	29	26	29	0
11-15	0	26	26	27	27	1
12-16	1	30	31	30	31	0
13-14	1	29	30	29	30	0
14-16	1	30	31	30	31	0
15-13	2	26	28	27	29	1
16-17	4	31	35	31	35	0

Remarque VI.2 : alors les résultats de la méthode de réseau et la méthode du tableau sont égaux.

3. Méthode basé sur le graphique (diagramme de GANTT)

Les opérations sont mentionnées dans ligne, et la durée de chaque opération est représentée par une barre (dessinée à l'échelle) telle que la longueur correspond à sa durée réelle, en respectant la date de début et de fin de cette tâche. Le diagramme de GANTT est représenté dans la planche N°5 et sur la figure suivante :

	Opération	Symboles	Durée	date de début	date de fin
1	Installations et accès	A	7	0	7
2	Excavations à ciel ouvert rive droit	B	3	7	10
3	Excavations à ciel ouvert rive gau	C	2	7	9
4	Excavations à ciel ouvert lit d'oue	D	2	7	9
5	Excavations Galerie souterraines	E	4	9	13
6	Bétonnage Galerie souterraines	F	3	13	16
7	Pré-batardeau	G	1	10	11
8	galerie de dérivation	H	4	11	15
9	Batardeau amont	I	3	15	18
10	Batardeau aval	J	2	15	17
11	Construction de la digue en BCR	K	8	18	26
12	Construction du Bassin de dissipa	L	4	26	30
13	Construction du déversoir et le coursier	M	3	26	29
14	Prise d'eau	N	2	26	28
15	Vidange de fond	O	1	30	31
16	Injections et drainage	P	1	29	30
17	L'équipement hydromécanique	Q	1	30	31
18	Travaux de finition et mise en eau	R	4	31	35

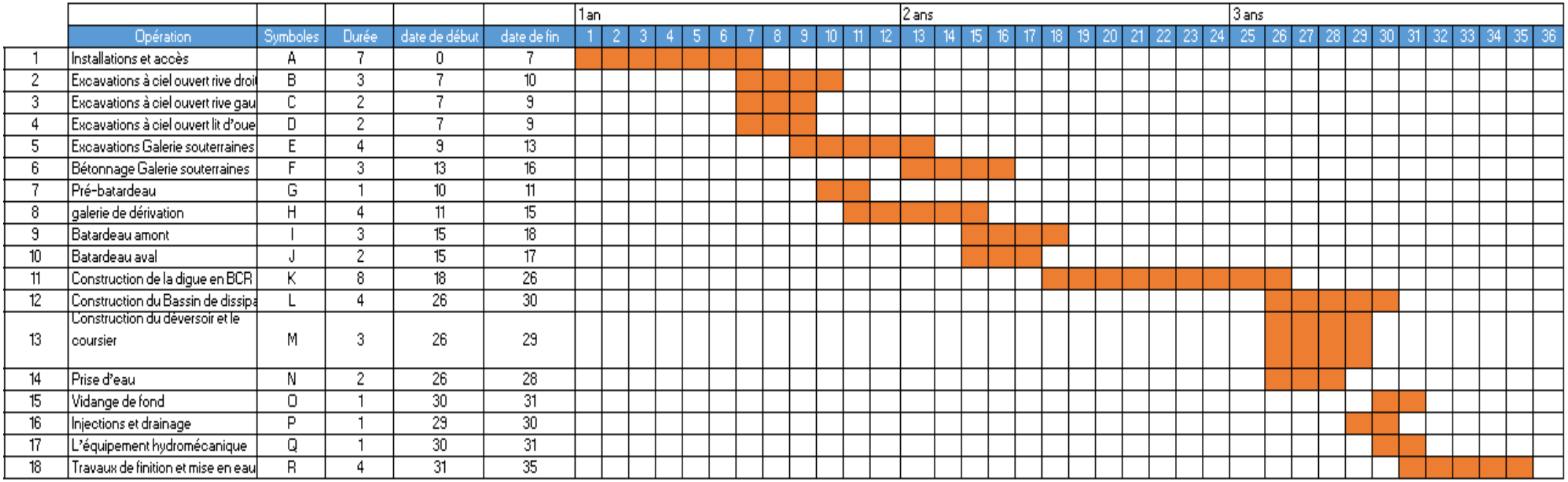


Figure VI. 2 : Diagramme de GANTT pour le barrage d'Ouldjet Mellegue

Conclusion

Dans ce chapitre on a vu l'importance de l'organisation de chantier pour des grands projets (barrage d'Ouldjet Mellegue). Cette partie de l'étude ne renseigne pas sur l'ensemble des moyens nécessaires (humains et matériels) et comment géré ces ressources tout en respectant le délai de réalisation et les problèmes qui peuvent être durant toute la période de réalisation. Aussi pour l'amélioration de l'organisation de chantier, des méthodes sont utilisées pour faciliter le bon déroulement de la situation (on a mentionné les trois méthodes les plus utilisées dans la pratique).

CHAPITRE VII : Protection au travail

INTRODUCTION

Dans le chantier de réalisation d'un projet (pour notre cas on a un barrage), l'organisation de tous les travaux et ressources (humaines et matérielles) est très importante pour le bon déroulement. Durant la période de réalisation, il est parfois très fréquent que nombreux accident se pose ce que soit pour les travailleurs ou pour les matériels de construction. Pour ce chapitre, on a va présenter les majors risques qui peuvent toucher nos ressources dans un chantier avec les solutions à proposer pour la protection du travail.

VII.1. Accident de travail et maladie professionnel

VII.1.1. Définition de l'accident de travail

L'accident est dit accident de travail quelle que soit la cause, l'accident est prévenu au poste de travail de tous les travailleurs de la l'organisme et qui effectue directement sur la qualité productive de l'organisme. L'accident du travail dans un chantier ou emplois du travail est :

- ✓ L'accident est soudain.
- ✓ Provoque l'endommagement du corp.
- ✓ Se produit au lieu de travail (chantier….ect).
- ✓ La présence de l'accident a une relation directe avec (le lieu de travail, le temps et le lien).

VII.1.2.Définition d'une maladie professionnelle

La maladie est dit professionnelle si elle représente la conséquence directe de l'exploitation d'un travailleur a un risque dans le lieu de travail, cette maladie accompagne le travailleur pendant des longs périodes et même pour tous sa vie suivant l'importance de risque et sa conséquences, la personnes touché par une maladie professionnelle doit l'indiqué pour bénéficier de certaines avantages, tenant compte que :

- ✓ La maladie doit être déclaré par le travailleur avec un certificat qui preuve que cette maladie est la cause directe du travail.
- ✓ La déclaration par le salaries doit respecter les délais de prise en charge.

VII.2.Les risques des accidents de travail

Les causes des accidents de travail sont divers et varies selon l'importance et la difficulté de travail a réaliser (on parle surtout pour le travail dans un chantier de réalisation), ces causes ont deux grand catégorie : causes lié au matériels et causes lier au travailleurs.

VII.2.1. Risques lié aux matériels :

Concerne tous les conditions dangereuses liées au fonctionnement des machines de réalisation.

VII.2.2. Risques lié aux personnes

Concerne toute utilisation incorrecte des machines et non pas prendre en considération le risque lié à la machines.

VII.2.3. Risques lié à la nature de travail :

Englobe tous qui sont relations avec la nature de travail à réaliser, ces causes varient selon l'importance et le danger qui vient par l'application.

VII.2.4. causes et risques lié aux matériels de réalisation

Les machines utilisées dans le lieu de travail et pratiquement dans les chantiers, parfois l'utilisation de ces machines dans les différentes étapes de réalisation du projet englobe plusieurs difficultés ou risques, parmi les risques qu'on constate pratiquement :

- ✓ Nature et les risques lié au poste de travail.
- ✓ La nature et la formes des matériaux mise en œuvre pour la réalisation de l'ouvrage.
- ✓ La nature et la formes des outils utilisées pour la réalisation (terrassement, excavation…ect).
- ✓ De l'état de fonctionnement des machines dans le chantier.

VII.2.5. Risques lié aux matériels dans le cas de mauvaises conditions

Dans certaines cas l'utilisation élevée des outils de travail pour des grandes périodes du temps, implique l'endommagement des machines et cela provoque un grand risque aux travailleurs du chantier, parmi les conditions d'utilisation des machines dans les différentes étapes de réalisation on a :

- ✓ La protection des machines au niveau de chantier est insuffisante.
- ✓ Pas de protection des machines.
- ✓ La qualité des engins, équipement de travail dans le chantier est en mauvais état.
- ✓ La présence de certains défauts dans la conception des engins.
- ✓ Matériels défectueuses.

VII.2.6. Risques liés au personnelles

Lorsque un ou plusieurs personnes dans un chantier au lieu de travail ne respectes pas les conditions d'utilisation et les conditions de protection, l'accident de travail sera toujours présent et c'est cette accident qui pourra être dangereux (parfois mortelle), provoque la présence de la maladie professionnelle.

- ✓ Des interventions sans précaution sur les engins en mouvements.
- ✓ Intervention sans tenir de la précaution sur les installations qui sont dangereux.
- ✓ Utilisation des engins sans avoir la permission ou l'autorisation du responsable.
- ✓ Eliminer les dispositifs de protection.
- ✓ La mauvaise utilisation des engins, machines l'ors du travail.

VII.2.4. Risques aux natures des travaux

Les travaux à réaliser se divers, la mauvaise connaissance de métier ou les risques qui peuvent arrivées engendre des grands problèmes dans les chantiers ou les lieux de travail.

a. Risques au travail en hauteur

Dans les grands projets de réalisation (les barrages), la hauteur du barrage peut atteindre plus de 40 m, donc le travail en hauteur et les outils utilisées pour pouvoirs atteindre la hauteur déterminer engendre plusieurs risques :

- ✓ Les chutes des hauteurs sans les plus fréquents dans ce cas de travail.
- ✓ Les plateformes surchargés et encombrées.
- ✓ la mauvaise utilisation des échelles mal entretenues, mal placées et/ou mal fixées, entrainant leur glissement ou renversement.
- ✓ le travail sur des toits fragiles.

- ✓ le passage, entre un moyen d'accès et des plateformes, planchers ou passerelles, crée des risques de chute.

b. Risques liés au travail en extérieur

Comme la réalisation d'un barrage, les travailleurs applique leurres métierciel ouvert, donc ils sont en contacte directe avec les différents changements climatique.

- ✓ Variation des saison dans toute l'année (gel, chaleur, vent, orages, pluie…ect), accentuent les risques liés aux postures de travail contraignantes et ne permettent pas de travailler en toute sécurité.
- ✓ L'exposition fréquente aux UV, peut être responsable de cancers de la peau, d'ophtalmies (brûlure de la cornée) particulièrement en altitude, et d'érythème solaire (coup de soleil).
- ✓ la chaleur et à l'action prolongée du rayonnement solaire sur la tête (effets de l'insolation, de la déshydratation…) génèrent des risques de malaise général, de crampes musculaires, de pertes de connaissance.
- ✓ La chaleur aussi augmente les risques d'accidents du travail par la fatigue, la sudation, la diminution de la vigilance.
- ✓ Pour le froid est accru par une exposition au vent (refroidissement éolien) et à l'humidité.
- ✓ Le refroidissement des parties du corps peut provoquer des engelures, lésions cutanées qui deviennent rouge violacées, douloureuses, avec des crevasses et/ou des phlyctènes.

c. Risques chimiques

Les agressions liées au produit chimiques des constructions des ouvrages hydrauliques (digue, évacuateur….ect), parmi les risques provoqués par ces produits :

- ✓ Le ciment a un grand influence sur la peau, induit de nombreux problèmes dermatologiques : dermites d'irritation dues à la forte alcalinité, dermites allergiques (eczéma de contact, la "gale du ciment").
- ✓ Les poussières de ciment peuvent être aussi responsables d'affections oculaires, conjonctivite, blépharoconiose ou blépharite (lésions de follicules pileux des cils de paupières).
- ✓ Toutes les poussières du chantier émises par le brassage d'air et le piétinement soulevant les particules tombées au sol, sont nocives par inhalation, lorsque la quantité de ces particules augmente peut causer rhinite allergique ou une inflammation de la muqueuse nasale.

d. Risques organisationnelle

Qui ont une relation directe avec l'organisation de chantier

- ✓ Intervention de deux ou plusieurs métiers simultanément.
- ✓ La formalisation et l'organisation des étapes de travail lorsque plusieurs entreprise gère plusieurs parties du projet.

e. Risques routiers

Ces risques provient surtout pour les conducteur de travaux qui ont la responsabilité d'utilisées les différentes engins pour ramener les matériaux de construction à partir des zones d'emprunts.

- ✓ Risques lié au environnement (météo, entré de chantier…ect).
- ✓ Risques lié au véhicules de transport des matériaux (mal adapté, mal aménagé, surchargé…ect).
- ✓ Risques lié à l'organisation (l'heure, préparation et répartition des voyages).

VII.3.Protection du travail

Dans le chantier au le lieu de travail, la présence des accidents de travail dus aux différentes causes (humaines, matériels et lie au métier) et souvent très probable, pour cela l'utilisation des moyennes de protection pour les travailleurs ou pour les engins est très importante.
Il existe plusieurs types ou méthodes de protection du travail, chaque méthode s'intéresse au une partie, parmi les types des protections du travail, on a :

VII.3.1.Protection du travail pour les engins de construction

Comme on a dit au précédent, les accidents de travail sont de plusieurs sources, parmi eux on a les accidents qui sont liés au risque engagé par les matériels de construction. Pour cela, plusieurs mesures sont mise en place au niveau de chantier.

a. Sécurisation des engins

Les engins de construction sont évidements les responsables des accidents lié au matériels, parmi les exigences qui sont prendre en considération, on a :

- ✓ Sécurisation d'accès aux engins au niveau de chantier.
- ✓ La cabine de l'engin doit être insonorisé et climatisé.
- ✓ La cabine doit être équipé d'un siège adapté et confortables les long durés de travail.
- ✓ L'entretien régulier de l'engin.

b. Règlementation pour le mouvement des engins dans le chantier

Dans le chantier, le mouvement des différentes engins de li site de réalisation doit être sont difficulté, pour cela :

- ✓ Entretient des pistes de circulation au niveau de chantier.
- ✓ Avoir des consignes de mouvement dans le chantier et l'expliqués aux conducteurs.
- ✓ Balisage des pistes.
- ✓ Considération le type et lieu de fonctionnement de chaque engin.

c. Règlementation routier d'engins

Le mouvement de l'engin sur la route est suivant plusieurs consignes, parmi eux :

- ✓ Sur la route l'engin doit être acheminé par porte-engin.
- ✓ Sur le port-engin, le matériel doit être immobilisé par l'utilisation des cales et de câbles.
- ✓ Pour les engins qui peuvent déplacer sur la route, la vitesse de circulation doit être faible <40 km/h avec l'utilisation des gyrophares.

VII.3.2.Protection du travail pour les travailleurs

L'accident de travail qui touche le travailleur a une conséquence directe sur les plans économiques et humains dans un chantier de réalisation. On dit que le travailleur est on bonne santé si il repend au certaines exigences :

- ✓ Moine d'absentéisme.
- ✓ Une bonne ambiance dans le travail.
- ✓ Nombres des problèmes au niveau du chantier seront diminué.
- ✓ Garder les activités et les emplois.
- ✓ Garder et assurer la valorisation du métier.
- ✓ Assurer la qualité de l'entreprise dans le marché.

Pour la protection du travail qui concerne les travailleurs, on a deux types principaux :

- ➢ Protection du travail collectif.
- ➢ Protection du travail individuelle.

Dans le schéma suivant il donne une simplification sur la détermination du risque jusqu'à protection des travailleurs.

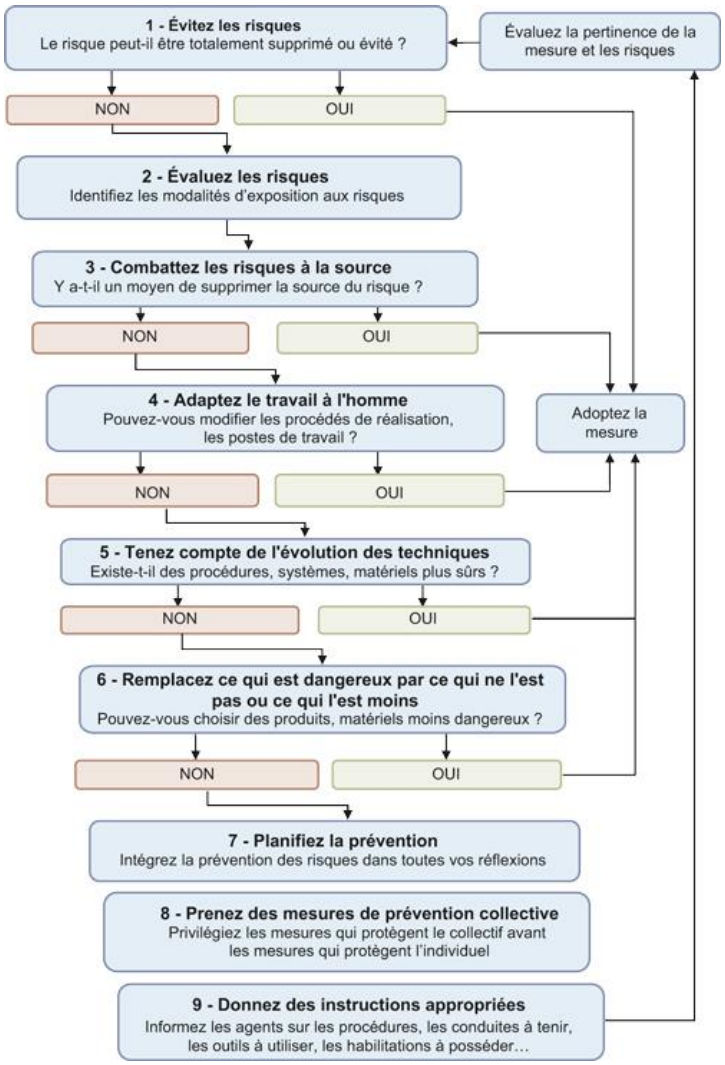


Figure VII. 1 : Schéma de prévention à partir de mesuré le risque jusqu'à choisir type de protection (source : Wikipédia (méthodes de sécurité de travail))

1. Protection collectif

La protection collective concerne la protection du groupe de tous les travailleurs dans le lieu de construction du projet ou au sein de l'entreprise de réalisation, on peut dire aussi que la protection collective est :

- ✓ Un équipement de protection ou une diapositive qui a pour but d'assurer la sécurité générale de l'ensemble des travailleurs.
- ✓ Cet équipement est insérer aux moyens de construction et au poste de travail ou e métier.

a. Principaux moyens de la protection collective

Il existe quatre principaux moyens utilisées qui sert à la protection collective de l'ensemble des ressources humaines au niveau de chantier ou lieu de travail :

- ✓ La protection par éloignement (balisage, déviation).

- ✓ La protection par obstacle (rambarde de sécurité).
- ✓ La protection par atténuation d'une nuisance.
- ✓ La protection par consignation d'une fonction dangereux l'or d'intervention.

b. Principaux techniques de protection collective dans un chantier

- ✓ L'emplacement d'un garde de Corp.
- ✓ Utilisation d'une lisse intermédiaire.
- ✓ Utilisation des échafaudages
- ✓ Mettre en place les nacelles élévatrices.

2. Protection individuelle

La protection individuelle englobe tous les consignes et exigences que doive chaque travailleur à respecter, et le non utilisation de ces techniques de protection engendre l'exposition de travailleurs aux différents risques dans le chantier. Cette protection commence par la formation et l'information de tous les travailleurs (en commençant par les conducteurs de travaux) :

a. Formation des conducteur travaux

Dans le chantier les conducteurs des engins sont les plus responsables sur les accidents dans le chantier, pour cela la formation est indispensable, pour chaque catégorie d'engins on a une formation appropriée, parmi les catégories d'engins qu'on peut les trouver dans un chantier de construction, on a :

Tableau VII. 1 : catégories d'engins suivants la nature des travaux (Source : Support de cour PST de Mr. Kahlerrase)

catégorie	Nature d'engins
Catégorie 1	Tracteur et petite engin
Catégorie 2	Engin d'extraction, chargement et déplacement séquentiel
Catégorie 3	Engin d'extraction et chargement alternatif
Catégorie 4	Engin de déplacement alternatif
Catégorie 5	Engin de finition à déplacement lent
Catégorie 6	Engin de réglage a déplacement alternatif
Catégorie 7	engin de compactage a déplacement lent
Catégorie 8	Engin de transport ou d'extraction
Catégorie 9	Engin de manutention

b. Equipement de protection individuelle

C'est l'ensemble d'équipements qui sert à assurer la sécurité de tous les travailleurs en utilisant les équipements de protection individuelle, parmi ces équipements, on a :

- ✓ Les harnais : doit être adapté à la morphologie de son utilisateur et assure le confort durant la période de travail.
- ✓ Utilisation des systèmes de liaison qui sert à :
  -absorption de l'énergie intégrée à une longe.
  -antichute a rappel automatique.
  -antichute mobile sur support d'assurage rigide.
  -diapositive d'encrage.

*dans la figure suivant on a l'ensemble des types de protection personnel.



Figure VII. 2 : l'ensemble des types de protection individuelle (Source : Support de cour PST de Mr. Kahlerrase)

Conclusion

Dans les travaux de construction dans un chantier, la présence des accidents de travail est très souvent à cause de divers risques qui sont présents dans le lieu de travail, ces risques se divisent en plusieurs catégories suivant l'importance, la nature et type d'engin. Pour éliminer ces risques des mesures de prévention sont utilisées en diverses catégories (collectives et individuelles), mais malgré l'utilisation de ces diapositives on a la présence de risques, donc respectant les consignes de travail dans le chantier est la technique la plus efficace pour la réduction des accidents.

CHAPITRE VIII : Etude d'impact sur l'environnement

INTRODUCTION

La réalisation d'un ouvrage est toujours pour un but. Le barrage d'Ouldjet Mellegue est un ouvrage hydraulique qui a pour but de fournir l'eau aux consommateurs, mais la réalisation de cet ouvrage nécessite non sur les études (hydrologie, géologie, économie), mais aussi l'influence de barrage sur la nature. Alors dans ce chapitre on parlera sur l'influence de réalisation d'un grand ouvrage (barrage) sur toute la région qu'il touche, c'est-à-dire comment peutant changer l'environnement pour un ouvrage comme un barrage.

VIII.1. L'utilité des barrages

Le barrage a été construit pour répondre à différents objectifs : contrôle des débits, prévention des crues et maintien des étiages, constitution de réserves d'eau, production d'énergie, élevage de poissons, promotion de la navigation, création récente de divertissement. ..ect, alors parmi les principales utilités, est :

- ✓ La mobilisation de l'eau est efficace.
- ✓ Contrôle de la source d'eau.
- ✓ Utilisation d'eau pour (consommation ou production électrique ou les deux).

Après avoir déterminé parmi les importantes utilités d'un barrage, on doit parler sur l'impact de la construction d'un barrage sur l'ensemble de la région qui l'entoure, c'est-à-dire donnée les points les plus importants touchés par la réalisation de l'ouvrage.

VIII.2. Impacte de construction d'un barrage

Selon (Souchon & Nicolas, 2011) la construction d'un barrage engendre plusieurs impacts sur l'environnement, impacts positive et négative.

VIII.2.1. Impacts positive

Les impacts positifs sont tous les changements qui touchent l'environnement mais d'une façon qui améliore l'environnement qui l'entoure. En voir les principaux impacts positive qui concerne la réalisation du barrage Ouldjet Mellegue.

a. Impacts positive direct

Englobe tous les changements directs qui affectent la région mais d'une façon à améliorer la mobilisation des ressources en eaux.

- ✓ Améliorer l'efficacité de la gestion de l'eau du bassin versant Ouldjet Mellegue.
- ✓ Participe à fournir de l'eau d'irrigation pour toute la région d'Ouenza (les terrains agricoles seront alimentés par le barrage d'Ouldjet Mellegue).
- ✓ Participe à fournir l'eau pour la consommation domestique de la région d'Ouenza.

b. Impacts positive indirecte

Englobe tous les changements qui touchent l'environnement qui l'entoure mais pas comme impact nécessaire.

- ✓ Protection contre les inondations d'Oued Mellegue pour la ville d'Ouenza.
- ✓ Création d'emploi temporaire pour la population locale (Ouenza, Tébessa…ect).

- ✓ Création d'une zone humide dans la région du barrage (zone semi-aride) et développement des cultures.

VIII.2.2. Impacts négative de la zone de construction du barrage

Comme chaque ouvrage construit, on trouve toujours la présence des effets positifs et pratiquement aussi beaucoup d'effets négatifs. Ces impacts sont engendrés par l'ouvrage pour des périodes de courte ou de longues durées.

a. Impacts sur la zone a inondé

La zone inondée englobe toute la surface remplit d'eau, alors cette surface qui estimer très important pour les grands barrages (comme le barrage d'Ouldjet Mellegue) engendre quelques modifications sur la région.

- ✓ Déplacement de la population qu'été au niveau de la place de la retenue d'Ouldjet Mellegue.
- ✓ Quelque terre agricole sera sous l'eau et donc la perte du potentiel productif de la zone.

b. Impacts des travaux de construction

La période réalisation d'un barrage englobe plusieurs difficultés sur tout la région considérée, pour le cas du barrage d'Ouldjet Mellegue, en considère :

- ✓ L'ouverture des accès du chantier.
- ✓ L'altération du climat sonore et du paysage au niveau et au voisinage des zones occupées par les installations du chantier.
- ✓ La hausse moyenne et ponctuelle du trafic sur les accès.

La construction du barrage créera des perturbations physiques, naturelles et humaines causées par les activités pendant la durée de la construction, estimée à 35 mois (d'après le diagramme de GANTT Figure VI.2). Le tableau suivant résume les impacts de la phase de construction et leur évaluation :

Tableau VIII. 1 : Evaluation d'impact pour les différents milieux existants (Source : L'ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL)

Milieu	Description du l'impact	Evaluation du l'impact
Milieu physique (impact sur la qualité de l'aire).	Emission des particules en suspension et des gaz d'échappement due à : • Augmentation du trafic des moteurs de chantier et des véhicules des employés • Travaux de terrassement nécessaires pour aménager des routes d'accès à la zone de travail • Transport de camions et de marchandises lourdes circulant sur le réseau routier local et suivant le chemin menant au chantier, surtout si les véhicules circulent sur des allées non pavées • Excavation et autres activités pour la pose des fondations, le chargement et le déchargement des camions et le stockage de la terre et d'autres matériaux dans la zone de travail.	Impact négative faible et temporaire.
Milieu physique (altération physique des roches et sols)	• Création et aménagement des accès au chantier • Les fouilles • Déplacement sur terre Ces activités ont un impact direct sur l'utilisation des terres et les caractéristiques des zones affectées. La fragmentation et le compactage du sol augmentent les propriétés mécaniques, détruit et affaiblissent la structure du sol, une diminution de la porosité totale et de la macro-porosité. Ces conséquences, et en l'absence de couvert végétal, augmentent la vulnérabilité des sols à l'érosion.	Impact négative faible et temporaire.
Milieu physique (risque de contamination des sols et sous-sols).	• Déversements d'hydrocarbures et de produits dangereux • Mauvaise gestion des déchets Les effets de ces méthodes peuvent modifier la qualité du sol et du sous-sol. La contamination toxique peut atteindre les eaux souterraines et ainsi affecter la santé des utilisateurs en aval	Impact négative modéré et temporaire.
Milieu physique (altération de la qualité d'eau de l'oued).	• Déversement accidentels des hydrocarbures et produits dangereux et Mauvaise gestion des déchets • Circulation des moteurs et des matériaux • La réalisation des déviations, des batardeaux, etc. • Choix des lieux de préparation des matériaux, etc. Ces activités peuvent altérer la qualité des eaux de Leben, par l'augmentation de la matière en suspension, le des polluants, etc.	Impact négative modéré et temporaire.
Milieu biologique (altération de la végétation sur les lieux des travaux)	• Défrichements des zones d'occupation temporaire • Défrichage de la route d'accès, sur le terrain occupé par les travaux, il s'agit de végétaliser la zone d'étude.	Impact négative faible et temporaire.
Milieu humaine	▪ Nuisances sonores, émanation des poussières et des gaz ▪ Empiètement sur les propriétés privées des riverains ▪ Risque sur la sécurité des riverains et leurs cheptels	Impact négative modéré et temporaire.

c. Impacts sur la phase d'exploitation

Pour la phase d'exploitation du barrage, les impacts situés sont principalement concernés les cas non respectés ce qui concerne le débit sanitaire a lâché par le barrage Ouldjet Mellegue.

- ✓ Degré de salinité élevé en aval du barrage sur Oued Mellegue.
- ✓ Grand impact sur le milieu biologique dans la retenue et perte d'habitat, réduction du transport d'éléments organiques et minéraux.

Conclusion

L'étude de l'impact du barrage sur toute la région de réalisation est très importante, car non seulement l'étude de réalisation de l'ouvrage est faite suivant les conditions topographiques, géologiques du terrain, mais il faut prendre en considération l'impact sur l'environnement et mettre une stratégie pour faire éliminer les impacts négatifs en gardant seulement les impacts positifs du barrage.

Conclusion générale

Notre travail porte sur l'un des ouvrages qui ont un système de conception et même un système de fonctionnement très compliqué et très important, car ces types d'ouvrages viennent avec un grand risque sur la région ou l'ouvrage installé.

La réalisation du barrage Ouldjet Mellegue sur oued Mellegue au niveau de la wilaya de Tébessa, augmente l'enrichissement de toute la région en eau d'irrigation en premier ordre et un pourcentage faible en eau de consommation.

Dans le cadre de notre mémoire fin d'étude qui est sous le thème «Etude des variantes d'évacuateur de crue du barrage Ouldjet Mellegue », en utilisant tous les données accessibles (données géologiques, hydrologiques et organisation de chantier) ainsi que les différentes utilisations des relations et formules les plus utilisées que ce soit pour l'hydrologie de la région ou bien le calcule de dimensionnement. Pour la proposition de deux variantes d'évacuateur de crue et le choix de la variante la plus favorable pour un barrage en BCR (pour notre étude la variante la plus favorable est "Evacuateur centrale avec déversoir en profile GREAGER et coursier lisse et un bassin de dissipation USBR type III).

Cette étude de réalisation a été commencée par une synthèse des principaux résultats des autres chapitres pour le but de faciliter ce qui vient après. Comme première étude importante pour la réalisation d'un barrage on a commencé par l'étude géologique en donnant les principaux résultats des essais d'investigation (géologie, lithologie, essais aux laboratoires…etc.) pour la région, la retenue et le site du barrage.

Ensuite comme étude principale on a fait une étude hydrologique sur l'ensemble de la région du barrage et même sur le site de réalisation en utilisant les différentes données obtenues de l'ANBT et l'ANRH d'ALGER et les différents logiciels (ArcGis 10.5 et HYFRAN) pour assurer une bonne étude qui conduise par la suite à une étude de réalisation.

Comme 2eme chapitre principal on a utilisé les différentes lois de dimensionnement pour nous permettent de dimensionner deux variantes les plus adéquates avec notre type de barrage et choisir la variante la plus fiable en justifiant ça par une étude technique-économique. En accompagnant la variante choisie par une étude génie civil qui permet en premier lieu d'étudier la stabilité générale de l'évacuateur de crue (vérification que la construction est possible) ensuite on a le calcul d'armature qui nous permet de déduire la section d'armature (verticale et horizontale) pour chaque partie de l'évacuateur de crue.

Après avoir terminé la partie de dimensionnement de l'évacuateur, une étude de l'organisation de chantier consiste à avoir les principales connaissances sur les engins et les équipements nécessaires pour la réalisation du projet, avec détermination de période totale de construction suivie par des techniques de protection du travail et finalement l'impact de l'ouvrage en général (digue et évacuateur) sur toute la région qui l'entoure.

Références bibliographique

ANBT Mémoire de synthèse d'études du barrage Ouldjet Mellegue (wilaya de Tébessa).

ANBT. Synthèse d'étude géologique de la région du barrage Ouldjet Mellegue (W.Tébessa).

ANBT. Synthèse d'étude hydrologique de la région du barrage Ouldjet Mellegue (W.Tébessa).

ANBT. Synthèse sur protection du travail dans la conception des ouvrages (Barrages et retenues).

ANBT. Rapport de l'organisation de chantier du barrage Ouldjet Mellegue.

BENLAOUKLI.B, 2020. Polycopier d'organisation de chantier II (la planification des travaux par les M.M.O).ENSH Blida.

CHOLLET, Jean-Pierre et CUNGE, Jean A., 1980. Simulation of unsteady flow in alluvial streams. *Applied Mathematical Modelling*. 1 août 1980. Vol. 4, n° 4, pp. 234-244. DOI 10.1016/0307-904X(80)90190-0.

CUNGE, J. A. et WEGNER, M., 1964. Intégration numérique des équations d'écoulement de barré de Saint-Venant par un schéma implicite de différences finies. *La Houille Blanche*. 1 janvier 1964. N° 1, pp. 33-39. DOI 10.1051/lhb/1964002.

DARVAS, Louis A., 1971. Discussion of "Performance and design of labyrinth weirs". *Journal of the Hydraulics Division*. 1971. Vol. 97, n° 8, pp. 1246-1251.

DUNCAN, W., HUNTLEY, C., HOKENSTROM, J., CUDWORTH, A. et MCDANIEL, T., 1987. *Design of small dams . A water resources technical publication. Final report*. Bureau of Reclamation, Denver, CO (United States). Engineering and Research ….

FREAD, D. L. et HSU, K. S., 1993. Applicability of two flood routing methods: level-pool and Muskingum-Cunge. In : *ASCE national hydrologic engineering conference, San Francisco, CA*. 1993. pp. 26-30.

GUILLOT, P. et DUBAND, D., 1967. La méthode du GRADEX pour le calcul de la probabilité des crues à partir des pluies. In : *AIS*. 1967.

HADEF, Redjem et HADEF, Azzeddine, 2001. Le déficit d'eau en Algérie: une situation alarmante. *Desalination*. 2001. Vol. 137, n° 1-3, pp. 215-218.

HAFFAD, Tahar, 2015. Quelques conséquences économiques et sociales de l'évolution démographique en Algérie.

HOUICHI, Larbi, 2007. *OUVRAGES D'ÉVACUATION*. PhD Thesis. Université de Batna 2.

KAHLERRAS.D,2021. cour PST (Introduction générale à la protection de la santé des travailleurs) ,2021. ENSH Blida.

KAHLERRAS.D, 2021. cour PST (Les causes des accidents de travail), 2021. ENSH Blida

KAHLERRAS.D, 2021. cour PST (Protection collectif et individuelle des travailleurs), 2021. ENSH Blida

KHATSURIA. R, 2005. M Hydraulics of Spillways and Energy Dissipators. Georgia Institute of Technology Atlanta, Georgia,

Khatsuria, 2004. R. M. Hydraulics of Spillways and Energy Dissipators. CRC Press.

MALLET, C. et PACQUANT, J., 1951. *Erdstaudämme. Orig. Titel: Les Barrages en Terre. Übersetzt aus dem Franz.: H. Ferchland*. 1951. VEB Verlag Technik, Berlin, DDR.

NGO, Anh Tu, 2014. *Evaluation environnementale du risque d'inondation dans le delta du fleuve Ha Thanh (centre Viêt-Nam)*. PhD Thesis. Université d'Orléans.

STEVENSON, Thomas R., THACKER, John G., RODEHEAVER, George T., BACCHETTA, Carlos, EDGERTON, Milton T. et EDLICH, Richard F., 1976. Cleansing the traumatic wound by high pressure syringe irrigation. *Journal of the American College of Emergency Physicians*. 1 janvier 1976. Vol. 5, n° 1, pp. 17-21. DOI 10.1016/S0361-1124(76)80160-8.

TOUAIBIA.B & B.BENLAOUKLI, 2004. Introduction au dimensionnement des retenues collinaires. ENSH Blida.

TOUAIBIA.B, 2004. Manuel pratique d'hydrologie.ENSH Blida.

TOUAIBIA.B Polycopie de cours de régularisation des débits. ENSH Blida

USACE Engineering and Design Hydraulic design of Spillway, 1990 Engineer Manual EM 1110–2–1603, January

ZARROUK, Moktar, SEQQAT-DAKHMA, Wafaâ et CHÉRIF, Abdelkader, 1995. Salt stress effect on polar lipid metabolism of olive leaves. In : *Plant Lipid Metabolism*. Springer. pp. 429-431.

ZEROUAL.A, 2021. Cour dimensionnement des évacuateurs de crues (déversoir, coursier et ouvrage de dissipation),

ZHANG, Xiangchun, SHYY, Wei et SASTRY, Ann Marie, 2007. Numerical simulation of intercalation-induced stress in Li-ion battery electrode particles. *Journal of the Electrochemical Society*. 2007. Vol. 154, n° 10, pp. A910.

Sites Web visités

https://earthexplorer.usgs.gov/

https://www.graie.org/eaumelimelo/IMG/pdf/barrages_et_continuite_def_cle41d152.pdf

http://cours-examens.org/images/An_2017_1/Etudes_superieures/Hydraulique/Barrages/barrages-2010.pdf

https://www.afdb.org/sites/default/files/documents/environmental-and-social-assessments/resume_eies-projet_gestion_durable_ressources_en_eau_dans_bassin_sebou_pgdres_barrage_sidi_abbou_va.pdf

https://www.barrages-cfbr.eu/Impact-ecologique-et-social.html

http://cours-examens.org/images/An_2017_1/Etudes_superieures/Hydraulique/Barrages/barrages-2010.pdf

ANNEXES

Annexe I-1 : Séries des Pj max déterminer par la station d'Ouenza

Année	Pj max (mm)	Année	Pj max (mm)
1970	29	1992	20
1971	13,5	1993	23
1972	55,5	1994	28,5
1973	50,1	1995	40
1974	47	1996	48
1975	20,9	1997	23,5
1976	33,8	1998	47,5
1977	26,7	1999	49
1978	33,5	2000	21
1979	35,9	2001	25
1980	33,7	2002	40
1981	26,3	2003	48
1982	32	2004	28,8
1983	35	2005	63,6
1984	45,8	2006	31,4
1985	18,5	2007	20,6
1986	21,5	2008	45,3
1987	37	2009	33
1988	28,1	2010	31,6
1989	38,5	2011	27
1990	29	2012	30,1
1991	61,3	2013	21

Annexe I-2 : série d'apport annuelle de la station Ouenza

Année	sep	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avr	mai	juin	juill	aout	Annuelle
1970	0,00	0,00	0,12	0,13	1,18	9,71	0,50	0,19	6,21	0,08	0,91	6,42	25,45
1971	31,63	14,30	1,13	1,96	4,50	0,70	3,14	10,81	2,48	14,34	2,17	1,19	88,34
1972	9,55	51,98	0,74	0,87	4,72	2,89	77,27	24,30	1,36	1,77	0,46	4,97	180,89
1973	0,38	0,39	0,33	19,18	1,03	1,47	0,95	1,81	1,12	0,55	0,38	0,09	27,69
1974	2,88	1,26	0,92	0,45	0,94	31,20	1,17	25,92	3,60	2,34	0,05	0,29	71,02
1975	9,35	0,32	3,95	0,32	0,50	1,00	8,68	7,79	13,35	14,82	31,31	1,14	92,55
1976	11,48	2,18	36,42	1,00	1,09	0,60	7,76	4,04	10,38	14,01	0,08	3,55	92,60
1977	0,60	0,12	26,78	0,54	0,44	0,66	4,17	2,33	4,44	4,67	0,01	2,71	47,47
1978	0,13	4,92	0,12	0,34	0,11	1,77	0,88	36,07	3,79	7,92	0,82	0,16	57,03
1979	70,53	8,35	1,00	0,36	0,35	0,71	14,91	0,93	1,46	0,07	0,00	0,00	98,68
1980	0,80	0,00	0,98	22,33	3,20	1,31	1,15	1,34	1,17	4,90	0,17	1,77	39,13
1981	3,84	1,72	0,21	0,51	0,24	0,63	0,79	25,43	50,37	1,33	0,09	0,03	85,19
1982	5,00	9,20	15,00	14,83	6,00	0,53	3,33	5,00	0,20	0,00	0,00	0,00	59,10
1983	0,03	0,01	0,01	0,01	0,32	24,93	8,05	0,73	0,05	0,05	0,01	11,03	45,24
1984	2,65	19,27	0,23	22,76	4,90	7,94	2,41	1,24	7,93	6,22	0,01	0,00	75,56
1985	4,82	6,49	0,10	0,22	0,67	0,16	2,07	0,28	17,34	17,30	7,66	3,20	60,31
1986	16,77	20,73	7,37	1,74	0,61	0,43	3,92	0,39	3,46	1,15	4,82	4,03	65,42
1987	3,07	0,10	1,55	0,03	0,04	0,02	0,04	13,60	35,36	34,41	3,94	4,43	96,59
1988	0,76	31,79	3,58	1,49	0,39	1,42	0,15	0,43	3,70	22,34	9,28	1,35	76,69
1989	29,53	2,67	0,19	0,26	45,55	2,08	5,23	6,86	36,10	2,14	1,50	52,70	184,81
1990	16,65	2,99	59,96	23,15	8,63	2,38	13,58	16,48	4,57	16,87	0,13	0,04	165,42
1991	2,55	5,09	3,80	0,73	0,73	7,79	0,63	2,35	22,12	2,15	1,61	0,72	50,27
1992	1,44	3,47	10,49	1,29	3,10	0,79	1,52	1,66	8,66	2,86	0,02	0,00	35,30
1993	4,68	3,22	0,23	3,89	0,42	0,21	0,04	0,01	1,56	0,17	0,00	0,57	15,00
1994	3,36	2,43	0,07	0,00	0,24	0,04	0,09	0,67	0,02	47,69	4,04	5,00	63,66
1995	180,05	48,91	0,08	0,54	10,82	6,72	21,69	1,91	30,07	8,72	0,79	0,83	311,13

1996	10,00	13,00	10,00	21,00	16,00	3,00	4,00	2,02	3,00	0,00	0,00	0,00	80,00
1997	28,70	1,71	9,34	7,53	2,95	1,16	2,98	1,79	1,05	10,10	3,03	3,00	73,34
1998	21,69	31,44	17,44	0,90	5,30	0,84	2,27	0,36	1,20	1,80	0,80	0,90	84,05
1999	25,62	6,03	0,47	4,32	0,01	0,01	0,02	0,00	86,85	26,85	0,03	4,30	150,00
2000	15,02	13,59	0,13	0,41	1,07	3,75	0,36	8,69	3,81	0,03	0,01	0,01	46,87
2001	13,20	13,21	12,12	0,24	0,04	0,05	0,06	3,93	7,23	16,95	8,92	0,01	76,00
2002	4,07	6,52	30,76	5,91	44,63	11,05	3,04	19,02	1,14	1,66	2,19	0,01	130,01
2003	7,76	15,60	0,22	76,20	8,04	0,29	4,24	2,89	21,02	1,00	0,21	14,09	151,55

Annexe I-3 : Série des débits maximaux annuels

Année	Débit maximales annuelle	Année	Débit maximales annuelle
1970	285	1990	254
1971	250	1991	178
1972	310	1992	42
1973	363	1993	44
1974	52	1994	119
1975	183	1995	390
1976	221	1996	41
1977	141	1997	123
1978	258	1998	171
1979	143	1999	378
1980	220	2000	135
1981	121	2001	145
1982	175	2002	224
1983	100	2003	250
1984	174		
1985	175		
1986	84		
1987	180		
1988	222		
1989	208		

Annexe I-4 : Demande en eau (Source : ANBT)

Les mois	**Sep**	**Oct**	**Nov**	**Dec**	**Janv**	**Fev**	**Mars**	**Avr**	**Mai**	**Juin**	**Juill**	**Aout**	**annuelle**
Demande U80%	2.27	0	0	0	0	0	0	0.5	2.86	3.28	4.12	4.28	17.31
Pourcentage %	13.19	0	0	0	0	0	0	2.88	16.52	18.9	23.8	24.7	100

Annexe II-1 : Table de foster-ribkin

Cs	**Probabilité de garantie (*P*%, *Cs*)**											T 5 - T 95	S
	0.01	**0.1**	**0.5**	**1**	**3**	**5**	**10**	**20**	**25**	**30**	**40**		
0.00	3.720	3.090	2.570	2.330	1.880	1.640	1.280	0.840	0.670	0.520	0.250	3.28	0.00
0.10	3.940	3.230	2.680	2.400	1.920	1.670	1.290	0.840	0.660	0.510	0.240	3.28	0.03
0.20	4.160	3.330	2.780	2.470	1.960	1.700	1.300	0.830	0.650	0.500	0.220	3.28	0.06
0.30	4.380	3.520	2.890	2.540	2.000	1.720	1.310	0.820	0.640	0.480	0.200	3.27	0.08
0.40	4.610	3.660	2.980	2.610	2.040	1.750	1.320	0.820	0.630	0.470	0.190	3.27	0.11
0.50	4.830	3.810	3.080	2.680	2.080	1.770	1.320	0.810	0.620	0.460	0.170	3.26	0.14
0.60	5.050	3.960	3.170	2.750	2.120	1.800	1.330	0.800	0.610	0.440	0.160	3.25	0.17
0.70	5.280	4.100	3.270	2.820	2.150	1.820	1.330	0.790	0.590	0.430	0.140	3.24	0.20
0.80	5.500	4.240	3.360	2.890	2.180	1.840	1.340	0.780	0.580	0.410	0.120	3.22	0.22
0.90	5.730	4.380	3.450	2.960	2.220	1.860	1.340	0.770	0.570	0.400	0.110	3.21	0.25
1.00	5.960	4.530	3.530	3.020	2.250	1.880	1.340	0.760	0.550	0.380	0.090	3.20	0.28
1.10	6.180	4.670	3.610	3.090	2.280	1.890	1.340	0.740	0.540	0.360	0.070	3.17	0.31
1.20	6.410	4.810	3.700	3.150	2.310	1.910	1.340	0.730	0.520	0.350	0.050	3.16	0.34
1.30	6.640	4.950	3.780	3.210	2.340	1.920	1.340	0.720	0.510	0.330	0.040	3.14	0.37
1.40	6.870	5.090	3.860	3.270	2.370	1.940	1.340	0.710	0.490	0.310	0.020	3.12	0.39
1.50	7.090	5.230	3.930	3.330	2.390	1.950	1.330	0.690	0.470	0.300	0.000	3.09	0.42
1.60	7.310	5.370	4.020	3.390	2.420	1.960	1.330	0.680	0.460	0.280	-0.020	3.07	0.45
1.70	7.540	5.500	4.100	3.440	2.440	1.970	1.320	0.660	0.440	0.260	-0.030	3.04	0.48
1.80	7.760	5.640	4.170	3.500	2.460	1.980	1.320	0.640	0.420	0.240	-0.050	3.01	0.51
1.90	7.980	5.770	4.240	3.550	2.490	1.990	1.310	0.630	0.400	0.220	-0.070	2.98	0.54
2.00	8.210	5.910	4.300	3.600	2.510	2.000	1.300	0.610	0.390	0.200	-0.080	2.95	0.57
2.10	-	6.040	4.360	3.650	2.530	2.010	1.290	0.590	0.370	0.180	-0.100	2.92	0.59
2.20	-	6.140	4.420	3.680	2.540	2.020	1.270	0.570	0.350	0.160	-0.120	2.89	0.62
2.30	-	6.260	4.460	3.730	2.570	2.010	1.260	0.550	0.320	0.140	-0.130	2.86	0.64
2.40	-	6.370	4.510	3.780	2.600	2.000	1.250	0.520	0.290	0.120	-0.140	2.82	0.67
2.50	-	6.500	4.550	3.820	2.620	2.000	1.230	0.500	0.270	0.100	-0.160	2.79	0.69
2.60	-	6.540	4.600	3.880	2.630	2.000	1.210	0.480	0.250	0.085	-0.170	2.76	0.72
2.70	-	6.750	4.640	3.920	2.640	2.000	1.190	0.460	0.240	0.070	-0.180	2.74	0.74
2.80	-	6.860	4.680	3.960	2.650	2.000	1.180	0.440	0.220	0.057	-0.200	2.71	0.76
2.90	-	7.000	4.720	4.010	2.660	1.990	1.150	0.410	0.200	0.041	-0.210	2.68	0.78
3.00	-	7.100	4.750	4.050	2.660	1.970	1.130	0.390	0.190	0.027	-0.220	2.64	0.80
3.10	-	7.230	4.780	4.090	2.660	1.970	1.110	0.370	0.170	0.010	-0.230	2.62	0.81
3.20	-	7.350	4.820	4.110	2.660	1.960	1.090	0.350	0.150	0.006	-0.250	2.59	0.83

Annexe II-2 : Table de foster-ribkin

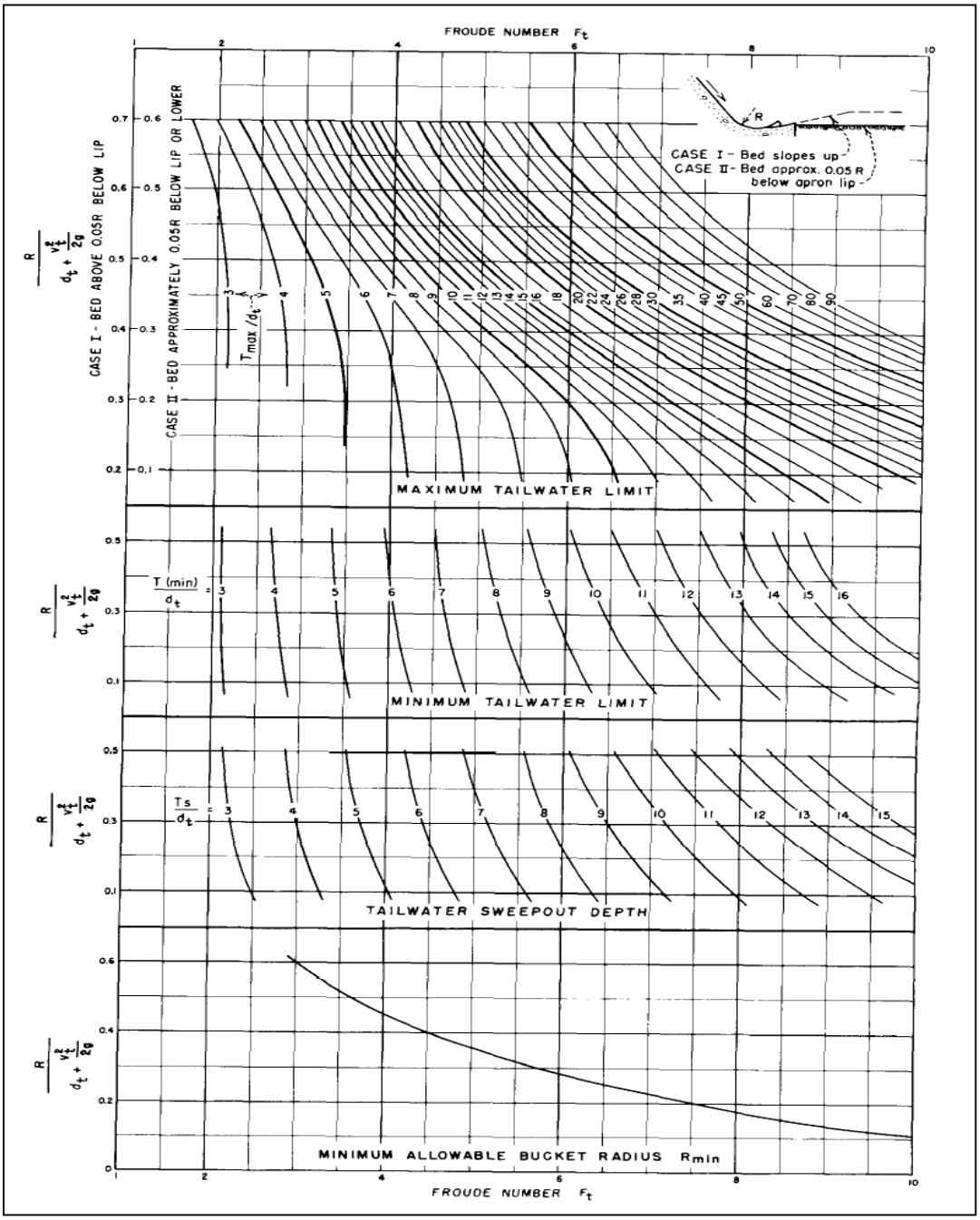
Cs	Probabilité de garantie (*P*%, *Cs*)										T 5 - T 95	S
	50	60	70	75	80	90	95	97	99	99.9		
0.00	0.000	-0.250	-0.520	-0.670	-0.840	-1.280	-1.640	-1.880	-2.330	-3.090	3.28	0.00
0.10	-0.020	-0.270	-0.530	-0.680	-0.850	-1.270	-1.610	-1.840	-2.250	-2.950	3.28	0.03
0.20	-0.030	-0.280	-0.550	-0.690	-0.850	-1.260	-1.580	-1.790	-2.180	-2.810	3.28	0.06
0.30	-0.050	-0.300	-0.560	-0.700	-0.850	-1.240	-1.550	-1.750	-2.100	-2.670	3.27	0.08
0.40	-0.070	-0.310	-0.570	-0.710	-0.850	-1.230	-1.520	-1.700	-2.030	-2.540	3.27	0.11
0.50	-0.080	-0.330	-0.580	-0.710	-0.850	-1.220	-1.490	-1.660	-1.960	-2.400	3.26	0.14
0.60	-0.100	-0.340	-0.590	-0.720	-0.850	-1.200	-1.450	-1.610	-1.880	-2.270	3.25	0.17
0.70	-0.120	-0.360	-0.600	-0.720	-0.850	-1.180	-1.420	-1.570	-1.810	-2.140	3.24	0.20
0.80	-0.130	-0.370	-0.600	-0.730	-0.850	-1.170	-1.380	-1.520	-1.740	-2.020	3.22	0.22
0.90	-0.150	-0.380	-0.610	-0.730	-0.850	-1.150	-1.350	-1.470	-1.660	-1.900	3.21	0.25
1.00	-0.160	-0.390	-0.620	-0.730	-0.850	-1.130	-1.320	-1.420	-1.590	-1.790	3.20	0.28
1.10	-0.180	-0.410	-0.620	-0.740	-0.850	-1.100	-1.280	-1.380	-1.520	-1.680	3.17	0.31
1.20	-0.190	-0.420	-0.630	-0.740	-0.840	-1.080	-1.240	-1.330	-1.450	-1.580	3.16	0.34
1.30	-0.210	-0.430	-0.630	-0.740	-0.840	-1.060	-1.200	-1.280	-1.380	-1.480	3.14	0.37
1.40	-0.220	-0.440	-0.640	-0.730	-0.830	-1.040	-1.170	-1.230	-1.320	-1.390	3.12	0.39
1.50	-0.240	-0.450	-0.640	-0.730	-0.820	-1.020	-1.130	-1.190	-1.260	-1.310	3.09	0.42
1.60	-0.250	-0.460	-0.640	-0.730	-0.810	-0.990	-1.100	-1.140	-1.200	-1.240	3.07	0.45
1.70	-0.270	-0.470	-0.640	-0.720	-0.810	-0.970	-1.060	-1.100	-1.140	-1.170	3.04	0.48
1.80	-0.280	-0.480	-0.640	-0.720	-0.800	-0.940	-1.020	-1.060	-1.090	-1.110	3.01	0.51
1.90	-0.290	-0.480	-0.640	-0.720	-0.790	-0.920	-0.980	-1.010	-1.040	-1.050	2.98	0.54
2.00	-0.310	-0.490	-0.640	-0.710	-0.780	-0.900	-0.950	-0.970	-0.990	-1.000	2.95	0.57
2.10	-0.320	-0.500	-0.640	-0.700	-0.760	-0.867	-0.914	-0.930	-0.945	-0.952	2.92	0.59
2.20	-0.330	-0.500	-0.640	-0.690	-0.750	-0.842	-0.882	-0.895	-0.905	-0.909	2.89	0.62
2.30	-0.340	-0.500	-0.630	-0.680	-0.740	-0.816	-0.850	-0.859	-0.867	-0.870	2.86	0.64
2.40	-0.350	-0.510	-0.620	-0.670	-0.720	-0.792	-0.820	-0.827	-0.832	-0.833	2.82	0.67
2.50	-0.360	-0.510	-0.620	-0.660	-0.710	-0.768	-0.790	-0.795	-0.799	-0.800	2.79	0.69
2.60	-0.370	-0.510	-0.610	-0.660	-0.700	-0.746	-0.746	-0.766	-0.769	-0.769	2.76	0.72

2.70	-0.380	-0.510	-0.610	-0.650	-0.680	-0.724	-0.724	-0.739	-0.740	-0.741	2.74	0.74
2.80	-0.390	-0.510	-0.600	-0.640	-0.670	-0.708	-0.708	-0.711	-0.714	-0.714	2.71	0.76
2.90	-0.390	-0.510	-0.600	-0.630	-0.650	-0.681	-0.681	-0.689	-0.690	-0.690	2.68	0.78
3.00	-0.400	-0.510	-0.590	-0.620	-0.640	-0.661	-0.661	-0.667	-0.667	-0.667	2.64	0.80
3.10	-0.400	-0.510	-0.580	-0.600	-0.620	-0.641	-0.641	-0.645	-0.645	-0.645	2.62	0.81
3.20	-0.410	-0.510	-0.570	-0.590	-0.610	-0.622	-0.622	-0.625	-0.625	-0.625	2.59	0.83

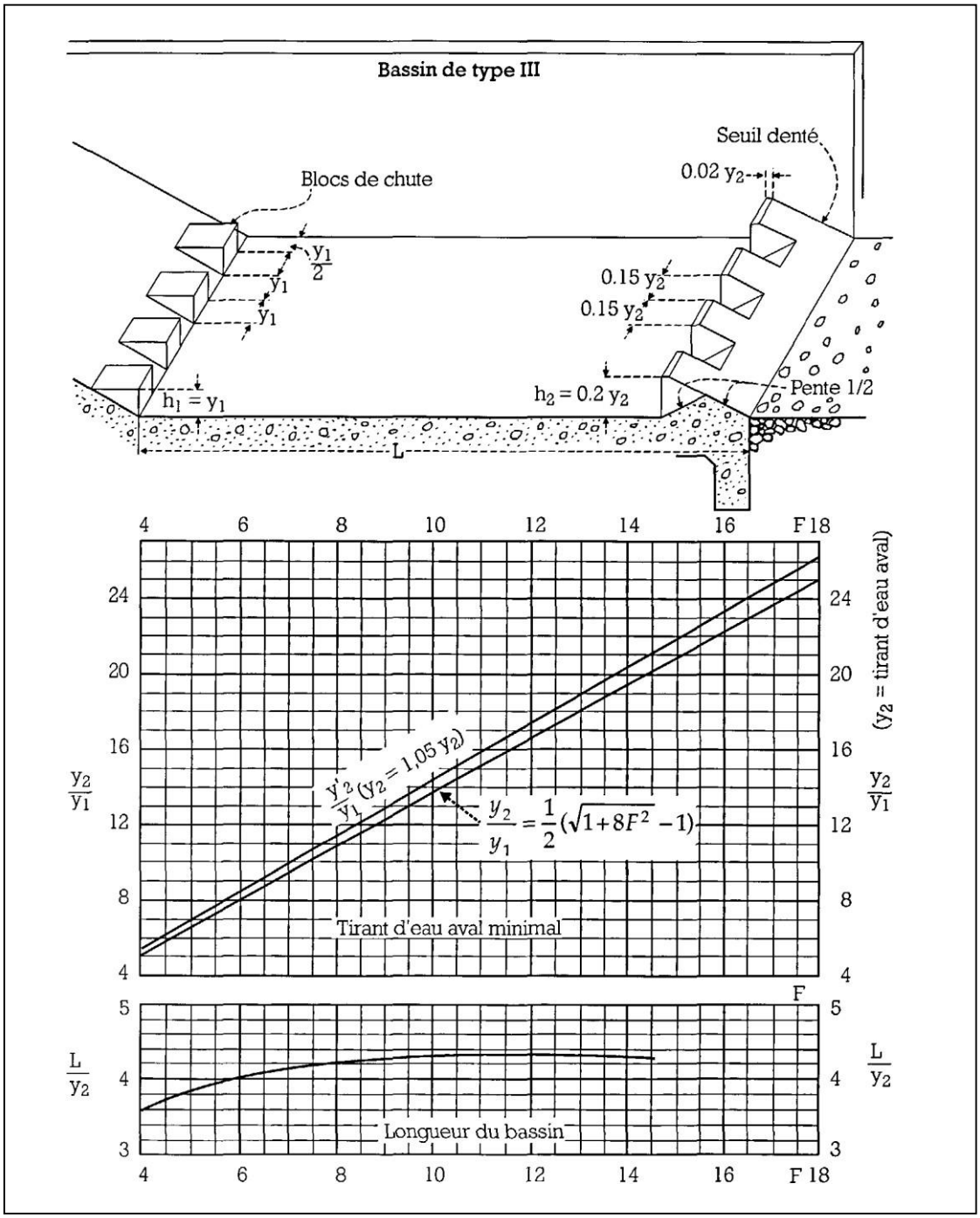
Annexe II-3 : vitesse d'approche admissible suivant type de sol

Types de sols	Diamètre d_{50} (mm)	$V_{adm}(m/s)$ Pour différentes hauteurs (m)				
		$(H+P)=0.4$	$(H+P)=1.0$	$(H+P)=2.0$	$(H+P)=3.0$	$(H+P)>5$
Sable très fin	0.05-0.15	0.15-0.20	0.20-0.30	0.25-0.40	0.40-0.45	0.40-0.55
Sable fin	0.15-0.25	0.20-0.35	0.30-0.45	0.40-0.55	0.45-0.60	0.55-0.70
Sable moyen	0.25-1.0	0.35-0.5	0.45-0.60	0.55-0.70	0.60-0.75	0.70-0.85
Sable gros	1.0-2.5	0.50-0.75	0.60-0.75	0.70-0.80	0.75-0.90	0.85-1.00
Gravier fin	2.5-5.0	0.75-0.85	0.75-0.85	0.80-1.0	0.90-1.10	1.00-1.20
Gravier moyen	5.0-10	0.85-0.90	0.85-1.05	1.0-1.15	1.10-1.30	1.20-1.45
Cailloux fin	10-15	0.90-1.10	1.05-1.20	1.15-1.35	1.30-1.50	1.45-1.65
Cailloux moyen	15-25	1.10-1.25	1.20-1.45	1.35-1.65	1.50-1.85	1.65-2.0
Cailloux gros	25-40	1.25-1.50	1.45-1.85	1.65-2.10	1.85-2.30	2.0-2.45
Cailloux très gros	40-75	1.50-2.0	1.85-2.40	2.10-2.75	2.30-3.10	2.45-3.30
Petite pierre	75-100	2.0-2.45	2.40-2.80	2.75-3.20	3.10-3.50	3.30-3.80
Pierre moyenne	100-150	2.45-3.0	2.80-3.35	3.20-3.75	3.50-4.10	3.80-4.40
Grosse pierre	150-200	3.0-3.50	3.35-3.80-	3.75-4.30	4.10-4.65	4.40-5.0
Petite bloc	200-300	3.50-3.85	3.80-4.35	4.30-4.70	4.65-4.90	5.0-5.50
Moyenne bloc	300-400	-	4.35-4.75	4.70-4.95	4.90-5.30	5.50-5.60
Grosse bloc	400-500	-	-	4.95-5.35	5.30-5.50	5.60-6.0
Roches sédimentaires, conglomérats, marnes		2.10	2.50	2.90	3.10	
Calcaire poreux et conglomérats, grès calcifies,silices		2.50	3.0	3.40	3.70	
Grès dolomitiques, calcaires compacts non stratifies, silices		3.70	4.50	5.20	5.60	
Roches cristallines, marbres et granites		16.0	20.0	23.0	25.0	
Diabases, basaltes et quartzites.		21.0	25.0	25.0	25.0	

Annexe II-4 : Abaque de dimensionnement de saut de ski



Annexe II-5 : Dimensionnement du bassin dissipation type III (Design of small dams, 1987)



Annexe II-6 : Méthodologie de calcul de la section d'acier

