

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE TECHNOLOGIE  
DEPARTEMENT HYDRAULIQUE



DOMAINE : SCIENCE ET TECHNIQUE  
FILIERE : HYDRAULIQUE  
OPTION : OUVRAGES HYDRAULIQUES

**Mémoire présenté pour l'obtention  
du diplôme de Master**

**Par : - Elaihar El-khanssa**

**Intitulé**

**Etude d'un ouvrage hydraulique sur Oued  
Sidi Ali commune de Seguana Wilaya de  
Batna**

**Dirigé par : Mr : BERGHOUT Ali & NEBBAR Med Lakhdar**

**Soutenu devant le jury composé de :**

PRESIDENT :	Université	M'sila	Mr.
EXAMINATEUR :	Université	M'sila	Mr.

**Année universitaire : 2020 /2019.**

## REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier d'abord Dieu, qu'il me guide dans le droit chemin,  
Mr Berghout ALI et Mr Mozali Farouk pour m'aider pour terminer ce travail ,  
ma mère qui est sacrifiée sa vie pour notre bien.....  
mon père rabi yarhmo,.....  
mes frères et mes sœurs.....  
Mr Barak mohamed tellement aidé pour études ,.....  
Pour Vous.....

## RESUME

Le travail réalisé dans ce projet, porte sur l'étude hydrologique du barrage de Sidi Ali wilaya de Batna. L'élaboration de cette étude contient l'étude de la zone du barrage et l'étude des apports et des crues avec la régularisation et prédimensionnement du barrage.

## ABSTRACT

The work carried out in this project concerns the hydrological study of the Sidi Ali wilaya of Batna dam. The development of this study includes the study of the dam area and the study of inflows and floods with the regularization and presizing of the dam.

## ملخص

يتعلق العمل المنفذ في هذا المشروع بالدراسة الهيدرولوجية لولاية سيدي علي في منطقة السد ودراسة التدفقات الداخلة سد باتنة. يشمل تطوير هذه الدراسة دراسة والفيضانات مع تنظيم السد وتحديد حجمه مسبقاً.

# TABLE DES MATIERS

Introduction Générale

Objet de l'étude

## *Chapitre I : Généralités sur les Barrages*

I.1.	Introduction .	14
I.2.	Definition.	15
I.3.	Rôle de Barrage .	15
I.4.	L'irrigation .	15
I.4.a.	Navigation fluviale	16
I.4.b.	Contrôle des crues	16
I.4.c.	Les fonctions des ouvrages accumulations	16
I.4.d.	L'évolution et l'avenir des barrages	16
I.4.e.	Le développement des barrages en Algérie	16
I.4.e.1.	Brève historique sur les barrages en Algérie	18
I.4.e.2.	Constat sur la situation actuelle en Algérie	19
I.4.e.3.	Politique des eaux en Algérie	20
I.4.e.4.	Les différentes agences du secteur de l'eau en Algérie	21
I.5.	Les barrages aujourd'hui	21
I.6.	Les différents types de barrages	22
I.7.	Les barrages rigides (en béton ou en maçonnerie)	22
I.8.	Les barrages en remblai (digues souples)	25
I.9	Avantages et particularités des différents types de barrages	28
I.9.a	Barrage-poids	28
I.9.b.	Barrage à contreforts	29
I.9.c.	Barrage-poids évidé	29
I.9.d.	Barrage en béton compacté au rouleau (BCR)	29
I.10.e.	Barrage à voûtes multiples	30
I.11.f.	Barrage-voûte	30
I.12.g.	Barrage en remblai à noyau central :	31
I.13.h.	Barrage en remblai à masque amont :	31
I.II.	Identification des conditions liées au site	32
I.III.	Conditions topographiques	32
I.VI.	Les Barrages et l'Environnement	33
I.VII.	Conclusion	34

## *Chapitre II : Généralités sur les Barrages*

II.1.	Introduction	36
II.II	Situation géographique de la zone d'étude	36
II.III.	L'objectif du projet	37
II.VI.	Choix de l'axe de la retenue collinaire	37
II.VI.1)	L'Etude de faisabilité à envisager deux sites	37
II.VI.2)	Etude géologique	38

II.VI.3)	Géologie régionale	38
II.VI.4)	Contexte géologique local	39
II.VI.5)	Tectonique et sismicité	41
II.VI.5).a.	Les différentes phases tectoniques	42
II.VI.5).b.	La Séismicité de l'Aurès	43
II.VI.6)	Sismicité de la région d'étude	43
II.VI.7)	Géologie de la zone d'emprise de la digue	44
II.VI.8.1	Fondation de la digue est ouvrages annexes	44
II.VI.8.2	Matériaux de construction de la retenue collinaire	44
II.VI.9)	Etude géotechnique	44
II.VI.9).a.	Essais physiques d'identification et de classification	44
II.VI.9).b.	Essais mécaniques	44
II.VI.9).c.	Essais chimiques	44
II.VI.9).d.	Résultats géotechnique	45
II.VI.10).	Conclusion	50

### ***Chapitre III : Etude Hydrologique***

III.1.	Introduction	52
III.2.	Caractéristiques du bassin versant	52
III.2.a).	Paramètres géométriques	52
III.2.a).1.	Surface et périmètre	52
III.2.a).2.	Forme	53
III.2.a).3.	La notion de rectangle équivalent	54
III.2.a).4.	Paramètres du relief	55
III.2.a).5.	Courbe hypsométrique	55
III.2.a).6.	Indice de pente	56
III.2.b).	Altitudes caractéristiques du bassin versant	56
III.2.c).	Réseau hydrographique	57
III.2.d).	Longueurs et pentes caractéristiques du réseau	58
III.2.d).1	Longueur caractéristique	58
III.2.d).2	Pente moyenne d'un cours d'eau	58
III.2.d).3	Degré de développement du réseau	59
III.2.a).7.	Conclusion	60
III.3.1.	Climatologie	61
III.3.1.a-	Température	61
III.3.1.b-	Evaporation	62
III.3.c-	Le vent	63
III.3.e-	Humidité relative de l'air	63
III.3.f-	Pluviométrie moyenne annuelle	63
III.3.g-	Variations saisonnières des précipitations	64
III.3.g-1.	Apport Moyen Inter Annuel :	64
III.3.g-2.	Apport fréquentiel	65
III.3.g-2.a.	Coefficient de variation	65
III.3.g-2.b.	Etude fréquentielle des apports liquides	66
III.3.g-3.	Apports solides	66
III.3.2.	Étude des crues	68
III.3.2.a.	Débits maximaux fréquents	68

III.3.2.b.	Choix du débit de crues (débit de dimensionnement)	70
III.3.2.c.	Hydrogramme de crues	71
III.3.3.	Conclusion	73
III.4.1.	Etude de la régularisation	73
III.4.1.a.	Objectifs et méthodologie	73
III.4.1.b.	Paramètres de base de l'étude de la régularisation	73
III.4.1.b.1.	Apports liquides mensuels	73
III.4.1.b.2.	Courbes Hauteur/Surface/Capacité	74
III.4.1.b.3.	L'évapotranspiration	76
III.4.1.b.4.	Estimation des besoins en eau	77
III.4.1.b.5.	Etude de laminage des crues	77
III.4.1.b.5.1.	Paramètres utilisés dans le calcul de laminage	84
III.4.1.b.5.1.a.	Paramètres de la courbe Hauteur/surface/capacité	84
III.4.1.b.5.1.b.	Type de déversoir	84
III.5.	CONCLUSION	87
<b><i>Chapitre VI : Dimensionnement et stabilité (Barrage à Contreforts)</i></b>		
VI.1.	Introduction	89
VI.2.	Définition	90
VI.3.	Type de barrage à contreforts	91
VI.4.	Mode Calcul – étude stabilité	93
VI.4.3.1.	Forces agissantes	93
VI.4.3.2.	Condition de Stabilité des barrages à contreforts	95
VI.4.3.2.1.	Stabilité au renversement et au glissement	95
VI.4.3.2.2.	Amélioration de la stabilité au glissement	96
VI.4.3.2.3.	Résistance interne	97
VI.4.3.2.3.a	Calcul des contreforts	98
VI.4.3.2.3.b	Calcul des voiles	99
VI.5.	Avantages et inconvénients des barrages à contreforts	100
<b><i>Chapitre V : Modélisation la structure avec Logiciel Robot millennium</i></b>		
V.1.	Définition du logiciel ROBOT	103
V.2.	Le démarrage de logiciel ROBOT	103
V.3.	Environnement de travail sur le logiciel ROBOT	104
V.4.	Le Réglage des préférences du logiciel ROBOT	105
V.4.1.	Différent étapes de modélisation de logiciel ROBOT	106
V.4.1.a.	Définition des unités , normes et propriétés des matériaux	106
V.4.1.b.	Définition de la géométrie du model	109
V.4.1.c.	Définition et affectation des éléments de constructions	110
V.4.2.	Définition des chargements	115
V.4.2.a)	Types des charges	116
V.4.2.b)	Définition des charges	117
V.4.3.	Définition des combinaisons	119
V.5.	Analyse de la structure	119
V.6.	Déformation de flambement	119
V.7.	Traitements des résultats	120
V.8.	Applications “barrage sidi Ali”	121
V.4.6.	Éléments finis ,différences finies :	121

V.4.7.	La forme du profil étudié	121
V.4.7.a.	Géométrie du profil	121
V.4.7.b.	Maillage du profil	122
V.4.7.c.	Conditions aux limites	123
V.5	Description des modèles	123
V.6	Fondation	125
V.7.	Conclusion	126
V.8.	Conclusion Générale	129

## **LISTE DES TABLEAUX :**

Tableau II-1	les caractéristiques géotechniques du terrains de fondation de la digue	52
Tableau II-2	les caractéristiques géotechniques du remblai de la digue	52
Tableau III-1	Répartition altimétrique du bassin versant de l'Oued Sidi Ali	58
Tableau III-2	Indice de pente globale et classe de relief	60
Tableau III-3	Classification des oueds	62
Tableau III-4	Caractéristiques principales du bassin versant de l'oued Sidi Ali	65
Tableau III-5	Température min, max et moyenne mensuelle	66
Tableau III-6	Evaporation moyenne mensuelle	66
Tableau III-7	les variations concernant les moyennes mensuelles et annuelles.	67
Tableau III-8	Humidité relative de l'air	67
Tableau III-9	Stations pluviométriques utilisées.	68
Tableau III-10	Pluies Moyenne mensuelle de la station de Barika.	68
Tableau III-11	Apport moyen inter annuel	70
Tableau III-12	les apports liquides de différentes fréquences	71
Tableau III-13	Les résultats apparaissent ci-dessous.	71
Tableau III-14	valeurs de la pluie maximale journalière	72
Tableau III-15	Pluies fréquentielles de courte durée	72
Tableau III-16	Tableau 17 : les valeurs de coefficient(C).	73
Tableau III-17	Intensité de la pluie de fréquence (P%) pour une durée égale au temps de concentration Tc	73
Tableau III-18	Débits fréquents obtenus par la méthode Turraza	73
Tableau III-19	Débits fréquents obtenus par la méthode de Sokolovsky	73
Tableau III-20	Débits fréquents obtenus par la méthode Mallet–Gauthier	74
Tableau III-21	Débits fréquents arrêtés pour les calculs	75
Tableau III-22	Les volumes des crues maximales pour un temps de retour	75
Tableau III-23	Histogrammes de crues pour différentes périodes.	76
Tableau III-24	Les Apports liquides mensuels	79
Tableau III-25	Courbe/hauteur/surface volume	80
Tableau III-26	Répartition de l'évapotranspiration	82
Tableau III-27	Répartition des Besoins	83
Tableau III-28	Tableau d'équilibre annuel	84
Tableau III-29	Résumé des calculs des forces et des moments, cas statique	88

## LISTE DES FIGURES

Fig 1.1.	Les cinq bassins hydrographiques de l'Algérie	24
Fig 1.2.	Les familles des barrages en béton (SCHLEISS A.J. &POUGATASCH H., 2011).	28
Fig 1.3.	Coupes-type des barrages en béton(SCHLEISS A.J. &POUGATASCH H., 2011)	29
Fig 1.4.	Étapes de bétonnage (SCHLEISS A.J. & POUGATASCH H., 2011).	29
Fig 1.5.	Les types de barrages en remblai (SCHLEISS A.J. & POUGATASCH H., 2011).	
Fig 1.6.	Coupes schématiques de différents types de barrages en remblai et disposition des éléments d'étanchéité (SCHLEISS A.J. & POUGATASCH H., 2011)	31
	Barrage en remblai-mise en place et consolidation (SCHLEISS A.J. & POUGATASCH , 2011).	33
Fig 1.7.		
Fig 1.8.	Représentation schématique des différentes formes de vallées :Gorge ou canyon ;(b) vallée en V ;(c) vallée en U ;(d) vallée large.(SCHLEISS A.J. & POUGATASCH H., 2011).	38
Fig 2.1.	- carte géologique des Aurés échelle 1/200.000 (laffite) qt : quaternaire ; D : dunes de sable ; mi : miocène ;mp : mio-pléocène Cr : crétacé ; ct : crétacé terminal ; cm :crétacé moyen ; ci : crétacé inf <i>lagunaire ou marin trias : t . Cretace superieur marin .</i>	39
Fig 2.2.	Vue de laxe de la retenue	40
Fig 2.3.	La figure ci-dessous montre le schéma structural des Monts du Bellezma et des régions voisines.	45
Fig 2.4.	Essai de Proctor (Compactages)	51
Fig 3.1.	Situation de la retenue collinaire	55
Fig 3.2.	Délimitation du bassin versant de l'Oued Sidi Ali	56
Fig 3.3.	Courbe hypsométrique du bassin versant de l'Oued Sidi Ali	59
Fig 3.4.	ajustment de loi de Gumbel	71
Fig 3.5.	Hydrogrammes de crues	77
Fig 3.6.	Courbe Volume Cote	81
Fig 3.7.	Répartition de l'évapotranspiration	81
Fig 4.1.	Dispositions générales d'un barrage poids evideré.	
Fig 4.2.	Dispositions générales d'un barrage à contreforts	97
Fig 4.3.	Barrage à contrefort	99
Fig 4.4.	Differents types des voiles des barrages à contreforts	100
Fig 4.5.	Diagrammes des principales forces	101
Fig 4.6.	Pressions supportées par les piles à tête prismatique	102
Fig 4.7.	Schéma de calcul	103
Fig 4.8.	Ancrage de contrefort	104
Fig 4.9.	Ancrage dans la fondation et utilisation d'une butée active	104
Fig 4.10.	Calcul de la contrainte sur le parement amont	105
Fig 4.11.	Dalle articulée sur les contreforts	106
Fig 4.12.	Dalle continue encastrée sur les contreforts	106
Fig 4.13.	Tête de contrefort en forme de console	106
Fig 4.14.	Contrefort à tête ronde ou à tête de diamant	106
Fig 4.15.	Schéma de barrages à contreforts auto stables au renversement	108
Fig 5.1.	la fenêtre de démarrage de ROBOT	108
Fig 5.2.	la fenêtre de travail de ROBOT	109
Fig 5.3.	le menu contextuel supplémentaire	110
Fig 5.4.	Edition du menu contextuel utilisateur	110

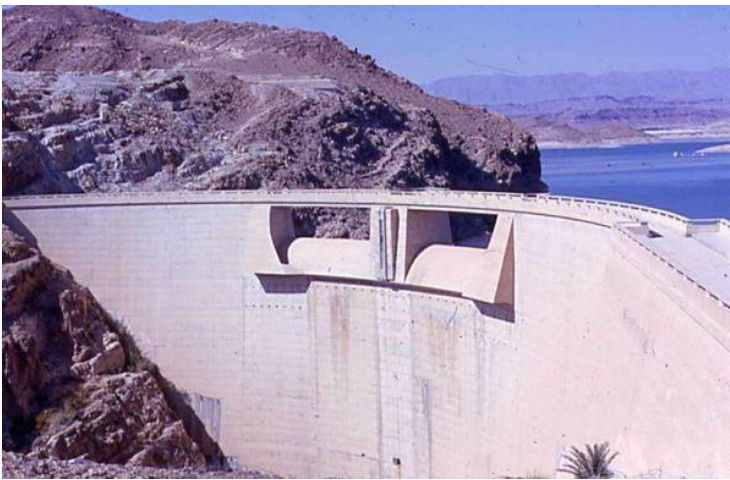
Fig 5.5.	Préférences du logiciel ROBOT	111
Fig 5.6.	Réglage des unités	112
Fig 5.7.	Réglage des normes	113
Fig 5.8.	Réglage des matériaux	114
Fig 5.9.	Définition du matériau	115
Fig 5.10.	Lignes de construction	116
Fig 5.11.	définition des barres	116
Fig 5.12.	définition des poteaux	116
Fig 5.13.	définition des poutres	117
Fig 5.14.	définition des voiles	117
Fig 5.15.	définition des dalles	118
Fig 5.16.	définition des barres	118
Fig 5.17.	définition des appuis	119
Fig 5.18.	Cas de charge	119
Fig 5.19.	Charge	119
Fig 5.20.	Combinaisons manuelles	120
Fig 5.21.	Combinaisons	121
Fig 5.22.	Analyse de la structure	121
Fig 5.23	Traitement des résultats	121
Fig 5.24.	Géométrie de profil déclaré sous le logiciel	122
Fig 5.25	Maillage du profil Étudié	123
Fig 5.26	Pressions hydrostatiques	123
Fig 5.27	Répartitions des contraintes	123
Fig 5.28	Les Faces Principales de Profile étudier (Barrage Sidi Ali)	124
Fig 5.29	Maillages des différentes partie du barrage	124
Fig 5.30	Simulation de vent dans le corps du barrage	124
Fig 5.31	Simulation de vent dans le corps du barrage	125

## **ACRONYMES ET ABREVIATION**

BCR : Béton compacté au rouleau.  
 BCV : Béton conventionnel vibré.  
 CRN : Côte retenue normale.  
 CVM : Côte volume mort.  
 PHE : Plus hautes eaux.  
 RN : Retenue normale.  
 $\rho_e$  : Masse volumique de l'eau.  
 $\rho_s$  : Masse volumique des sédiments.  
 $C_1$  : Coefficient de la poussée des sédiments.  
 $P_0$  : Force due au poids propre du barrage.  
 $F_{sp}$ : Force due aux sous pressions.  
 $F_w$ : Force de la charge d'eau en amont.  
 $F_{séd}$  : Force de la charge des sédiments.  
 $F'_w$  : Force de la charge d'eau en aval.

$d_0$  : Bras de levier de  $P_0$  par rapport au pied aval.  
 $d_1$  : Bras de levier de  $F_W$  par rapport au pied aval.  
 $d_2$  : Bras de levier de  $F_{séd}$  par rapport au pied aval.  
 $d_3$  : Bras de levier de  $F'_w$  par rapport au pied aval.  
 $d'$  : Bras de levier de  $F_{sp}$  par rapport au pied aval.  
 $X_1$  : Moment de  $F_W$  par rapport au pied aval.  
 $X_2$  : Moment de  $F_{séd}$  par rapport au pied aval.  
 $X_3$  : Moment de  $P_0$  par rapport au pied aval.  
 $X_4$  : Moment de  $F_{sp}$  par rapport au pied aval.  
 $B$  : Largeur de la base du barrage.  
 $\lambda$  : Coefficient des sous pressions(rabattement).  
 $\gamma_w$  : Poids volumique de l'eau.  
 $\gamma$  : Densité du corps du barrage.  
 $\sigma$  : Contrainte normale à l'amont.  
 $\varphi$  : Angle de frottement interne des fondations.  
 $\varphi_{sédiment}$  : angle de frottement interne de sédiment.  
 $\gamma_{sédiment}$  : poids volumique déjaugé de sédiment.  
 $SBE$  : Séisme de base d'exploitation.  
 $SES$  : Séisme d'évaluation de sécurité.  
 $E_S$  : Module statique.  
 $E_d$  : Module dynamique.  
 $V_L$  : Vitesse de propagation longitudinale d'ondes.  
 $V_T$  : Vitesse de propagation transversale d'ondes.  
 $f$  : Coefficient de frottement.  
 $\Sigma H$  : Somme de forces horizontales.  
 $\Sigma V$  : Somme de forces verticales.  
 $K_S$  (glissement) : Coefficient de sécurité au glissement.  
 $K_S$  (renversement) : Coefficient de sécurité au renversement.  
 $M_r$  : Moments résistant  
 $M_e$  : Moments motrices.  
 $F$  : Surface de la base du barrage.  
 $C$  : Cohésion.  
 $V$  : volume de l'eau.  
 $p_m$  : la pression sous le barrage.  
 $C_1$  : coefficient de sédiment horizontal.  
 $\gamma_d$  : poids volumique déjaugé de sédiment vivant.  
 $\gamma_d'$  : poids volumique déjaugé de sédiment mort.  $h_s$  : hauteur de sédiment.  
 $V_1$  : volume de sédiment vivant verticale.  
 $V_2$  : volume de sédiment mort verticale  
 $V'$  : volume de béton de deux voûtes.  
 $V''$  : volume de béton équivalent (contre fort + bloc massif).  
 $T_X$  : force de traction horizontale.  
 $T_Y$  : force de traction verticale.

## INTRODUCTION GENERALE



**Figure 1.1.**Barrage voûte de Foum el Gherzamis en service en 1950, situé à proximité de Biskra (Algérie). Sa hauteur maximale est de 73 m.  
(Tiré de : [www.algerie-verite.com](http://www.algerie-verite.com))

# 1 INTRODUCTION GENERALE

Les barrages - souvent appelés « pyramides utiles » - font partie des plus grands ouvrages réalisés par l'homme depuis des milliers d'années ; l'homme s'en sert pour l'utilisation de l'eau et la protection contre l'eau. Il n'est donc pas exagéré d'affirmer que les barrages jouent et joueront toujours un rôle essentiel pour l'homme puisqu'ils lui permettent d'assurer ses besoins vitaux en eau, en nourriture et en énergie, tout en respectant l'environnement et en garantissant la gestion durable des ressources .De tout temps, la construction de barrages a contribué au développement et à la prospérité économique.

Les barrages sont peuvent être considérés comme des ouvrages particuliers. Ils présentent parailleurs la caractéristique de pouvoir être affectés à différentes fonctions. Ils jouent cependant deux rôles principaux : celui, d'une part, de stocker les apports d'eau afin de répondre aux besoins vitaux et économiques des populations (eau potable, irrigation, fourniture d'énergie, navigation) et celui, d'autre part, de protection contre des effets destructeurs de l'eau (maîtrise des crues, rétention de sédiments, protection contre les avalanches) ou de recours pour le cas de pénurie en eau.

On peut dire qu'incertitude de barrages comportement et les conditions de mise en œuvre des matériaux, incertitudes sur l'environnement. Ces ouvrages subsistent toujours un risque, et l'interaction avec autres risques naturels ou technologiques peut causer la rupture du barrage. Le risque rupture de barrage correspond à l'immersion brutale et rapide de la vallée en aval entraînant de nombreuses victimes et des dégâts matériels et environnementaux importants. Quasiment depuis l'antiquité les êtres humains ont toujours cherché à lutter contre les risques de la nature et à travers l'histoire nous pouvons bien remarquer que l'homme s'est servi de la science comme moyen de défiance

## **Objet de l'étude :**

L'objectif de notre travail de la modélisation d'un Barrage a contreforts ' Sidi Ali de Segana wilaya de Batna ' avec pour vérifier la stabilité par Logiciel travaillé de méthode élément finis (Robot millenium ), pour mobilisation des eaux de surface à travers la wilaya de BATNA et dans le but de l'irrigation et le développement des terres agricoles. Aussi pour prendre la décision afin de minimiser et maitriser les risques pour atteindre une meilleure qualité .

# CHAPITRE1

## GENERALITE SUR LESBARRAGES



**Figure 1.2.** Barrage voûte de Brezina El bayadh (Algérie) mis en service en 2001. Sa hauteur est de 35 m. (Tiré de : [www.visoterra.com](http://www.visoterra.com))

## 1.1. Introduction

La question qui se pose est pourquoi avons-nous besoin de barrages ?

Historiquement, les barrages furent construits afin de répondre à un seul problème l'approvisionnement en eau et l'irrigation.

Avec le développement des civilisations, les besoins furent plus importants et plus nombreux, ajoutant aux précédents la nécessité de contrôler les crues, la navigation, la qualité de l'eau, le contrôle des sédiments et l'énergie. Par conséquent des barrages ont été construits pour répondre à ces besoins spécifiques.

Un Barrage est la pierre angulaire dans le développement et la gestion des ressources hydrauliques. Les barrages polyvalents sont des projets très importants pour les pays en développement, puisqu'un seul investissement permet aux populations de recevoir des bénéfices à la fois domestiques et économiques.

Ce sont des structures complexes qu'il faut traiter comme des systèmes. Leurs études et réalisation prennent en compte un grand nombre de paramètres et de données. Chaque barrage doit être considéré comme un prototype .

Donc, dans ce premier chapitre, nous présentons quelque point essentiel pour une meilleure compréhension du concept des barrages.



## 1.2. Définition:

Les barrages sont, par définition, des ouvrages hydrauliques qui barrent sur toute la largeur une section d'une vallée et créent ainsi une cuvette artificielle géologiquement étanche. De manière générale et dans la plupart des cas, la hauteur du barrage dépasse le niveau d'eau atteint par les cours d'eau en période de forte crue.

Fondamentalement, les barrages ont deux effets caractéristiques :

1.2.1. La retenue d'eau créée par la présence du barrage peut le plus souvent contenir une part importante des apports d'eau directs ou dérivés, de même que des matériaux charriés, de la glace ou de la neige.

1.2.2. Le barrage surélève le niveau du plan d'eau à l'amont.

Un ouvrage d'accumulation englobe un barrage (ouvrage de retenue) et une retenue (ou bassin d'accumulation).

Par ailleurs, la sécurité des ouvrages d'accumulation prend également en compte les fondations du barrage et les flancs du bassin d'accumulation.

## 1.3. Rôle des barrages :

La plus part des barrages sont à but unique, mais il y a un nombre grandissant de barrages polyvalents. D'après les publications les plus récentes du Registre Mondial des Grands Barrages l'irrigation est de loin la raison la plus courante pour construire un barrage. Parmi les barrages à but unique, 48% sont pour l'irrigation, 17% pour l'hydro-électricité, 13% l'approvisionnement en eau, 10% le contrôle des crues, 5% pour les loisirs et moins de 1% pour la navigation et la pisciculture (CIGB, 2011).

### a) L'irrigation :

Aujourd'hui, les terres irriguées couvrent environ 277 millions d'hectares soit 18% des terres arables du monde pourtant elles produisent 40% des récoltes et emploient 30% de la population dispersée dans les régions rurales. Du fait de l'importante croissance démographique attendue pour les prochaines décennies, l'irrigation doit être étendue afin d'augmenter la capacité de production. La CIGB estime que 80% de la production additionnelle de nourriture en 2025 viendra de terres irriguées. Même avec la diffusion des méthodes de conservation de l'eau et les améliorations des techniques d'irrigations, la construction de réservoirs supplémentaires sera nécessaire.

## **b) Navigation fluviale :**

Du fait des conditions naturelles, les rivières subissent des modifications de débit, niveau, formation de glace, du cours du lit dû à l'érosion et la sédimentation, cela cause des problèmes et obstacles pour la navigation fluviale. Cependant la navigation fluviale a des avantages notables par rapport aux transports routiers et ferroviaires. Chaque barge peut transporter d'importantes charges, les cargaisons peuvent être de grandes dimensions et la consommation d'essence est minime comparée aux autres modes de transport.

## **c) Contrôle des crues :**

Les barrages et réservoirs peuvent être utilisés pour réguler le niveau des rivières et réguler efficacement le débit ascendant en stockant temporairement l'eau et en la relâchant plus tard.

La méthode la plus probante pour réguler le débit est la mise en œuvre d'un système intégré de gestion de l'eau qui contrôle le stockage et les relâches des principaux barrages d'un bassin fluvial. Chaque barrage est réglé selon un programme spécifique fixé sur le débit habituel afin de contrôler les flux d'eau sans causer de dommage. Pour cela, il faut diminuer le niveau du réservoir pour faire plus de capacité de stockage lors des saisons pluvieuses. Cette stratégie élimine les crues.

## **d) Les fonctions des ouvrages accumulations :**

L'eau est un élément vital, mais peut aussi présenter un potentiel destructeur. C'est pourquoi, les ouvrages d'accumulation peuvent être répartis en deux catégories principales selon l'objectif recherché :

- 1.3.1. Le stockage de l'eau en vue d'une utilisation ultérieure;
- 1.3.2. La protection contre les eaux et les matériaux charriés.

Il faut aussi relever qu'un réservoir artificiel modifie localement le bilan hydrique dans un bassin versant.

Le débit est donc Influencé et réglé par les objectifs d'utilisation et de protection.

## **e) L'évolution et l'avenir des barrages :**

### **➤ Construction des barrages à travers les âges :**

Les premiers barrages importants sont nés avec les premières civilisations de l'Antiquité, En particulier dans la vallée du Nil, en Mésopotamie, en Chine et en Asie du Sud. Ce sont certainement les traces de ces anciennes civilisations que les archéologues retrouvent le plus facilement. Les plus vieux vestiges connus proviennent du barrage de Sadd-el Kafara réalisé en Egypte entre 2950 et 2750 avant J.C. Cet ouvrage, d'une hauteur de 14 m et d'une longueur de 113 m au couronnement, avait été conçu avec une

partie centrale comprenant des matériaux meubles remblayés (sable bilieux et graveleux) et deux recharges en enrochements.

L'eau stockée dans un réservoir d'une capacité de 0,5 million de m<sup>3</sup> pendant les crues servait pour l'irrigation en période sèche.

La construction du barrage de Marib au Yémen commença en 750 avant J.C. et dura 100 ans. Ce barrage se composait d'un remblai en terre de 4 mètres de haut et d'orifices en pierre pour réguler les écoulements pour l'irrigation et pour les besoins domestiques. En 1986, ce barrage a été rehaussé à une hauteur de 38 mètres, permettant ainsi de créer un réservoir de 398 millions de mètres cube d'eau.

Au Sri Lanka, où la plus ancienne construction date de 380 avant J.C., on y trouvait des barrages en remblai homogène avec des pentes amont et aval faibles et un pavage assurait la protection du parement amont contre les vagues.

En Chine, un système des barrages et de canaux a été construit en 2280 avant J.C. Plusieurs barrages anciens datant du 13<sup>ème</sup> au 16<sup>ème</sup> siècle en Iran sont encore utilisés aujourd'hui. Les Romains ont construit de simples murs en maçonnerie d'épaisseur constante et fondés sur rocher. En cas de stabilité insuffisante, les murs étaient renforcés par des contreforts ou des remblais à l'aval. Ils sont aussi à l'origine des premiers barrages-voûtes et à voûtes multiples.

Au Japon, de nombreux barrages en remblai homogène ont été construits dès le 6<sup>ème</sup> siècle. C'est en Europe, lors de la révolution industrielle du Moyen Age aux 11<sup>ème</sup> et 12<sup>ème</sup> siècles que se développe à grande vitesse la technologie de l'utilisation de la force hydraulique. En Europe centrale, quelques barrages en remblai destinés à la pisciculture ont été construits de 1298 à 1590. C'est dans la région minière du Harz en Allemagne que de nombreux barrages en remblai ont été érigés pour l'exploitation de la force hydraulique dès le 16<sup>ème</sup> siècle. C'est dans cette contrée que les premiers barrages en remblai avec noyau central ont fait leur apparition dès 1715. A cette même époque, des barrages sont réalisés pour satisfaire à la demande en eau de la population, pour l'irrigation et la navigation tant en France qu'au Royaume Uni. De nombreux barrages en remblai ont été réalisés aux USA dès le milieu du 16<sup>ème</sup> siècle. Ces ouvrages ont connu des fortunes diverses, car plusieurs d'entre eux ont été détruits par submersion lors de crue. Le premier barrage en enrochement pour l'irrigation date de la fin du 16<sup>ème</sup> siècle en Californie.

## f) Le développement des barrages en Algérie :

### a) Brève historique sur les barrages en Algérie :

Le plus ancien ouvrage est le barrage de FERGOUG, construit de 1865 à 1871, était un barrage-poids en maçonnerie de 316 m de long, flanqué en rive droite d'un mur de 30 m faisant un angle de 120° avec l'ouvrage central, et en rive gauche d'un déversoir de 125 m de long faisant un angle de 35° avec le prolongement de l'axe du barrage.

Ce déversoir était fait de deux murs verticaux réunis par un glacis en pente; sa crête était à 1,60 m en contrebas de la plate-forme du barrage. la hauteur totale au-dessus du point le plus bas des fondations était de 43 m. La largeur maximum des fondations atteignait 33 m. La capacité totale de la cuvette était évaluée à 30 millions de m<sup>3</sup>.

Avant 1900, huit barrages furent construits, le barrage de SAINT-LUCIEN sur l'oued Tlélât au Sud-Est d'Oran, le barrage de KEF sur l'oued Tafina, le barrage de SIG sur la basse Mekerra, le barrage de SAINT-AIME sur l'oued Djidiouia, le barrage de CHEURFAS à Saint Denis du Sig, le barrage FERGOUG sur l'oued el hammam, le barrage MEURAD sur l'oued djabroun et le barrage de HAMIZ sur l'oued du Hamiz pour irriguer les deux extrémités de la Mitidja. Les barrages CHEURFAS, FERGOUG et HAMIZ ont tous trois subis de profondes modifications après 1900.

Ce plan de construction fut amplifié après 1900 par la réalisation finale d'une dizaine des grands barrages-réservoirs, le barrage de BAKHADDA sur l'oued Mina affluent du Cheliff, le barrage de BENI-BAHDEL sur l'oued Tafna, le barrage de BOU-HANIFIA sur l'Oued El Hammam, le barrage de la CHEFFIA sur l'oued Bou-Namoussa, le barrage de FOUM-EL- GHERZA sur l'oued El-Abiod et les barrages de FOUM-EL-GUEISS, GHRIB, MEFFROUCH, d'OUED-FODDA, d'OUED-SARNO, des ZARDEZAS. Au total ces barrages réservoirs pouvaient contenir 800 millions de m<sup>3</sup> ensuite porté à 900. Sur les 160.000 ha rendus irrigables, 50.000 ha étaient effectivement irrigués en 1962, le but était d'atteindre les 200.000 ha, autant que toutes les cultures fruitières et maraichères de cette époque.

Alors qu'en 1962 lors de la libération de l'Algérie, il n'existait que treize barrages permettant de stocker 450 millions de m<sup>3</sup> d'eau destinée essentiellement à l'irrigation des plaines agricoles de l'Ouest du pays.

**b) Constat sur la situation actuelle en Algérie :**

L'Algérie se situe, à l'instar des 17 pays Africains touchés par le stress hydrique, dans la catégorie des pays les plus pauvres en matière de potentialités hydriques, soit en dessous du seuil théorique de rareté fixé par la Banque Mondiale à 1000 m<sup>3</sup> par habitant et par an.

Si en 1962, la disponibilité en eau théorique par habitant et par an était de 1500 m<sup>3</sup>, elle n'était plus que de 720 m<sup>3</sup> en 1990, 680 m<sup>3</sup> en 1995, 630 m<sup>3</sup> en 1998, 500 m<sup>3</sup> et de 430 m<sup>3</sup> en 2020 La disponibilité en eau potable en Algérie en m<sup>3</sup>/Habitant/An dépasse légèrement le seuil des 400 m<sup>3</sup>/ha (norme OMS).

La situation actuelle en Algérie est encore exacerbée par plusieurs contraintes :

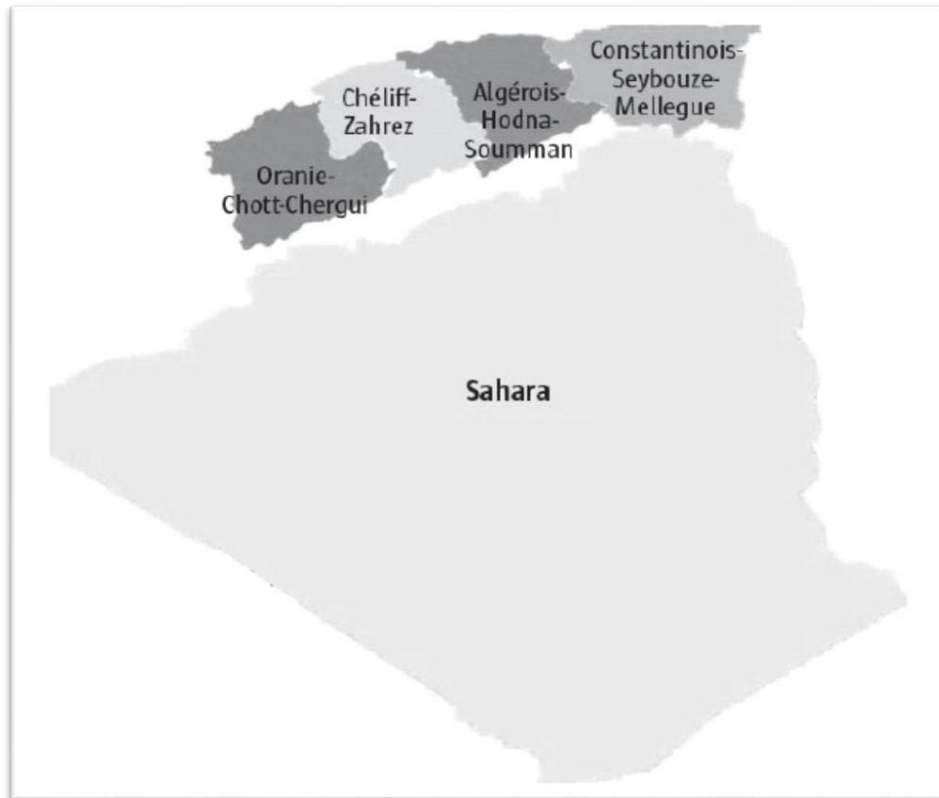
- Un déséquilibre entre les besoins et les ressources disponibles : la croissance démographique et le développement économique et social du pays ont induit durant les deux décennies écoulées, un accroissement considérable des besoins en eau potable, industrielle et agricole;
- Un déséquilibre géographique entre les besoins et les ressources : la forte concentration des besoins en eau sur la bande littorale (60%) oblige à une réaffectation, par des transferts de ressources en eau assez coûteux financièrement, pour équilibrer les déficits de régions intérieures du pays, notamment toute la zone des Hauts Plateaux;
- La pollution des nappes et des ressources superficielles : les rejets domestiques, industriels et agricoles dépassent de loin les capacités des systèmes d'épuration, ce qui réduit considérablement les volumes d'eau susceptibles d'être utilisés;
- Risque de rupture d'un développement durable : en sus de la pollution, de sérieux problèmes apparaissent dans les prélèvements effectués dans les nappes souterraines qui dépassent les limites de renouvellement des ressources naturelles et nécessitent de puiser dans les réserves non renouvelables.

**\*La faiblesse des ressources est encore aggravée par :**

- La mauvaise répartition spatiale et temporelle de ces ressources.
- L'érosion des sols et l'envasement des barrages.
- Les pertes dues à la vétusté des réseaux de distribution et à l'insuffisance de la gestion.
- Les coûts sans cesse importants des investissements nécessaires à la mobilisation et au transfert des ressources en eau.

c) **Politique des eaux en Algérie :**

Le pays est divisé en 5 bassins hydrographiques regroupant (figure 1.3.). Les ressources en eau ne sont pas réparties équitablement, que ce soit au niveau de leur répartition géographique, de leur quantité ou de leur nature (eaux de surface ou souterraines).



**Figure 1.1. Les cinq bassins hydrographiques de l'Algérie (MOZAS M. & GHOSN A., 2013)**

La stratégie de l'eau consiste en des programmes quinquennaux visant à réaliser les objectifs de la politique nationale de l'eau : Cette politique de développement vise deux objectifs :

- la sécurisation de l'alimentation en eau potable des populations;
- Amélioration du taux de sécurité alimentaire par les possibilités offertes au maintien et à l'extension des superficies irriguées.

Afin de s'assurer les ressources en eau nécessaires, le secteur de l'eau envisage de transférer une partie des eaux de barrages de la zone côtière vers la zone de l'Atlas Tellien, dont l'excédent sera alors à son tour transféré vers les Hauts Plateaux. Le déficit de la zone côtière devrait alors être compensé par le dessalement de l'eau de mer et l'économie de l'eau.

Le déficit restant de la zone des Hauts Plateaux sera compensé également par un éventuel transfert des eaux du Sahara (nappe de l'Albien). De même, il est envisagé une large réutilisation des eaux usées épurées au bénéfice de l'irrigation et de l'industrie.

#### **d) Les différentes agences du secteur de l'eau en Algérie :**

Le ministère des ressources en eau (MRE) est l'autorité centrale responsable de l'élaboration et de la mise en œuvre de la politique nationale de l'eau et dispose de relais déconcentrés au niveau local avec les directions des ressources en eau de wilaya (DREW). En 2001 des réformes institutionnelles ont modifié en profondeur les établissements publics à compétence nationale qui sont sous la tutelle du MRE :

- L'Agence nationale des ressources hydrauliques (ANRH) est chargée d'étudier et d'évaluer les ressources en eaux et en sols irrigables.
- L'Agence nationale des barrages et transferts (ANBT) est responsable de mobiliser et de transférer les ressources en eau vers les lieux d'utilisation .
- L'Algérienne des eaux (ADE) a pour mission de gérer tout le processus d'alimentation en eau potable et industrielle y compris la mise en œuvre des programmes annuels et pluriannuels d'investissements .
- La gestion et le développement des infrastructures d'assainissement urbain sont la prérogative de l'Office national de l'assainissement (ONA) .
- L'Office national de l'irrigation et du drainage (ONID) est chargé de gérer les périmètres d'irrigation que l'Etat et les collectivités locales lui concèdent ; dans ce cadre, l'Office a également pour tâche de mettre en œuvre des stratégies pour rationaliser l'usage de l'eau d'irrigation.
- Créé par décret en 2008, le Conseil national consultatif des ressources en eau constitue le nouveau cadre de coordination institutionnelle sur les différents aspects de la politique de l'eau. L'autorité de régulation des services publics de l'eau créée par décret en 2008 à pour prérogatives d'évaluer les services d'eau et d'assainissement fournis aux usagers, à contrôler leurs coûts et les tarifs.

#### **1.4. Les barrages aujourd'hui :**

Selon la publication de la CIGB Des barrages et de l'eau dans le monde (2007), on estime à plus de 50 000 le nombre de grands barrages en service (critères :  $H > 15\text{m}$  ;  $10\text{m} < H < 15\text{m}$  et volume de retenue supérieur à 3 millions de  $\text{m}^3$ ). 92 % du parc mondial des grands barrages ont une hauteur inférieure à 60 m, 62 % moins de 30 m de hauteur et seulement 2 % plus de 100 m de hauteur.

## **1.5. LES DIFFERENTS TYPES DE BARRAGES :**

Selon la nature du matériau de construction utilisé, on classe les barrages selon deux grandes catégories :

### **1. Les barrages en béton.**

### **2. Les barrages en remblai (digues).**

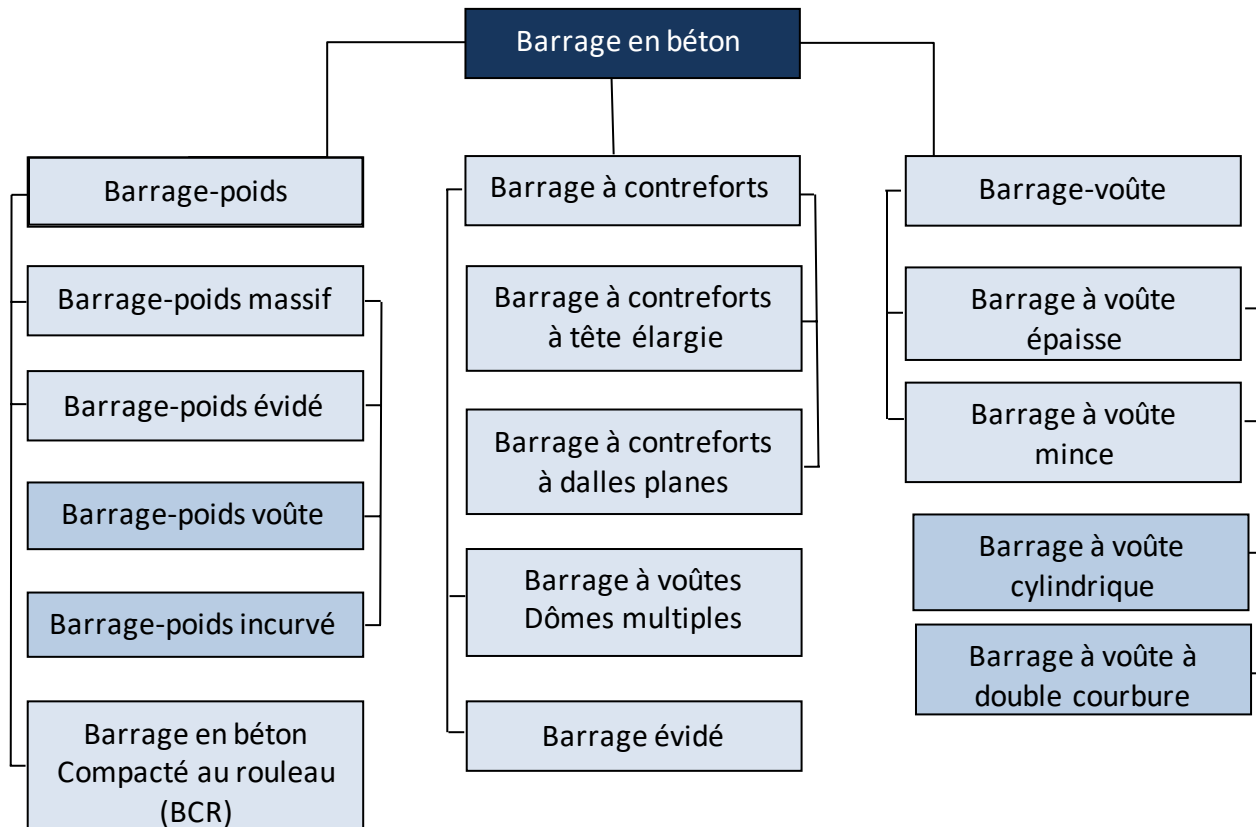
Certains anciens barrages, datant pour la plupart du 12<sup>ème</sup> siècle, ont été réalisés en maçonnerie. Ils sont en règle générale assimilés aux barrages en béton. Car par leur forme, ils peuvent presque toujours être classés parmi les barrages -poids.

A cette classification, on peut ajouter les barrages hybrides ou composés. En effet, certains grands barrages peuvent comprendre des sections en béton et en remblai mises côte à côte. L'exemple fréquent est celui d'une construction en béton comportant un évacuateur de crue flanqué de barrages en remblai soit d'un côté soit de part et d'autre.

Dans d'autres cas, La section de l'ouvrage est constituée de plusieurs types de matériaux. Il existe aussi des barrages où un remblai vient s'appuyer sur un mur en maçonnerie. En outre, il faut mentionner les barrages de retenue pour le stockage de stériles miniers. Ils sont constitués de remblais successifs dont les matériaux utilisés (sol naturel, stérile minier, débris de roche) sont de qualité variables.

### **1.5.1 Les barrages en béton et en maçonnerie :**

A part quelques exceptions (p. ex. barrages en rivières), les barrages en béton sont le plus souvent fondés sur une fondation rocheuse. De module de déformation élevé. Comme l'illustre la (figure1.2.), on distingue trois grandes familles de barrages en béton, chacune comportant un certain nombre de sous-familles.

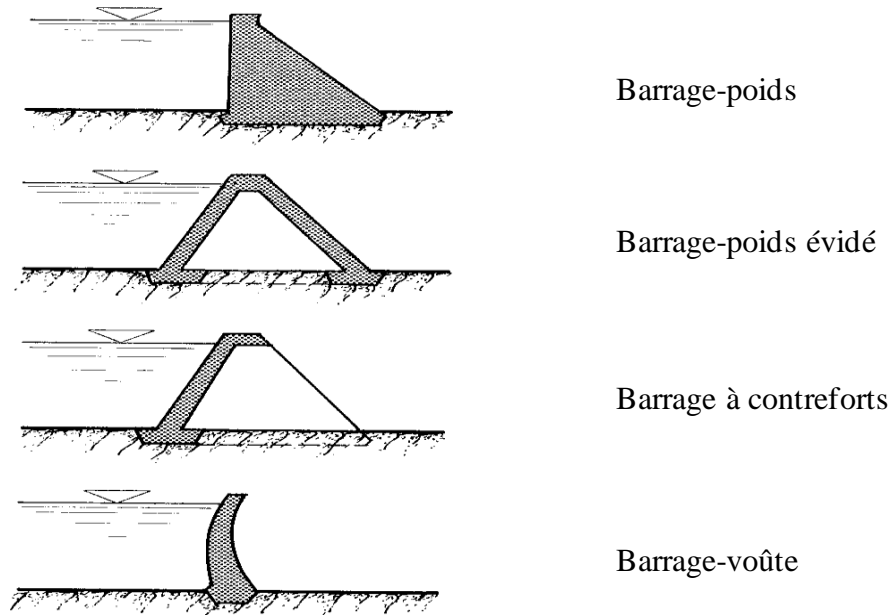


**Figure 1.2.** Les familles des barrages en béton (SCHLEISS A.J. & POUGATASCH H., 2011).

Les trois types de barrages en béton se distinguent par leur forme, la nature de leur système statique et leur manière de s'opposer à la poussée de l'eau.

- Le barrage-poids, comme son nom l'indique, résiste à la poussée de l'eau par son propre poids. Le barrage-poids est constitué d'éléments massifs juxtaposés, nommés plots. Dans le but de réaliser une économie de béton, il est possible d'aménager des alvéoles entre les plots, dans ce cas on parle de barrage-poids évidé. Une autre solution consiste à concevoir un barrage-poids voûte dont la stabilité est assurée en partie par son poids propre et en partie par ses appuis sur les rives.
- Le barrage à contreforts résiste également à la poussée de l'eau par son poids propre, mais un certain nombre de dispositions permettent de diminuer le volume de béton par rapport au barrage-poids. Ce type de barrage est formé d'éléments juxtaposés, nommés contreforts, dont la géométrie est complexe. Chaque contrefort est constitué d'un masque continu à l'amont et d'une âme et reprend l'effort exercé par la poussée de l'eau. Les contraintes dans le corps du barrage et au contact avec la fondation sont plus élevées que pour un barrage-poids de même hauteur. Le barrage à voûtes multiples entre aussi dans la catégorie des barrages à contreforts.
- Le barrage-voûte est une structure tridimensionnelle agissant comme un voile ou une coque. Il présente une forte courbure en plan et transmet une partie importante des efforts sur les flancs de la

vallée. Lorsque toutes les conditions nécessaires sont réunies, il permet d'économiser un volume important de béton par rapport aux deux types précédents.



**Figure 1.3. Coupes-type des barrages en béton (SCHLEISS A.J. & POUGATASCH H., 2011).**

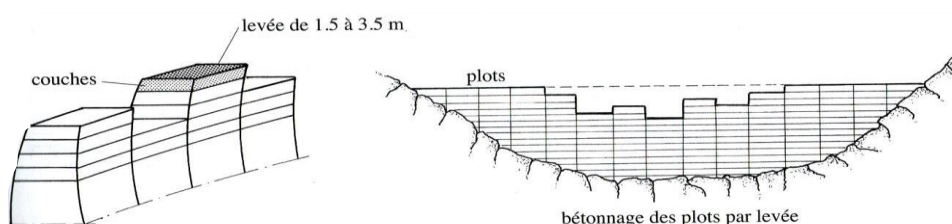
Les barrages en béton ont des points communs. D'une part, l'ouvrage est constitué de béton de masse, non armée, mis en place à une cadence élevée avec des moyens fortement mécanisés.

D'autre part, de manière générale, la géométrie est optimisée de sorte à éviter l'apparition de tractions dans le béton en quelque point que ce soit de l'ouvrage pour des conditions normales d'exploitation. Cependant, des contraintes de traction ou l'apparition de fissures ne mettant pas en cause l'intégrité structurale peuvent être tolérées en cas de charges exceptionnelles, tel un séisme. Les barrages en béton, quel que soit leur type, sont construits en plots (ou blocs) individuels de 12 à 19 m de largeur séparés par des joints de contraction. L'épaisseur du barrage fixe la dimension du plot dans la direction longitudinale (entre 3 et 30 m). Chaque plot est bétonné en levées de 1.5 à 3.5 m (figure 1.6.)

Ce mode de construction permet de:

- Faciliter le bétonnage en adaptant le volume des étapes à la production journalière,
- Contrôler et faciliter le dégagement de la chaleur d'hydratation,
- Éviter la fissuration de retrait en permettant l'ouverture des joints.

**Figure 1.4. Étapes de bétonnage (SCHLEISS A.J. & POUGATASCH H., 2011).**



Aussi, dans le cas de barrages en béton dont les sections sont relativement « minces » et l'effet de la température sensible (p.ex. les barrages à voûtes multiples, barrages prises d'eau ou évacuateurs de crues), le recours à des armatures peut se révéler nécessaire.

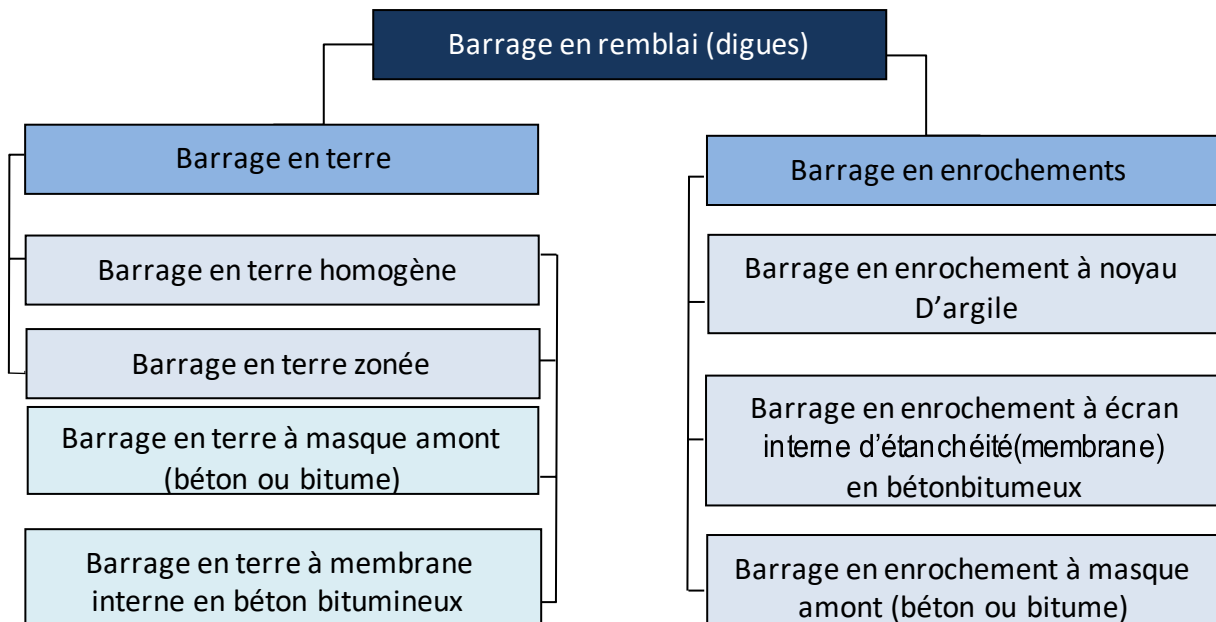
### 1.5.2 Les barrages en remblai :

Les barrages en remblai (digues) sont constitués essentiellement de matériaux granulaires naturels meubles prélevés à proximité immédiate de l'ouvrage. On distingue deux catégories de barrages en remblai (figure 1.7.) :

- Les barrages en terre, réalisés essentiellement à partir de sols naturels meubles prélevés dans des gravières;
- Les barrages en enrochements, dont la majeure partie est constituée de matériau de Carrière concassé.

Comme pour les autres types de barrages, les barrages en remblai doivent répondre à deux fonctions essentielles : la fonction statique, qui consiste à transmettre à la fondation la poussée de l'eau retenue à l'amont et la fonction de coupure étanche.

Les sols meubles des barrages en terre peuvent, selon leurs caractéristiques géotechniques, être suffisamment imperméables pour suffire aux deux fonctions. Il existe de ce fait un grand nombre de barrages (ou de digues) en terre homogène.



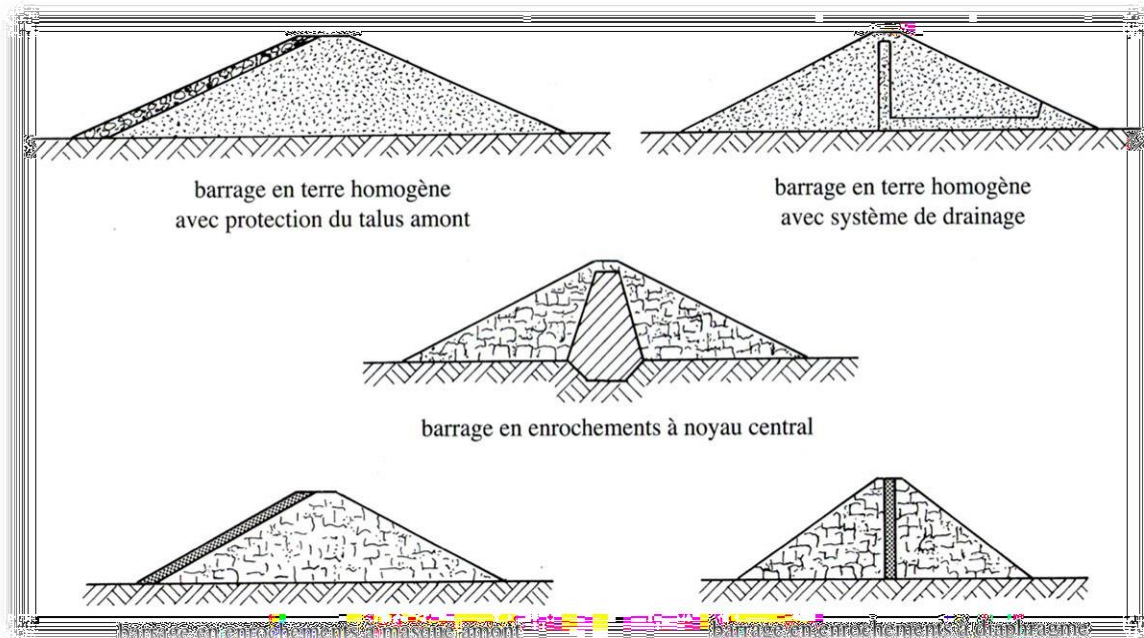
**Figure 1.5. Les types de barrages en remblai (SCHLEISS A.J. & POUGATASCHH., 2011).**

Lorsque la perméabilité du sol d'emprunt principal est trop importante, la solution consiste à concevoir un barrage en remblai zoné, c'est-à-dire constitué de plusieurs matériaux répartis par

zones dans le corps du barrage.

Les matériaux de carrière avec lesquels sont constitués les barrages en enrochements sont toujours perméables (à des degrés divers). Ces enrochements sont donc toujours associés à un autre élément assurant la fonction d'étanchéité.

La figure 1.8 montre une section schématique des dispositions les plus utilisées



**Figure 1.6. Coupes schématiques de différents types de barrages en remblai et disposition des éléments d'étanchéité (SCHLEISS A.J. & POUGATASCH H., 2011)**

Par rapport aux barrages en béton, les barrages en remblai présentent les avantages suivants :

- la grande majorité, voire la totalité, des matériaux constituant le corps du barrage proviennent des zones d'emprunts situées à proximité immédiate du site.
- la mise en œuvre des matériaux peut être très fortement mécanisée et les cadences très importantes, même si le volume à mettre en place est sensiblement plus important.
- la sollicitation de la fondation (contraintes) est beaucoup plus faible;
- les tassements de fondation ne posent pas de difficultés majeures, les matériaux étant suffisamment plastiques pour s'adapter.

Ces deux dernières considérations sont essentielles pour le choix du type de barrage. Certains types de barrages en remblai peuvent être placés aussi bien sur une fondation rocheuse que sur une fondation en terrain meuble pour autant que continuité de l'étanchéité soit assurée entre le barrage et la fondation.

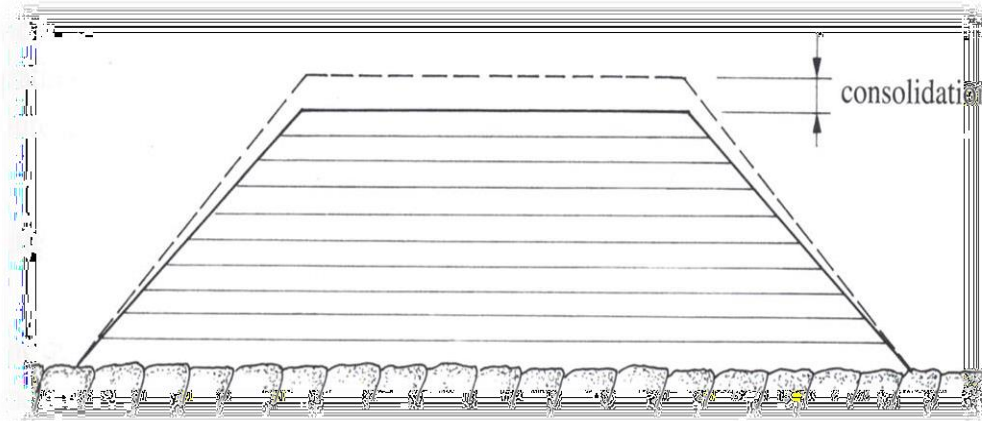
La solution du barrage en remblai homogène, constitué d'un seul matériau meuble suffisamment imperméable, est connue depuis des millénaires. Pour des questions de stabilité, les pentes des parements sont douces, ce qui nécessite une grande quantité de matériau.

La mise en place judicieuse de dispositifs drainage (entre autres tapis drainant, cheminée drainante) permet de réduire le volume de l'ouvrage. Le talus amont est généralement protégé par des enrochements pour éviter une érosion due aux vagues.

A la suite du barrage en remblai homogène, le barrage en remblai zoné constitue un développement logique. Dans les cas des barrages en remblai en terre ou en enrochements, les matériaux sont utilisés selon leurs propriétés propres et selon leur disponibilité sur place. Un matériau relativement imperméable (argile, limon ou moraine) sera employé pour le noyau central. Ce dernier est supporté par un corps d'appui amont en matériau drainant et un corps d'appui aval. Des filtres assurent la transition entre le noyau et les corps d'appui. Ceci est particulièrement important à l'aval afin pour éviter la migration des particules fines du noyau. L'étanchéité peut aussi être assurée par un diaphragme interne en béton bitumineux, en béton ou en acier.

Enfin, un masque amont peut être prévu pour assurer l'étanchéité dans le cas où il est difficile de trouver un matériau à faible perméabilité en suffisance. Ce masque peut être constitué par un revêtement bitumineux, une géomembrane ou une dalle en béton. Le revêtement étanche doit être capable de s'adapter aux déformations du massif de support. Les barrages en remblai sont construits par la mise en place de couches de matériaux couvrant toute la Surface du barrage. Les épaisseurs de couches sont de l'ordre de 50 à 100 cm (généralement fixée suite à des essais de compactage in

situ.) de manière à permettre un bon compactage de l'ensemble de l'ouvrage une consolidation régulière (figure1.9.).



**Figure 1.7. Barrage en remblai-mise en place et consolidation (SCHLEISS A.J. & POUGATASCHH., 2011).**

## 1.6. Avantages et particularités des différents types de barrages :

Dans ce point on va essayer de présenter quelques avantages et particularités essentielles des principaux types de barrage ci-après :

### ➤ **Barrage-poids**

#### ✓ **Avantages :**

- Faibles contraintes dans le béton,
- Faibles contraintes transmises au rocher,
- Les variations de température ne produisent que des contraintes faibles,
- Gradient des sous-pressions sous la fondation faible,
- Évacuateur de crues peut facilement être intégré.

#### ✓ **Particularités:**

- Volume d'excavation important,
- Volume de béton important,
- Refroidissement artificiel nécessaire lors de la prise du béton,
- Sous-pressions importantes sous la fondation,
- Sensibilité aux tassements, sensibilité aux séismes.

## ➤ Barrage à contreforts

### ✓ Avantages :

- Volume de béton plus faible que pour le barrage-poids,
- Contraintes moyennes transmises au rocher,
- Faibles sous-pressions sous la fondation.
- Echauffement faible lors de la prise du béton,
- L'évacuateur de crues peut facilement être intégré.

### ✓ Particularités :

- 1. Volume d'excavation important,
- 2. Gradient des sous-pressions sous la fondation localement très important,
- 3. Contraintes de température peuvent être importantes dans la tête,
- 4. Risque limité de tassements,
- 5. Grande sensibilité aux séismes

## ➤ Barrage-poids évidé

### ➤ Avantages :

- Comme pour le barrage-poids,
- Volume de béton plus faible,
- Réduction des sous-pressions au contact béton-rocher.

### ✓ Particularités :

- Comme pour le barrage-poids,
- Augmentation du gradient hydraulique de l'écoulement souterrain à proximité de la fondation.

## ➤ Barrage en béton compacté au rouleau (BCR)

### ➤ Avantages:

- Faible dosage en ciment,
- Teneur en eau réduite,
- Surface de coffrage restreinte,
- Exécution rapide,
- Emprise réduite par rapport au barrage-poids,
- Mise en place sur grande surface par couches minces,
- Faible coût de construction.

➤ **Particularités :**

- Requiert des fondations sur rocher,
- Mise en place et compactage identiques aux barrages en remblai.
- Limitation des percolations par la mise en place d'un revêtement du parement amont,
- Pas de système de refroidissement artificiel du béton,
- Bonne résistance en cas de séisme, de submersion,
- Possibilité d'incorporer un évacuateur de crue de surface, des galeries de contrôle et des puits.

➤ **Barrage à voûtes multiples**

➤ **Avantages :**

- Volume de béton faible,
- Volume d'excavation relativement limité,
- Faibles sous-pressions sous la fondation,
- Pas de problèmes thermiques lors de la prise du béton dans le cas des ouvrages minces.

➤ **Particularités :**

- Contraintes importantes dans les voûtes,
- Nécessité d'armer les voûtes pour limiter la fissuration,
- Sensibilité aux gradients de température,
- Gradient des sous-pressions sous la fondation localement très important,
- Sensibilité aux tassements différentiels,
- Grande sensibilité au séisme, intégration des ouvrages annexes difficile,
- Structure très vulnérable et très exposée aux actes de malveillance.

➤ **Barrage-voûte :**

➤ **Avantages :**

- Volume de béton faible,
- Volume d'excavation relativement limité,
- Faibles sous-pressions sous la fondation,
- Haute résistance au séisme.

➤ **Particularités:**

- Contraintes importantes dans le béton,
- Contraintes importantes dans le rocher sous la fondation,
- Efforts transmis obliquement aux appuis latéraux,

- Sensibilité limitée aux tassements (hyper staticité),
- Echauffement durant la prise du béton pouvant nécessiter des mesures particulières,
- gradient de sous-pression sous la fondation important,
- Drainage des fissures des massifs d'appui devant être rigoureusement traité
- difficultés d'intégration de l'évacuateur de crues dans le barrage.

### ➤ **Barrage en remblai à noyau central :**

#### ✓ **Avantages :**

- Corps du barrage très flexible s'adaptant aux conditions de terrain,
- Structure très peu sensible aux tassements et aux séismes,
- Excavations limitées,
- Contraintes très faibles sur le sol de fondation,
- Gradient hydraulique faible dans le noyau et dans la fondation.

#### ✓ **Particularités :**

- Volume de matériau à mettre en place très important,
- Disponibilité de matériau argileux en grande quantité à proximité du site,
- Mise en place du noyau argileux impossible lors de conditions météorologiques défavorables.

### ➤ **Barrage en remblai à masque amont :**

#### ✓ **Avantages:**

- Corps du barrage très flexible s'adaptant aux conditions du terrain,
- Structure peu sensible aux tassements globaux,
- Structure peu sensible aux séismes si des mesures spécifiques sont prévues,
- excavations limitées,
- Pas de matériaux argileux à mettre en place,
- Pas d'exigences particulières en ce qui concerne les conditions météorologiques,
- contraintes très faibles sur le sol de fondation.

#### ✓ **Particularités :**

- Volume de matériau à mettre en place très important,
- Gradient hydraulique important sous la fondation de la plinthe,
- Fondation de la plinthe sur du rocher peu perméable,
- Structure sensible aux tassements différentiels du masque rigide et du remblai (enrochements).

## 1.7. Identification des conditions liées au site :

Le choix du type de barrage est une tâche complexe qui nécessite la prise en compte d'un nombre particulièrement important de paramètres et d'informations. L'objectif est de proposer la solution la plus économique tout en garantissant le plus haut degré de sécurité et en minimisant les impacts causés par l'ouvrage, le chantier et l'exploitation.

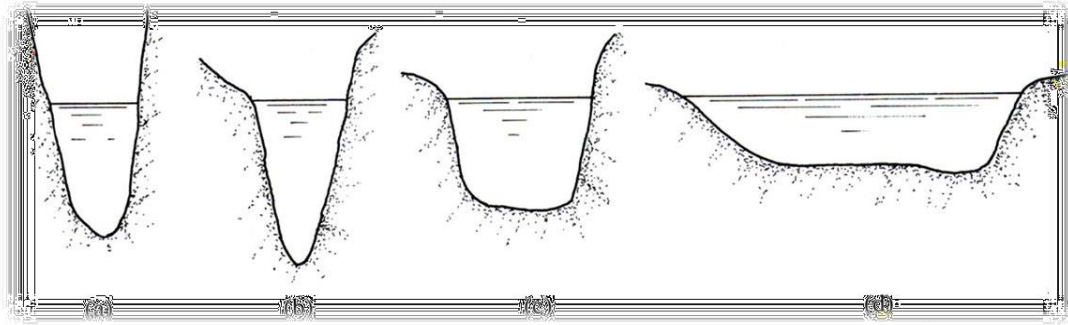
Lors de l'identification de sites, les points principaux suivants sont examinés :

- La forme de la vallée(morphologie),
- La géologie,
- La disponibilité de matériaux de construction,
- La sismicité,
- Les conditions climatiques,
- La maîtrise des crues.

### 1.7.1 Conditions topographiques :

Il est indéniable qu'un support topographique est un outil indispensable pour effectuer les relevés géologique, procéder à l'implantation du barrage et des ouvrages annexes, ainsi que pour déterminer le volume de la retenue en fonction du niveau du plan d'eau Les relevés du terrain doivent couvrir non seulement le site du barrage, mais également un secteur situé à l'aval et l'ensemble de la zone de retenue, de même que les zones d'emprunts de matériaux possibles. Ils doivent englober les versants dominant le bassin d'accumulation sur une hauteur suffisante.

Sous réserve des conditions géologiques, il importe de rechercher la topographie la plus favorable pour réaliser un projet fiable mais également économique. En général, un resserrement peut se révéler un avantage la morphologie de la vallée, étroite ou large, a une influence significative sur le choix du type possible de barrage. Dans certains cas, la géométrie de la vallée est inadaptée pour certains types de barrages qui peuvent être exclus d'emblée.



**Figure 1.8. Représentation schématique des différentes formes de vallées :**  
 (a) Gorge ou canyon ;(b) vallée en V ;(c) vallée en U ;(d) vallée large.  
 (SCHLEISS A.J. & POUGATASCH H., 2011).

### **1.7.2 Les Barrages et l'Environnement :**

Ce point à pour simple objectif de montrer qu'il y a des impacts sur l'environnement lors des constructions des barrages qu'il faut les prendre en considération. La construction d'un barrage influence de manière significative la zone du cours d'eau où il est érigé. Le barrage constitue une barrière à l'écoulement naturel d'un cours d'eau, avec pour incidence d'affecter la migration des poissons et autres organismes, ainsi que le transport des sédiments.

En créant un lac artificiel, le barrage peut avoir une incidence sur la nappe phréatique et également sur la qualité des eaux. En outre, le barrage modifie le régime hydraulique à l'aval, ce qui peut conduire entre autres à des fluctuations journalières ou saisonnières des débits.

L'ingénieur peut ainsi prendre conscience dès le début de ses études de son projet d'effets qui peuvent se révéler négatifs. Il peut ainsi prendre des mesures pour limiter ces effets et intégrer le rapport bénéfice-inconvénients dans le cadre de son analyse. L'analyse des impacts sur l'environnement englobe des aspects physiques, biologiques, humains et socioéconomiques.

## 1.8. CONCLUSION

Notre objectif dans ce chapitre ci-dessus est d'étaler d'une manière claire et synthétique le domaine des barrages, pour cela plusieurs points ont été présentés comme les rôles, les fonctions, l'évolution et l'avenir des barrages.

Les barrages restent et continueront d'apporter une contribution importante au management des ressources en eau. Ils seront d'autant plus importants pour les pays en développement où la construction de réservoirs et l'utilisation de la force hydraulique ont une importance considérable. Par exemple, pour un pays dont le sous-sol ne renferme aucune ressource naturelle telle que le charbon ou le pétrole, la possibilité de pouvoir recourir à l'énergie hydraulique (énergie propre et renouvelable) est une chance à saisir.

Dans le futur, les barrages continueront à jouer notamment un rôle essentiel pour l'alimentation en eau potable et la mise à disposition d'eau pour l'irrigation surtout dans les pays ayant un gros potentiel de développement. En outre, il ne faut pas omettre la protection contre les crues. Depuis 2001, le nombre des barrages en construction plus haut que 60 m dans le monde se situe entre 320 et 370 et pour une hauteur supérieure à 150 m on a entre 47 et 57 barrages en construction (selon Hydropower & Dams).

## CHAPITRE2

### Présentation de la zone d'étude



Figure 2.1. Barrage voûte de Tichihaf Béjaïa (Algérie) mis en service en 2005. Sa hauteur est de 84 m. (Tiré de : [www.aghaladh.centerblog.net](http://www.aghaladh.centerblog.net))

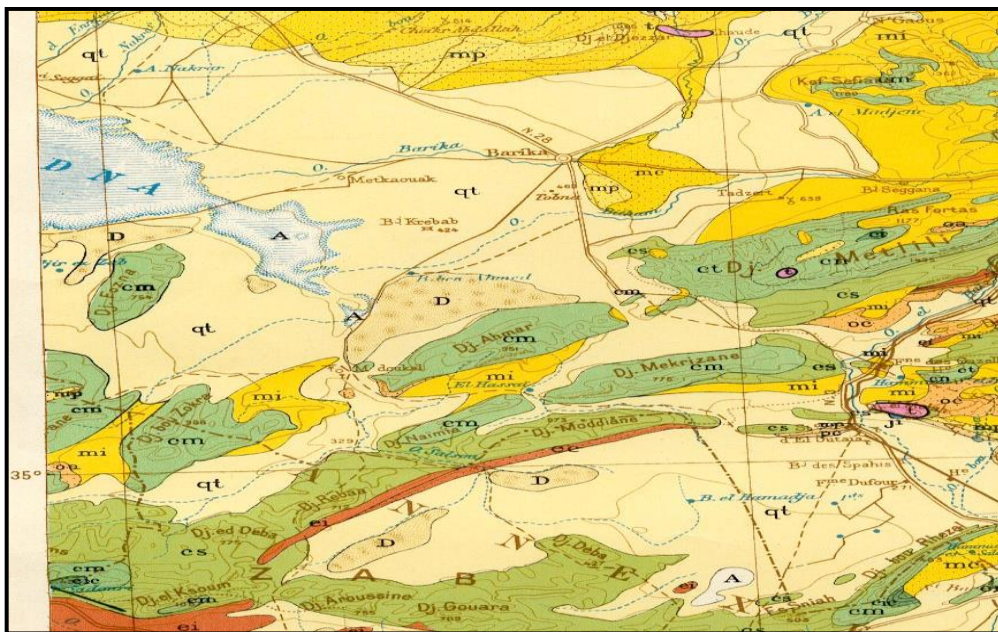
## II.1. Introduction :

Dans ce présent chapitre nous allons traiter les données relatives à la région d'étude, ces données seront exploitées dans l'étude topographique, géographique, géologique et géotechnique .

## II.2.Situation géographique de la zone d'étude :

Le site de la retenue collinaire est situé dans la commune Seggana de la Wilaya de Batna sur oued mechta SIDI ALI et localisé sur les deux serres de montagnes allonges Nord –Est Sud-Ouest .les sommets de certains chaînons atteignent parfois 1495m d'altitude comme djebel Metlili et 1160 Kef Sefiane .Le site de retenue collinaire se situe au point de coordonnées Lambert :

- X : 751 ,950 Km ;
- Y : 222,850 Km ;
- Z : 646 m N.G.A.



**Figure:2.1 - carte géologique des Aurès échelle 1/200.000 (laffite)**

qt : quaternaire ; D : dunes de sable ; mi : miocène ;mp : mio-pléocène  
Cr : crétacé ; ct : crétacé terminal ; cm :crétacé moyen ; ci : crétacé inf  
lagunaireoumarintrias : t . Cretacesuperieurmarin .

### **II.3.L'objectif du projet :**

Ce projet d'exécution a pour objectif de répondre aux besoins en irrigation des terres agricoles. Le but principal de la construction de cette retenue collinaire est essentiellement le stockage d'un volume d'eau important destinés principalement à l'irrigation du périmètre à l'aval de la retenue.

### **II.4.Choix de l'axe de la retenue collinaire :**

#### **1) L'Etude de faisabilité à envisager deux sites :**

Un site amont et un site aval (situé à 350 m à l'aval de l'axe amont) Sur la base des conditions topographiques, géologiques, hydrologiques et économiques, l'axe amont a été jugé plus favorable pour l'implantation de la retenue collinaire.



**Figure 2.2. vue de l'axe de la retenue**

## 2) Étude géologique :

Les principaux travaux à réaliser dans le cadre de cette phase sont la description de la géologie de la région d'étude dite géologie régionale, la géologie du site, disponibilité des matériaux de construction et un aperçu sur les contraintes et les avantages liées au site choisie pour cette étude.

## 3) Géologie régionale :

La région d'étude appartient à l'ensemble du nord de (atlas tellien), caractérisés par deux Séries de massifs orientés Nord –Est, Sud- Ouest, massif du djebel metlili **1495 m** et massif de kefsefiane **1160m**.

Les deux massifs s'élargie vers le Sud –Ouest pour constituer la plaine du tobna et medoukel .

Les monts de la région forment une séries montagneuse moyennement élevée, constituée de chaînons allonges, orientés Nord –Est Sud –Ouest.

- Les sommets de certains chaînons atteignent parfois **1400 m** et plus d'altitude.

### ❖ Stratigraphie régionale :

La description géologique des différentes formations litho stratigraphique .

Du point de vue litho stratigraphique, la région de l'étude est constituée par des formations .

### ❖ Quaternaire :

Essentiellement des alluvions récentes à actuels, formations très développées dans la région, sont limitée à quelques fonds d'oueds et à la vallée d'oued du projet .Principalement constituée par des éboulis, dunes de sables, graviers, et des limons d'argiles.

### ➤ **CRETACE SUPERIEUR MARIN :**

Essentiellement constituée par des dolomies ,marnes , marno-calcaire , calcaires calcaires rudistes , marnes noir ou marnes crayeuse .

### ➤ **CRETACE MOYEN MARIN OU LAGUNAIRE :**

Constituée par le turonien et le cénomaniens.

### ➤ **MOI – PLEOCENE :**

Constituée par le Pontien localement équivalent du miocène continental autepontien.

### ➤ **MIOCENE INFERIEUR:**

Essentiellement des marnes grisâtre sain, des grés et des calcaires, et alternances sable ,gres, et argiles rouges.

- **TRIAS :**Principalement des sels gemme, gypse, marnes gypseuses, des grés.

#### 4) Contexte géologique local :

Les observations géologiques de la retenue collinaire sur oued mechta SIDI ALI montre la présence des formations dite terrasses alluvionnaires au niveau du lit de l'oued repose sur un tapis d'argile très fins blanchâtre a rougeâtre de part et d'autre de l'oued très compactes .L'estimation de la perméabilité des différentes formations qui seront baignées par la retenue collinaire de oued mechta SIDI ALI i , a partir d'un levé géologique , et des observations in situ . Les terrains sont constitués principalement par les argilites miocènes imperméables pour la rive gauche et la rive droit du miocène. Surmontés par des bancs de calcaire très épais grisâtre a jaunâtre orienté NORD –EST \* SUD-OUEST .

La cuvette caractérise par l'apparition des formations argileuses surmontée par une couche végétal...La carte géologique des Aurès au 1/200.000 (Laffite) nous a permis d'avoir un aperçu sur la nature des formations rencontrées qui sont essentiellement du secondaire et tertiaire.De point de vue lithologique, on retrouve des marnes, marnes sableuses, sables, calcaires et argiles cailloutis des limons argileux bruns de la terrasse « Rharbienne », très épais en bordure des Oueds de la région Toutefois ces dépôts renferment en quantité non négligeable des lentilles et niveaux plus ou moins continus de sables et graviers. L'analyse des documents géologiques laisse relever que le dépôt superficiel quaternaire sont relativement épais et très étendus dans la région.

#### ➤ FORMATIONS GEOLOGIQUES PRESPECTIVES :

Les formations géologiques susceptibles d'être utilisées comme matériaux premiers de la construction de la retenue sont :

#### ✓ Les formations argileuses :

Dominantes dans la partie amont du site de la retenue dans un Rayon de 500 a1000 m dans la cuvette. essentiellement des argiles disponibles en quantité insuffisantes..

#### ✓ Les formations carbonatées :

Essentiellement des calcaires très épais de couleur grisâtre a jaunâtre disponibles en quantité importantes dans le site de la retenue collinaire , calcaire grisâtre a jaunâtre dure a la cassure très fins .Les affleurements naturels au niveau des parois de l'oued (axe de la digue), montre essentiellement les formations suivantes :

Une formation dite terrasses alluvionnaires qui sont des dépôts sédimentaires récentes. Au niveau de lit de l'oued. Des affleurements des bancs de calcaire de part et d'autre de l'axe de la digue.

## ✓ **Programme des travaux et essais géotechnique du terrain :**

### ➤ **Terrain de fondation :**

La réalisation des sondages (fouilles) non effectuées a cause de l'accès du terrain qui devin très difficile. D'autre part le terrain d'assise est constitue d'une formation rocheux de type calcaireux qui nécessite pas de sondage .

### ➤ **Terrain des matériaux de construction :**

Les analyses du paramètre physique , chimique et mécanique du sol et de substratum ainsi que les matériaux de construction argileux indiquent une mauvaise réaction de la retenue collinaire les argiles ( zone d'emprunt ) se trouvent dans la partie aval .

Concernant ces matériaux les essais de laboratoire ne sont pas réalises car les argiles contient un pourcentage très élevas des colluvions . Les formation carbonates es trouvent dans la partie amont dans un rayon de 300m , indiquent une bonne réaction de la réalisation d'un retenue collinaire mixte(béton en rochement ) .

Ces formation essentiellement des calcaires grisâtres a jaunâtres très durs a la cassure.

## ✓ **Essais d'Indentification et classification .**

## ✓ **Caractéristiques Physiques des Sols .**

### ➤ **En dessinons :**

Les analyses géologique de la roche et de substratum (calcaires ),ainsi que les matériaux de constructions indiquent une bonne réaction de la réalisation d'une retenue collinaire de type zone béton et enrochement .

Les calcaires (zone d'emprunt) sont disponibles quantitativement dans la région de la retenue cote amont et aval environ de 50m a 100 m près de l'axe de la digue .

L'axe de la digue est principalement constituée par des bancs de calcaires grisâtre a jaunâtre compactes sain avec même orientation que l'axe de la digue et avec un pendage de 48° .

Les matériaux nécessaires pour la construction de la digue ont un grand intérêt économique puisqu'ils se trouvent dans la cuvette et ses alentours.

Les caractéristiques physiques –mécaniques et chimique des calcaires destines a la réalisation de la retenue collinaire zones en béton et enrochement seront réalises ultérieurement.

## 5) Tectonique et sismicité:

Contrairement aux monts de la région de Barika avec une tectonique relativement stable du fait de la présence d'un grand accident d'orientation NW-SE dont un tronçon reliant les pointements de Trias du Koudiat El Hammam (feuille Dj- El Dezzar) et du Dj Khala (feuille AIN TOUTA) et limitant le kef Sefiane au sud-ouest. La vergation dextre de l'extrémité occidentale de l'axe de l'anticlinal principal démontre que cet accident a joué en décrochement. Cependant, à la bordure ouest du kef Sefiane, il correspond à une faille inverse, le jeu principal de cet accident en décrochement dextre pourrait être anté-miocène. Le décrochement va jouer de sorte que nous aurons un domaine qui présente une tectonique très active et fracturée au niveau du massif de l'Aurès qui apparaît comme le plus imposant bombement de relief de l'Algérie du nord et le résultat de deux actions conjuguées : L'interférence ou la superposition par réactivation tardive des effets tectoniques de deux mégastuctures, l'Atlas saharien et l'Atlas Tellien, dont la zone de jonction se situe géographiquement au niveau de l'Aurès, du moins dans la partie septentrionale. Elle serait responsable, en partie, de la surrection du massif fortement écrasé entre les deux ensembles.

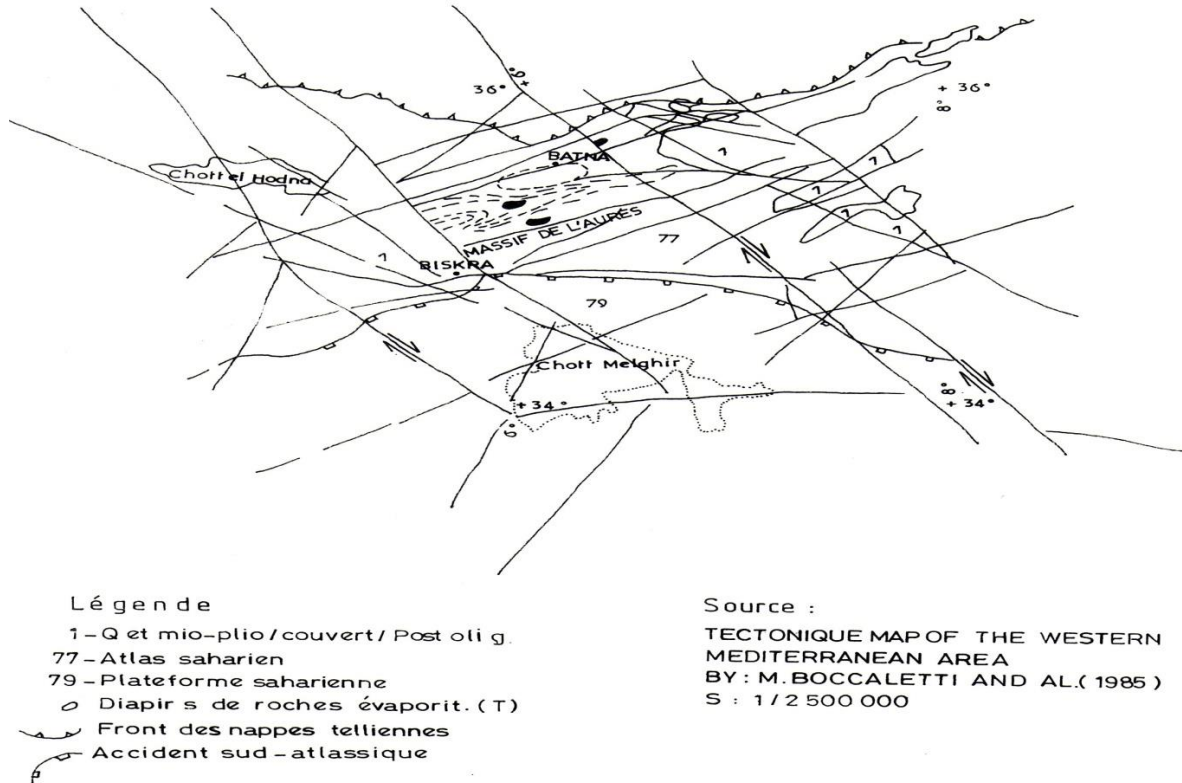
Une tectonique de bloc due à deux systèmes quasi orthogonaux d'accidents majeurs, ayant engendré la polygonation du bloc de l'Aurès ( voir schéma tectonique).

Le schéma tectonique présente des cassures à l'EST du décrochement qui se répartissent selon trois directions comme suit :

- N70° à N110°E (43% avec un maximum à N90°E).
- N110° à N 130°E (24.5%).
- N130° à N 170°E (41%, avec un maximum à N150°E).

A l'opposé, de ce domaine EST se positionne un domaine Ouest relativement stable dont appartient la ville de Barika ; présentant quelques grands accidents E-W, le fait qu'ils se situent dans une zone à faible tectonique. Cette zone est restée stable et loin de l'action des deux méga structures, dont la zone de jonction qui se situe au niveau de l'Aurès.

## SCHEMA TECTONIQUE DE L'AURES



**Figure 2.3.** Schéma structural des Monts du Bellezma et des régions voisines.

### **a. Les différentes phases tectoniques :**

L'absence totale de paléogène démontre que la phase atlasique a débuté par la surrection et l'émersion des reliefs, et lors de la période de distension oligocène, la fracturation du massif se produit selon des directions NW-SE et E-W.

Les dépôts continentaux miocènes se sont accumulés en partie dans des compartiments effondrés, comme sur le flanc nord du Kef Sefiane ou dans le fossé d'effondrement De Oued Tifrane. En outre, les calcaires miocènes marins ont fossilisés des diaclases orientées N150°E. On note que le miocène plissé recouvre le crétacé en discordance ceci résulte de l'intervention d'au moins de deux phases tectoniques principales. La dernière phase tectonique se place à la base du Quaternaire, immédiatement après la sédimentation de l'épaisse série continentale conglomératique du Djebel Djezzar attribuée au Pliocène supérieur, et la phase « pyrénéenne » ayant prédéterminé la phase du « quaternaire basal ».

## **b. La Séismicité de l'Aurès :**

La région étude fait partie de la wilaya de Batna, est une zone de faible séismicité. Cette zone appartient à l'atlas saharien. Par sa séismicité, il lui est conforme.

L'examen de la carte séismique de l'Algérie fait ressortir les éléments suivants :

l'Aurès s'incère entre un domaine Tellien très actif (Jijel-Skikda) au nord d'un domaines non séismique au sud (Biskra-Ouargla). Sa séismicité propre est intermédiaire est de faibles fréquence et intensité.

Les principaux séismes enregistrés dans la région de l'Aurès se focalisent au niveau de l'accident sud atlasique qui passe au sud de l'Aurès et au voisinage duquel, on enregistre cinq séismes dans la région de Biskra-Rhoufi et la faille orientée 40° NE qui limite le Belazma axe orienté ( Batna-Ain Touta – Bdj. Seggane-Barika).

Une demi-douzaine de séismes y est recensée, d'intensité parfois maximum (sur la ligne de fracture Constantine–N'gaous) et de magnitude moyennes (4.5-5.6).

Il est permis de dire que l'Aurès est épargné par les séismes historiques. Toutefois,

il faut être conscient qu'il n'est pas pour autant à l'abri des effets des séismes des régions voisines.

### **1. Sismicité de la région d'étude :**

L'activité sismique est due principalement à la nature géologique de la région maghrébine et à ses caractéristiques tectoniques à la frontière des plaques africaine et eurasiennne, en mouvement compressif permanent (tectonique des plaques). Donc pour pouvoir résister à ce phénomène, on doit construire des ouvrages de telle sorte à leur fournir un degré de protection tolérable en répondant aux règles parasismiques Algériennes.

Le niveau de risque sismique considéré comme acceptable en Algérie a été établi et intégré dans les prescription réglementaires contenus dans le règlement R.P.A.88 (règles parasismiques Algériennes ) en considération de deux types de secousses possibles (séisme majeur et séisme modéré ) et des groupes d'usage des ouvrages qui sont classés de 1 à 3 en fonction de l'importance décroissante qu'il présente pour la vie économique et sociale de la communauté.

Le coefficient d'accélération de zone noté « A » est donné par R.P.A 88 en fonction de groupe d'usage de l'ouvrage et y est déterminé par la méthode de Mr SHAH et al en 1975 ; c'est une méthode probabilistique basée sur des cartes d'iso-accélération déduites de la sismicité historique de l'Algérie .Le coefficient sismique noté  $\alpha$  définissant la fraction de l'accélération de la pesanteur utilisée dans le calcul de stabilité des digues de barrages ou retenues collinaires peut être déterminé en fonction de l'accélération maximale horizontale (A) dépendant de la zone sismique et du degré d'usage de la structure . Il est donné par la formule empirique  $\alpha = 2/3.A$ , laquelle est

Bassée sur les observations faites sur le comportement de nombreux digues de barrages en terre et en enrochement. Donc , notre site de la retenue collinaire Ain El Hamra, situé dans la zone sismique II et appartient au groupe d'usage n°1B. Ces deux paramètres permettent de calculer le coefficient sismique  $\alpha=2/3.A$   $\alpha=2/3*0.20 = 0.13$ .

## **2. Géologie de la zone d'emprise de la digue :**

Selon les résultats des travaux géologiques au niveau du site, ainsi que observations faites sur le terrain, les formations géologiques se présentent comme suit :

- La rive droite assez prononcée présente une pente assez faible constituée des argiles rouges plus au moins sableuses, couvrant des marnes grises, dont la profondeur de ceux- ci dépasse 3.5m.
- Le lit d'oued constitué de matériaux grossiers d'alluvions (cailloux, blocs et graviers).
- La rive gauche présente une pente e très forte, constituée de conglomérats de nature calcaire et gréseux, dont la taille des constituants va des graviers aux blocs.

## **3. Fondation de la digue est ouvrages annexes :**

### ➤ **Corps de la digue:**

Compte tenu de la perméabilité des terrains constituant les assises de la digue, nous recommandons ce qui suit :

- Sur la rive droite, afin d'assurer une étanchéité appréciable au niveau de la digue, nous proposons d'ancrer la digue à 1,5 m. au maximum dans la couche de couverture (argile). Cette sera fondé dans les argiles.
- Le lit d'oued et la rive gauche constituant des terrains stables, mais perméables d'épaisseurs considérables nécessitent des travaux d'étanchéité.

### ➤ **Évacuateur de crues :**

- L'évacuateur de crues sera placé sur la rive droite dans des argiles.

## **4. Matériaux de construction de la retenue collinaire :**

- Les matériaux du remblai de la digue (argiles) seront exploités au niveau de la cuvette
- Les matériaux nécessaires au filtre, drain et transition peuvent être exploités des carrières existantes dans la région après leur triage.
- Les matériaux rocheux nécessaires à la protection du talus amont de la digue(enrochement) seront fournis à 300 au nord du site (calcaires présumés cénomaniens).

## **II.5. Etude géotechnique :**

L'étude géotechnique de la retenue collinaire Ain El Hamra, basée essentiellement sur des campagnes de reconnaissance effectuées sur terrain (exécution des fouilles, suivi de prélèvements des échantillons de sol en différents endroits de la retenue : zone d'emprunt

argileuse et zone d'emprise de la digue).

Afin d'évaluer la quantité et la qualité des matériaux de construction de la digue ainsi que la détermination de la structure géo mécanique du sous-sol de fondation à différents niveaux) ; et de laboratoire (essais géotechniques et chimiques du sol prélevé).

➤ **Prospection géotechnique de terrain :**

Des fouilles et sondages carottés ont été réalisées en différentes zones de la retenue collinaire : Zone d'emprise de la digue et zone d'emprunt pour les matériaux de construction suivi de mécanique des terrains d'assise et de fondation de la digue ainsi que l'évaluation quantitative et qualitative des matériaux d'emprunt nécessaires à la construction de ce barrage collinaire :

- ✓ 05 fouilles au niveau de l'emprise de la digue (FAH1 à FAH5).
- ✓ 04 fouilles au niveau de l'emprise de la zone d'emprunt (FEH1 à FEH4).

➤ **Prospection géotechnique de laboratoire :**

Il a été réalisé des essais physiques et mécaniques sur des échantillons remaniés et sur des échantillons intacts.

**a. Essais physiques d'identification et de classification :**

- Teneur en eau naturelle (Wn) ..... 03 essais
- Densité sèche ( $\rho_d$ ) ..... 03 essais
- Degré de saturation (Sr) ..... 03 essais
- Limite de liquidité (WL) ..... 06 essais
- Indice de plasticité (Ip) 06 essais

**b. Essais mécaniques :**

- Compression à l'œdomètre
- Cisaillement rectiligne à la boîte type U.U
- Compactage selon Proctor normal

**c. Essais chimiques :**

- Teneur en carbonates .... 05 essais
- Teneur en chlorures ..... 05 essais
- Teneur en sulfates ..... 05 essais
- Teneur en matière organique ..... 03 essais

Concernant les sols des zones d'emprunt, les essais mécaniques et essai de perméabilité ont été réalisés après compactage à des teneurs en eau proches des optimales obtenues selon Proctor normal.

➤ **Résultats géotechnique :**

du terrain et des essais au laboratoire :

## 5. Terrains d'assise et de fondation de la digue :

Les résultats des essais géotechniques de laboratoire pour les argiles se présentent comme suit :

### a- Colluvions (argiles et limonssableux)

#### ▪ Essais d'identification et de classification:

- ( $\rho_d$ )... 1.698 - 1.745T/m<sup>3</sup>
- Degré de saturation (Sr) ..... 66.22 - 74.23%
- Limite de liquidité (WL) ..... 42 - 52%
- Indice de plasticité (Ip) .. 12 - 18%

#### ▪ Granulométrie – sédimentométrie :

- Grains de diamètre supérieur à 80 $\mu$  ..... 70 - 91%
- Graviers..... 04 - 22%
- Gros sables..... 04 - 17%
- Limons ..... 22 - 28%
- Argiles..... 30 - 52%

#### ▪ Essais mécaniques :

Essai de cisaillement à la boîte type U.U :

- Angle de frottement total ( $\phi_u$ )..... 14 -29°
- Cohésion totale ( $C_u$ ) ..... 82 - 85 KN / m<sup>2</sup>

#### ▪ Analyses chimiques :

- Teneur en carbonates ..... 52.45 - 67.5%
- Teneuren sulfates Néant
- Teneur en chlorures..... 0.12 - 0.15%

Selon les résultats sus indiquées, les argiles servant pour sol de fondation de la digue sur la rive droite se classent dans les sols fins, appartenant selon la classification U.S.C.S aux groupes LP (limons peu plastiques) et LT (limons très plastiques) et son denses, non agressifs envers le béton à ciment ordinaire.

## b- Argiles miocènes :

### ▪ Essais d'identification et de classification :

-Densité sèche( $\rho_d$ ).....	1.62 -1.830 T/m <sup>3</sup>
-Degré de saturation(Sr).....	75.79 - 100%

### ▪ Essais mécaniques :

Essai de cisaillement à la boîte type U.U :

-Angle de frottement total ( $\phi_u$ ).....	31 -45°
- Cohésion totale ( $C_u$ ) .....	18 - 69 KN / m <sup>2</sup>

Les résultats des différents essais indiquent un sol dense, de bonne résistance au cisaillement.

## 6. Matériaux de construction de la digue :

### a. Matériaux d'étanchéité :

Les matériaux d'étanchéité de la digue (remblai) seront exploités à partir du versant droit de la cuvette Ils consistent en limons sableux. Le volume qu'on peut extraire de la zone d'emprunt prospectée est de 13000 m<sup>3</sup> pour une surface de 6400 m<sup>2</sup>. Et une épaisseur moyenne de 2m.

Les caractéristiques géotechniques pour ces matériaux sont les suivantes :

#### ▪ Essais d'identification et de classification :

-Limite de liquidité(WL).....	40 - 48.5%
-Indice de plasticité ( Ip ) .....	10.66 - 21.04%

#### ✓ Granulométrie – sédimentométrie :

-Grains de diamètre supérieur à 80 $\mu$ .....	63 - 91%
-Graviers.....	02 - 30 %
-Grossables.....	05 %
-Sable fin ..	14 - 30 %
-Limons.....	28 - 42%
-Argiles.....	12 - 30%

#### ▪ Essais mécaniques :

##### ➤ Essai Proctor normal :

-Densité sèche optimale ( $\gamma_{dopt}$ ) .....	1.66 - 1.76 T/m <sup>3</sup>
-Teneur en eau optimale ( $W_{opt}$ ) .....	12.78 - 14.63 %

➤ **Essai de cisaillement à la boîte type U.U:**

- Angle de frottement total ( $\phi_u$ ) ..... 11 -23°
- Cohésion totale ( $C_u$ ) .....06 - 126 KN / m<sup>2</sup>

▪ **Analyses chimiques**

- Teneur en carbonates .....43.7 - 79.5%
- Teneur en sulfates..... Néant
- Teneur en chlorures.....0.12 - 0.20 %
- Teneur en matière organique ..... 0.09 - 0.18%



**Figure 2.4. Essai de Proctor (Compactages)**

Selon les résultats de laboratoire, ces sols appartiennent selon la classification U.S.C.S au groupe ML (limons peu plastiques) et CL (argiles peu plastiques), présentant une résistance au cisaillement faible. Compactées, ces argiles auront une perméabilité très faible. Le taux de compactage par rapport à celui de Proctor normal est dans la plage de 90 à 95 %. L'analyse chimique indique un sol non agressif.

**En conclusion**, au vu de la disponibilité des matériaux argileux très proches du site, nous optons pour le type d'une digue en terre homogène.

- **Caractéristiques géotechniques proposées pour le calcul de stabilité de la digue**
- **Terrains de fondation de la digue .**

**Tableau (II-01) : les caractéristiques géotechniques du terrain de fondation de la digue :**

<b>Caractéristique géotechnique</b>	<b>Exprimée</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
<b>Densité sèche (<math>\gamma_d</math>)</b>	T /m <sup>3</sup>	1.73	1.6	2.1
<b>Densité humide (<math>\gamma_h</math>)</b>	T /m <sup>3</sup>	1.98	1.7	2.2
<b>Densité de saturation (<math>\gamma_{sat}</math>)</b>	T /m <sup>3</sup>	2.0 9	2.08	2.31
<b>Angle de frottement total (<math>\phi_u</math>)</b>	(°)	14	32	45
<b>Cohésion totale (<math>C_u</math>)</b>	KN/m <sup>2</sup>	18	0	180
<b>Angle de frottement effectif (<math>\phi_{ef}</math>)</b>	(°)	30	32	45
<b>Cohésion totale (<math>C_{ef}</math>)</b>	KN/m <sup>2</sup>	1.7 3	1.6	2.1
<b>Coefficient de perméabilité (K)</b>	m/s	10 <sup>-7</sup> 8	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>

- A : Argile (rive droite)
- B : Alluvions
- C : Conglomérats

➤ **Remblai de la digue (argile) :**

**Tableau (II-02) : les caractéristiques géotechniques du remblai de la digue :**

<b>Caractéristique géotechnique</b>	<b>Exprimée</b>	<b>Valeur</b>
<b>Densité sèche optimale (<math>\gamma_{opt}</math>)</b>	<b>T /m<sup>3</sup></b>	1.67
<b>Densité de construction (<math>\gamma_{const}</math>)</b>	<b>T /m<sup>3</sup></b>	1.9
<b>Densité de saturation (<math>\gamma_{sat}</math>)</b>	<b>T /m<sup>3</sup></b>	2.05
<b>Angle de frottement total (<math>\phi_u</math>)</b>	(°)	15
<b>Cohésion totale (<math>C_u</math>)</b>	<b>KN/m<sup>2</sup></b>	48
<b>Angle de frottement effectif (<math>\phi_{ef}</math>)</b>	(°)	21
<b>Cohésion totale (<math>C_{ef}</math>)</b>	<b>KN/m<sup>2</sup></b>	4
<b>Coefficient de perméabilité (K)</b>	<b>m/s</b>	10 <sup>-9</sup>

## **Conclusion :**

Après analyses de toutes les données géologiques et géotechniques de terrain et de laboratoire site de la retenue collinaire El Hamra, on peut faire les conclusions et les recommandations suivantes :

- ❖ La présence des terrains perméables au niveau du lit d'oued et sur le versant gauche de la cuvette (alluvions et conglomérats) de puissance importante, nécessitant des travaux d'étanchéité considérables pour parer aux pertes d'eau par infiltration latérales et à travers la fondation de la digue sur la rive gauche.
- ❖ Le versant droit présent un terrain étanche par la présence des argiles rouges en surface et marnes grises en profondeur.
- ❖ La rive droite est favorable pour l'implantation de l'évacuateur des crues.
- ❖ L'étanchéité de l'assiette de la retenue collinaire sur le versant est assurée par les argiles rouges de faible perméabilité et marnes grises constituant le terrain de fond du versant.
- ❖ Les matériaux du remblai de la digue ainsi ses terrains de fondation sont non agressifs envers le béton à ciment ordinaire.

## **CHAPITRE 3**

### **Étude Hydrologique**



**FIN DES TRAVAUX  
D'EXCAVATION(BARRAGE VOÛTE MINCE  
D'OUED THAT WILAYA DEMASCARA).**

## Introduction:

Le dimensionnement, la sécurité et la bonne exploitation des ouvrages hydrauliques sont étroitement liés aux paramètres hydrologiques notamment les apports et les débits de crues. Dans ce cadre, rentre le but du présent chapitre qui est la détermination des caractéristiques morpho métriques, des données climatiques, pluviométriques de déterminer l'apport de différentes fréquences. Également les débits maximums et les apports solides. Ce qui constituera le premier volet de document. Le deuxième volet concernera l'étude de la régularisation et l'étude de laminage des crues.

Toutes les caractéristiques sont destinées au dimensionnement de la retenue, de ses ouvrages annexes. Le bassin versant de la future retenue appartient au sous bassin Oued Mazouz n°:14 appartient au grand bassin versant Hodna n°: 05 selon la nomenclature adopté par l'ANRH.

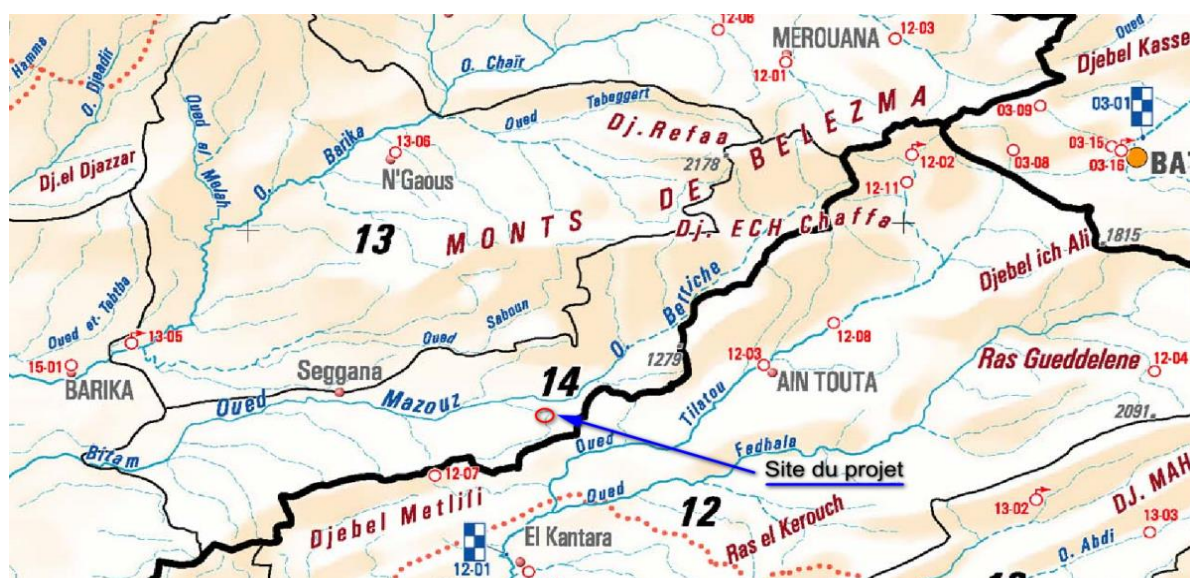


Figure 3.1 : Situation de la retenue collinaire

Le site du futur projet de Sidi Ali est située au Sud-Ouest du chef-lieu de la wilaya de BATNA à une distance de 60 Km, elle est limitée par :

- La commune de Tiltou au Sud et au Sud-Est.
- Les communes de Bitam et Barika à l'OUEST.
- La commune de Sefiane au Nord.

➤ Le site est défini par les coordonnées UTM suivantes :

X : 751950  
Y : 3911180  
Z : 845 m

## Caractéristiques du bassin versant :

### a) Paramètres géométriques :

#### 1. Surface et périmètre :

- La superficie du bassin versant a été planimétrée sur la Carte topographique à l'échelle 1/50.000<sup>ème</sup>, Barika Feuille 227 B-II C-23.

La superficie (S) drainée déterminée par planimétrie en utilisant l'outil informatique (après scanner de la carte topographique) est égale à 5.06 Km<sup>2</sup>.

- Le bassin versant étant l'aire de réception des précipitations et d'alimentation des cours d'eau, les débits vont être en partie reliés à sa surface. La surface du bassin versant a été mesurée à l'aide d'un planimètre.

Le périmètre (P) délimité, stylisé et mesuré au curvimètre en utilisant l'outil informatique (après scanner de la carte topographique) présente une longueur de 11.86 Km.

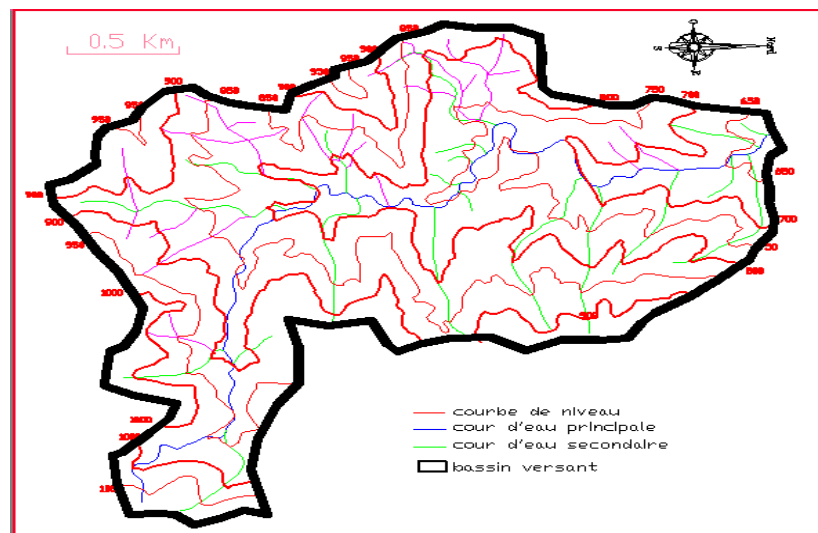


Figure 3.2 : Délimitation du bassin versant de l'Oued Sidi Ali

## 2. Forme :

La forme d'un bassin versant influence l'allure de l'hydrogramme à l'exutoire du bassin versant. Par exemple, une forme allongée favorise, pour une même pluie, les faibles débits de pointe de crue, ceci en raison des temps d'acheminement de l'eau à l'exutoire plus importants. Ce phénomène est lié à la notion de temps de concentration.

En revanche, les bassins en forme plus ramassée, présentant un temps de concentration plus court auront les plus forts débits de pointe.

Il existe différents indices morphologiques permettant de caractériser le milieu, l'indice de compacité de Gravelius (1914) définit comme le rapport du périmètre du bassin au périmètre du cercle ayant la même surface :

$$K_G = \frac{P}{2 \cdot \sqrt{\pi \cdot A}} \approx 0.28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}} \quad \text{Équation 1}$$

$K_G$  est l'indice de compacité de Gravelius,

$A$  : surface du bassin versant [ $\text{km}^2$ ],

$P$  étant le périmètre du bassin [ $\text{km}$ ].

Cet indice est proche de 1 pour un bassin versant de forme quasiment circulaire et supérieur à 1 lorsque le bassin est de forme allongée. Dans notre cas, les calculs conduisent à un indice de compacité égal à 1.48 qui traduit un bassin versant relativement allongé.

## 3. La notion de rectangle équivalent :

Introduite par Roche (1963), résulte d'une transformation géométrique du bassin réel dans laquelle on conserve la même superficie, le même périmètre (ou le même coefficient de compacité), et donc par conséquent la même répartition hypsométrique.

Les courbes de niveau deviennent des droites parallèles aux petits côtés du rectangle.

La climatologie, la répartition des sols, la couverture végétale et la densité de drainage restent inchangées entre les courbes de niveau.

Si  $L$  et  $l$  représentent respectivement la longueur et la largeur du rectangle équivalent,

➤ alors :

Le périmètre du rectangle équivalent vaut :  $P = 2 \cdot (L+l)$  ;

La surface  $A = L \times l$  ;  $K_G$  représente le Coefficient de compacité. En combinant ces trois relations, on obtient :

$$L = \frac{K_G \cdot \sqrt{A}}{112} \cdot \left( 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{112}{K_G} \right)^2} \right) \text{ si } K_G \leq 112$$

Équation 2

Après calculs, les résultats obtenus sont :

Longueur = **4.92 Km** et largeur = **1.03Km**.

#### 4. Paramètres du relief :

L'influence du relief sur l'écoulement est évidente en raison de nombreux paramètres hydrométéorologiques qui varient avec l'altitude (précipitations, végétation, températures, etc.) et la morphologie du bassin. En outre, la pente influe sur la vitesse d'écoulement.

➤ Le relief se détermine au moyen de caractéristiques suivantes :

#### 5. Courbe hypsométrique :

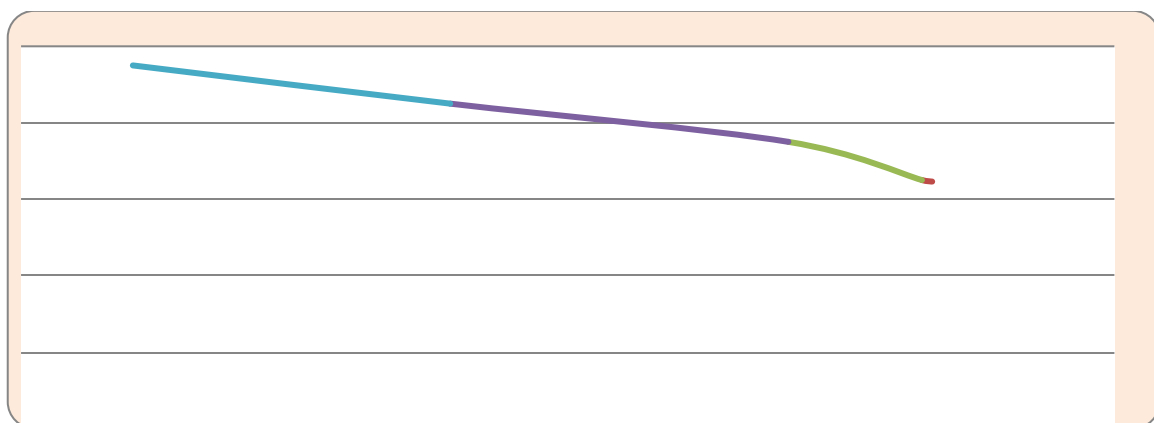
La courbe hypsométrique traduit une vue synthétique sur la pente du bassin, donc du relief. Cette courbe représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude.

Elle exprime la superficie du bassin ou le pourcentage de superficie, au delà d'une certaine altitude.

La courbe hypsométrique sert en particulier à déterminer la pluie moyenne sur un bassin versant et donne des indications quant au comportement hydrologique et hydraulique du bassin et de son système de drainage.

Tranche d'altitude (m)	Surface partielle (km <sup>2</sup> )	Surface cumulée (km <sup>2</sup> )	Surface partielle (%)	Surface cumulée (%)
846-850	0,057	5,055	1,122	100
850-950	0,741	4,998	14,66	98,878
950-1050	1,876	4,257	37,12	84,219
1050-1150	1,761	2,381	34,83	47,1
1150-1250	0,62	0,62	12,27	12,269

**Tableau 7 : Répartition altimétrique du bassin versant de l'Oued Sidi Ali**



**Figure 3. 3 : Courbe hypsométrique du bassin versant de l'Oued Sidi Ali**

## 6. Indice de pente :

Le relief joue un rôle prépondérant dans l'aptitude au ruissellement des terrains.

Son appréhension peut être faite à l'aide de l'indice de pente global ( $I_g$ ).

L'indice de pente globale se calcule d'après la formule suivante :

$$I_g = \frac{D}{L} ; (\text{m/km}) \quad (3)$$

D : dénivelée simple ou bien la distance verticale qui, exprimée en mètres, sépare les altitudes ayant 5% de la surface du bassin au-dessous d'elles ; elle peut être assimilée à la distance séparant les deux courbes de niveau maîtresses extrêmes qui délimitent le bassin.

L : longueur du rectangle équivalent telle que définit par M.Roche (km).

Pour permettre une comparaison plus poussée des bassins entre eux du point de vue relief, on détermine la dénivelée spécifique ( $D_s$ ) puis déduit de l'indice de pente globale.

$$D_s = I_g \sqrt{A} ; \quad (4)$$

(A) la superficie du bassin versant en Km<sup>2</sup>

Sous classes de relief au sens des hydrologues de l' O.R.S.T.O.M. (IRD actuellement)

Ds < 10 m	Classe R1 – relief très faible
10 < Ds < 25 m	Classe R2 – relief faible
25 < Ds < 50 m	Classe R3 – relief assez faible
50 < Ds < 100 m	Classe R4 – relief modéré
100 < Ds < 250 m	Classe R5 – relief assez fort
250 < Ds < 500 m	Classe R6 – relief fort
Ds > 500m	Classe R7 – relief très fort

**Tableau 8 : Indice de pente globale et classe de relief**

Superficie A (km <sup>2</sup> )	Indice de pente globale $I_g$ (m/km)	Dénivelée Spécifique $D_s$ (m/km)	Classe de relief
5.06	60.01	134.98	Relief assez fort

Toutefois, les résultats (tableau 2) permettent de montrer la forte valeur de l'indice de pente globale ( $I_g$ ) et la dénivelée spécifique ( $D_s$ ).

On constate, que le bassin de l'Oued Sidi Ali se range dans les classes du relief modéré à assez fort.

### b) Altitudes caractéristiques du bassin versant :

#### ➤ Les altitudes maximale et minimale :

L'altitude maximale représente le point le plus élevé du bassin tandis que l'altitude minimale considère le point à l'exutoire. Ces deux données permettent entre autre de déterminer l'amplitude altimétrique du bassin versant et interviennent aussi dans le calcul de la pente.

- Altitude maximale = 1070 m. Altitude minimale = **646 m**.

- Altitude la plus fréquente se situe entre **950 m et 700 m**.

➤ **Altitude moyenne:**

L'altitude moyenne se déduit directement de la courbe hypsométrique ou de la lecture d'une carte topographique. On peut la définir comme suit :

$$H_{moy} = \sum H_i \times A_i / A \quad \text{Équation 3}$$

Avec : H<sub>moy</sub> : altitude moyenne du bassin [m] ; A<sub>i</sub> : aire comprise entre deux courbes de niveau [km<sup>2</sup>] ;

H<sub>i</sub> : altitude moyenne entre deux courbes de niveau [m] ; A : superficie totale du bassin versant [km<sup>2</sup>].

L'altitude moyenne est égale à **≈ 1043.01 m**.

➤ **L'altitude médiane :**

L'altitude médiane correspond à l'altitude est lue sur la courbe hypsométrique au point 50% de la surface totale du bassin. Elle est égale à 1042.19 m.

Cette grandeur se rapproche de l'altitude moyenne dans le cas où la courbe hypsométrique du bassin concerné présente une pente régulière. Ce qui n'est pas le cas du bassin versant de Oued Sidi Ali où on observe une altitude moyenne calculée un peu différente de l'altitude de fréquence 50% indiquant ainsi une dissymétrie à l'échelle du bassin versant.

**c) Réseau hydrographique :**

Le réseau hydrographique correspond à l'ensemble des cours d'eau, permanents ou temporaires, qui participent à l'écoulement. Il traduit certainement une des caractéristiques les plus importantes du bassin. Le réseau hydrographique peut prendre une multitude de formes conditionnées par quatre facteurs principaux :

- La géologie, par ses caractéristiques, influence en particulier la forme et l'orientation du réseau hydrographique.
- Le climat, par ses effets, conditionne l'existence et la densité du réseau hydrographique.
- La pente du terrain, par son importance, détermine l'action des cours d'eau. Souvent érosive dans les zones élevées, les cours d'eau s'écoulent sur un lit où la sédimentation prédomine en plaine.
- La présence humaine, par son action (drainage des terres agricoles, construction de barrages, endiguement, protection des berges et correction des cours d'eau) modifient continuellement le tracé originel du réseau hydrographique.

Divers paramètres descriptifs sont utilisés pour définir le réseau hydrographique du réseau et ordre des cours d'eau Le schéma du chevelu hydrographique (Cf. planche1) a été établi à partir de la carte

topographique à l'échelle 1/25.000ème.

La classification est facilitée par un système de numérotation des tronçons de cours d'eau (rivière principale et affluents). L'ordre des cours d'eau est donc une classification qui reflète la ramification du cours d'eau. Il existe plusieurs types de classifications des tronçons des cours d'eau, dont celle de Strahler (1957), la plus utilisée et que nous avons adopté ici.

Cette classification permet de décrire sans ambiguïté le développement du réseau de drainage d'un bassin de l'amont vers l'aval. Elle se base sur les règles suivantes :

- Tout cours d'eau dépourvu de tributaires est d'ordre un.
- Le cours d'eau formé par la confluence de deux cours d'eau d'ordre différent prend l'ordre du plus élevé des deux.
- Le cours d'eau formé par la confluence de deux cours d'eau du même ordre est augmenté d'un.

**Tableau 9: Classification des oueds :**

<b>ORDRE X</b>	<b>NOMBRE (Nx)</b>	<b>LONGUEUR LX (KM)</b>	<b>LX (LONGUEUR MOYENNE)</b>
1	18	6.69	0.37
2	22	12.20	0.55
3	1	6.31	6.31
Total	31	35.95	

Un bassin versant à l'ordre du plus élevé de ses cours d'eau, soit l'ordre du cours d'eau principal à l'exutoire. Il existe d'autres classifications de ce type comme celle de Horton (1945) qui est parfois utilisée dans le même but.

#### **d) Longueurs et pentes caractéristiques du réseau**

##### **1. Longueur caractéristique**

Un bassin versant se caractérise principalement par la longueur du cours d'eau principal (L) qui est la distance curviligne depuis l'exutoire jusqu'à la ligne de partage des eaux. La longueur ainsi mesurée est égale à **6.31 Km**.

##### **2. Pente moyenne d'un cours d'eau :**

La pente moyenne du cours d'eau détermine la vitesse avec laquelle l'eau circule jusqu'à l'exutoire du bassin donc le temps de concentration. Cette variable influence donc le débit maximal observé. Toute chose égale par ailleurs, une pente abrupte favorise et accélère l'écoulement superficiel, tandis qu'une pente douce ou nulle donne à l'eau le temps de s'infiltrer, entièrement ou en partie, dans le sol.

Le calcul des pentes moyennes et partielles de cours d'eau s'effectue à partir du profil longitudinal du cours d'eau principal et de ses affluents. La méthode la plus fréquemment utilisée consiste à diviser la différence d'altitude entre les points extrêmes du profil par la longueur totale du cours d'eau.

$$P_{moy} = \frac{\Delta H_{max}}{L}$$

Équation 4

$P_{moy}$  : pente moyenne du cours d'eau ;  $\Delta H_{max}$  : dénivellation maximale de l'oued (différence d'altitude entre le point le plus éloigné et l'émissaire) ;

L : longueur du cours d'eau principal. La pente moyenne du thalweg principal est égale à 0.067

## Degré de développement du réseau :

- **Densité de drainage**

La densité de drainage, introduite par Horton, est la longueur totale du réseau hydrographique par unité de surface du bassin versant :

$$D_d = \frac{\sum L_i}{A}$$

Équation 5

Avec :

$D_d$  : densité de drainage [km/km<sup>2</sup>] ;  $L_i$  : longueur de cours d'eau [km] ;

A : surface du bassin versant [km<sup>2</sup>].

L'application numérique donne une densité de drainage  $D_d$  égale à 4.98 Km/Km<sup>2</sup>. Ce résultat caractérise un écoulement peu développé et centralisé.

- **Densité hydrographique : r**

La densité hydrographique représente le nombre de canaux d'écoulement par unité de surface.

$$r = \frac{\sum N_i}{A}$$

Équation 6

Où :  $r$  : densité hydrographique [km<sup>-2</sup>] ;

$N_i$  : nombre de cours d'eau ; A : superficie du bassin [km<sup>2</sup>].

Le résultat obtenu est égal à 6.13.

Le Coefficient de torrentialité se calcule à partir de la relation  $CT = D_d \times FI$ , avec  $FI = N_1 / S$  fréquence de thalwegs d'ordre 1

Dans notre cas  **$FI = 13.21$**  et  **$CT = 65.79$** .

- **Temps de concentration :**

La réaction hydrologique d'un bassin versant dépendra du type et de l'intensité de la précipitation qui le sollicite mais aussi de l'état du bassin versant : le temps de concentration des eaux sur le bassin.

Le temps de concentration  $T_c$  des eaux sur un bassin versant se définit comme la durée maximum nécessaire à une goutte d'eau pour parcourir le chemin hydrologique entre un point du bassin et l'exutoire de ce dernier. Il est composé de trois termes différents :

$t_h$  : Temps d'humectation. Temps nécessaire à l'imbibition du sol par l'eau qui tombe avant qu'elle ne s'écoule.

$t_r$  : Temps de ruissellement ou d'écoulement. Temps qui correspond à la durée d'écoulement de l'eau à la surface ou dans les premiers horizons de sol jusqu'à un système de collecte (cours d'eau naturel, collecteur).

$t_a$ : Temps d'acheminement. Temps mis par l'eau pour se déplacer dans le système de collecte jusqu'à l'exutoire. Le temps de concentration  $T_c$  correspond donc à la somme de ces trois termes, soit:

$$t_c = \max\left(\sum(t_k + t_r + t_a)\right) \text{Équation 7}$$

Le temps de concentration peut être déduit de mesures sur le terrain ou s'estimer à l'aide de formules le plus souvent empiriques. Il existe plusieurs types de relations qui permettent d'estimer  $T_c$  (Giandotti, Kirpich, Basso, Passini, Service routier de Californie etc...). Les travaux du service hydrologique de l'A.N.R.H fondés sur la comparaison et le contrôle de six de ces relations ont permis de constater que la relation (anonyme) relevée de l'ouvrage de R.BOURRIER (2, p55) était la plus performante.

Cette relation se présente sous la forme :

✓ Relation anonyme

$$\text{❖ Equation 9 } T_c = 4 \left( \frac{\sqrt[3]{sl}}{\sqrt{pl}} \right)^{3/4}$$

✓ Formule de GIANDOTTI

$$\text{❖ Equation 11 } T_c = \frac{4\sqrt{5} + 1.5lp}{0.8\sqrt{(H_{moy} - H_{min})}}$$

➤ Les calculs conduisent à la valeur  **$T_c = 2.04$** .

## Conclusion :

Les principaux résultats auxquels nous sommes parvenus apparaissent dans le (Tableau 10 Caractéristiques principales du bassin versant de l'oued Sidi Ali).

La valeur de l'indice de compacité de Gravélius caractérise un bassin de forme relativement ramassé. Les paramètres de relief révèlent une dissymétrie des altitudes et une forte pente matérialisée par des reliefs assez fort dans la partie amont. La densité de drainage caractérise un réseau hydrographique développé ( $7.10 \text{ Km/Km}^2$ ). Ces caractéristiques indiquent à l'échelle du bassin un temps de concentration élevé entraînant un coefficient de torrencialité fort et déterminent un ruissellement et une évaporation plus importante par rapport à l'infiltration. Le ruissellement est d'autre part ralenti par une

couverture végétale relativement développée à l'amont du bassin et une assise lithologique à caractère essentiellement imperméable.

Superficie	5.06 Km <sup>2</sup>
Périmètre	11.86 Km
Indice de compacité de Gravélius	1.45
Longueur du rectangle équivalent	4.92 Km
Largeur du rectangle équivalent	1.03 Km
Indice de pente globale	60.01
Altitude maximum	1070 m
Altitude minimum	846 m
Altitude moyenne calculée	1043 m
Altitude de fréquence	1042.19 m
Altitude la plus fréquente	1150-900 m
Longueur du thalweg principal	6.31 Km
Pente du thalweg principal	0.067 m/m
Densité de drainage	4.98 Km/Km <sup>2</sup>
Temps de concentration	2.04

**Tableau 10 :Caractéristiques principales du bassin versant de l'oued Sidi Ali**

### 1) CLIMATOLOGIE :

Au site considéré, le bassin versant est dominé par un climat de type semi-aride avec des hivers froids et des étés relativement chauds et secs ,Les éléments climatologiques utilisés pour traiter le climat de la région d'étude sont :

- La température
- L'évaporation
- Le vent
- Le sirocco
- L'humidité relative de l'air
- La grêle
- La gelée blanche
- La pluviométrie

#### **a- Température**

La température de l'air est l'un des effets les plus importants de la radiation solaire et un grand nombre de phénomènes physiques (évaporation, gel de l'eau, gelée blanche, dilatation, ...) et de multiples formes de l'activité humaine sont liées à la température de l'air.

Les données concernant les températures relèvent toujours de la station de BATNA

**Tableau 1 : Température min, max et moyenne mensuelle**

SAISONS	AUTOMNE			HIVER			PRINTEMPS			ETE			MOY
MOIS	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	
MINIMA	13,0	8,5	4,2	1,1	0,3	0,6	2,7	5,0	8,3	13,0	14,0	15,7	7,4
MAXIMA	27,7	21,2	15,0	10,9	9,5	11,5	14,3	18,9	23,6	28,9	33,3	38,3	20,6
MOY/MOIS	20,3	14,8	9,6	5,9	4,9	6,0	8,5	11,9	15,9	20,9	24,7	24,0	14,0
MOY/SAISON	14,93			5,60			12,13			23,21			

(Source : ONM Office Nationale de Météorologie)

Les températures sont variables d'une saison à l'autre. Comme on constate que la différence de températures entre l'été et l'hiver est très importante avec un écart de 18° c par contre le printemps et l'automne on des valeurs moyennes saisonnières qui se rapprochent 14°c.

### **b- Évaporation**

l'estimation de ce paramètre a été faite en utilisant les données disponibles au niveau de l'Office Nationale de Météorologie (O.N.M) concernant cette région (barrage El-Ksob). La valeur moyenne annuelle de l'évaporation estimée à 2036mm, avec la distribution mensuelle présentée dans le Tableau N°02.

**TABLEAU N°02 Evaporation moyenne mensuelle**

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Dec	Année
Evaporation (mm)	58	67	124	172	210	298	310	270	241	144	87	55	2036

(Source : ONM)

### c – Le vent

Les vents les plus dominants sont ceux provenant du NORD – OUEST et du SUD – EST la zone connaît le SIROCCO pendant les mois de JUILLET et AOUT avec une moyenne annuelle de 15 jours.

Le tableau suivant indique les variations concernant les moyennes mensuelles et annuelles.

**TABLEAU 3 : LES VARIATIONS CONCERNANT LES MOYENNES MENSUELLES ET ANNUELLES.**

Sens		N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Année		8.3	23.3	3	2.6	4	31	18	9.3
SAISONS	AUTOM	6,8	20.3	6,4	2,5	3,1	36,7	18	9
	HIVER	9,3	22	2,1	1,4	1,4	33	20,6	12,1
	PRINT	8,7	23,5	3,2	4,4	4,5	28,7	18,3	9,8
	ETE	8,6	28,6	3,7	3,4	6,1	25,6	15,3	7,3

(Source : ONM)

### d – Humidité relative de l'air

Il s'agit de l'humidité de l'air, mesurée par l'hygromètre placé dans un abri.

**TABLEAU N°4 HUMIDITE RELATIVE DE L'AIR**

mois	Sept	octo	nov	dec	Jan	fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juile	Août	M(%)
Hr%	60	67	73	77	76	71	67	64	59	53	44	47	63

(Source : ONM)

### 2) Pluviométrie moyenne annuelle :

Le bassin étant de taille réduite, il existe peu de pluviomètres situés directement à l'intérieur.

Nous avons donc utilisé les mesures des pluviomètres localisés dans les sous bassins versants mitoyens à celui dans lequel s'intègre le bassin de Oued Sidi Ali. Nous avons utilisé la station positionnée sur le même versant que l'emplacement du sous bassin versant de l'étude, donc soumises au même régime climatique.

- Les paramètres pluviométriques la station sont regroupés dans le tableau :

RÉFÉRENCES A.N.RH		COORDONNEES LAMBERT(M)		ALTITUDE(M)	PERIODE D'OBSERVATION
Code	Station	X	Y	Z	Années
050905	BARIKA	742,30	235	456	1975-1994

**Tableau 11 : Stations pluviométriques utilisées.**

- La pluviométrie moyenne annuelle pour la station de Barika est : **222.7 mm.**

### 3) Variations saisonnières des précipitations :

La variation mensuelle des précipitations dans l'année conditionne, en relation avec les Facteurs thermiques, l'écoulement saisonnier et par là même le régime des cours d'eau ainsi que celui des nappes aquifères.

Mois	jan	fev	mar	avr	mai	juin	juil	aout	sep	oct	nov	dec	Totalannuel
Moyenne Mensuelle	26,4	19,1	22,5	16,6	14,4	15,2	1,6	4,7	24,8	29,8	25,3	22,3	222,7

**Tableau 12: Pluies Moyenne mensuelle de la station de Barika.**

#### 1) Apport Moyen Inter-Annuel :

L'apport moyen inter annuel ( $A_{moy}$ ) peut se calculer à l'aide de la relation :

$$A_{moy} = P_{moy} \times C_e \times S \quad (\text{m}^3) \quad \text{Équation 10}$$

Dans laquelle :

$P_{moy}$  = Pluviométrie moyenne inter annuelle sur le bassin versant en (m) .

$C_e$  = Coefficient d'écoulement.

$S$  = Superficie du bassin versant en ( $\text{m}^2$ ).

Pour l'estimation du coefficient d'écoulement, l'A.N.R.H propose d'utiliser la relation  $C_e = f(P_{moy})$  élaborée à partir de données hydrologiques de 18 petits bassins versants. Cette relation compte des conditions d'écoulements spécifiques. Plusieurs autres relations expérimentées en Algérie du Nord ont été proposées pour le calcul de l'apport moyen inter annuel.

Citons :

- **Relation de SAMIE :**

$$L_e = (293 - 2.2 \times \sqrt{S}) P_{moy}^2 \quad \text{Équation 8}$$

➤ **Relations de DERI :**

$$A_{moy} = 0.513 \times P_{moy} \times 2.683 \times Dd^{0.50} \times S^{0.842}$$

$$A_{moy} = 0.915 \times P_{moy} \times 2.683 \times Dd^{0.50} \times S^{0.842}$$

Équation 9

➤ **Formule de MALLET-GAUTHIER**

$$C_e = 0.6(1 - 100.36p^2)$$

Équation 10

$$L_e = P \cdot C_e$$

Les résultats obtenus apparaissent dans le tableau n 7 ci-dessous.

Donné Auteurs	Apport moyen Interannuel (Hm3)	Lame Écoulée Le(mm)
Mallet - G	0.02722281	5.38
SAMIE	0.07228708	14.29
DERI.1	0.09518633	-
DERI.2	0.16977681	-
Moyenne	0,091118258	9.84

**Tableau 13: Apport moyen inter annuel**

Nous retiendrons donc notre bassin versant un apport moyen interannuel moyen égal à 0.10Hm3.

Cette valeur sera utilisée pour la suite des calculs.

2) **Apport fréquentiel :**

a) **Coefficient de variation :**

Pour les cours d'eau non jaugés, on a recours généralement soit à l'analogie des Oueds observés soit aux formules empiriques.

$$M_o: \text{module spécifique } 1/s/Km^2, \text{ Ou: } C_v = \frac{0.93}{M_o^{0.23}} \times K_s \quad \text{Équation 11}$$

$K_s$ : coefficient de réduction qui tient compte de la pérennité d'écoulement de l'oued ( $K_s = 1$ , pour les oueds temporaires et  $K_s = 0,25$  pour les oueds pérennes).

Nous adoptons la distribution LOG NORMALE (GALTON) qui s'ajuste bien en général aux séries observées, l'expression de la loi s'écrit : Dans notre cas  **$K_s = 1$** , ce qui donne un  **$C_v = 0.370$**

b) **Etude fréquentielle des apports liquides :**

$$A_{f\%} = \frac{A_e \sqrt{\ln(CV^2 + 1)}}{\sqrt{(CV^2 + 1)}} \quad \text{Équation 12}$$

Ou :  $A$  : apport moyen annuel

$A_{f\%}$  : apport liquide de fréquence

donnée :  $C_v$  : coefficient de variation

U : variable de Gauss

L'expression simplifiée s'écrit: u 1.066

Af %= 0,094 eu1.066

<b>Fréquence</b>	80	50	20	10	5	2	1	0.5	0,2
<b>Variable de Gauss</b>	-0.845	0.00	0.845	1.284	1.640	2.057	2.327	2.579	3.089
<b>Af %</b>	0.069	0.094	0.127	0.149	0.169	0.196	0.216	0.237	0.285

**Tableau14:** les apports liquides de différentes fréquences

### 3) Apports solides :

L'estimation du volume d'envasement de la retenue est déterminée en utilisant la relation de TIXERONT :

$$Ta = K R^{0,15}$$

<b>K</b>	<b>DEGRÉ DE PERMÉABILITÉ</b>
<b>8.5</b>	<b>Élevée</b>
<b>75</b>	<b>Moyenne</b>
<b>350</b>	<b>Moyenne faible</b>
<b>1400</b>	<b>Faible</b>
<b>3200</b>	<b>Imperméabilité</b>

Ou K = 75

R: lame d'eau écoulée, mm (R=Le = 9.84 mm)

Ta: taux d'abrasion, T/Km<sup>2</sup>/an

On trouve un taux d'abrasion égal a: Ta = 105.7T/Km<sup>2</sup>/an

En considérant un poids spécifique de 1,6 T/m<sup>3</sup> ,le volume mort ou garde d'envasement se calcule comme suit:Vs = S × Ta × t/1.6 [Équation 13](#)

Ou: t: est la durée de vie du barrage en années (dans notre cas on prendra t = 10années).

On majore le taux d'abrasion à 115 T/Km<sup>2</sup>/an On aura un volume mort majoré à :3636.88m<sup>3</sup>

On majore le volume mort par 10.000m<sup>3</sup>

#### ➤ **Pluies journalièresmaximales :**

La série des pluies maximales journalières enregistrées à la station de Barika a été choisie car la plus représentative des maxims journaliers pouvant se produire dans le bassin versant de Oued Sidi Ali..Cette série a été ajustée à différentes lois de probabilité, la loi de Gumbel s'est révélée la plus adéquate.

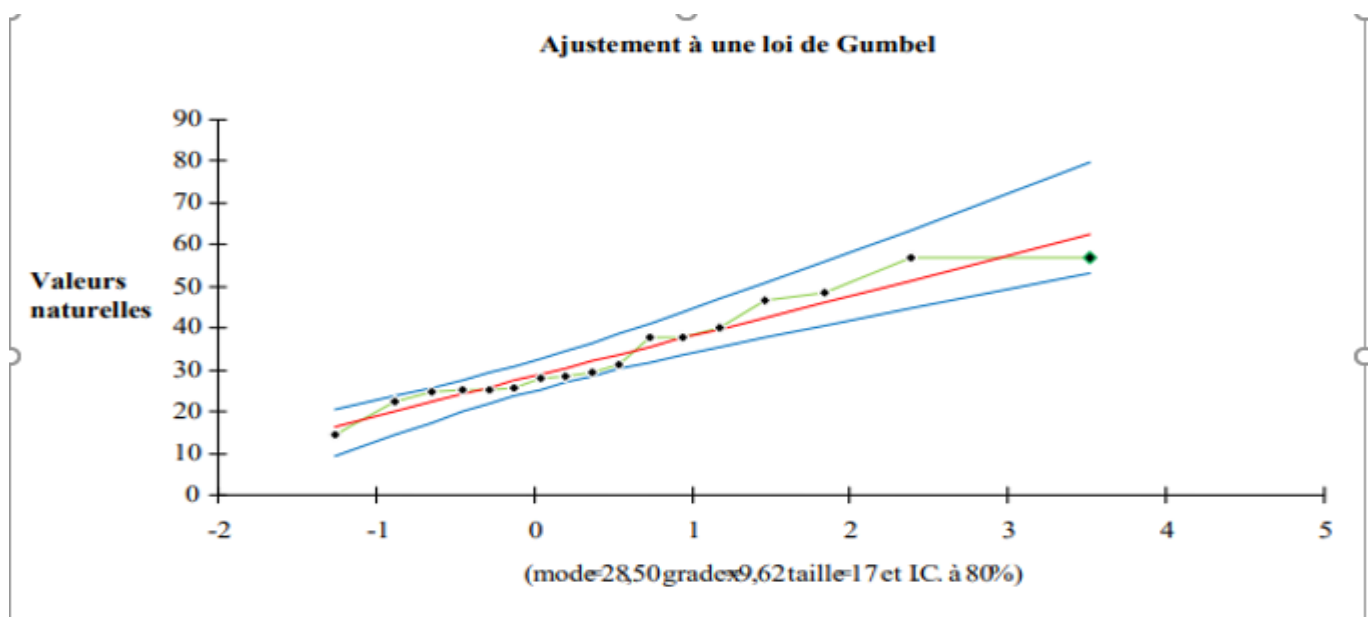
(figure 07) Les résultats apparaissent ci-dessous.

Moyenne	Écart type	Minimum	Maximum
24,578	10,01	0	54,0

Nous reproduisons les valeurs de la pluie maximale journalière pour différentes périodes de retour.

**Tableau 15** valeurs de la pluie maximale journalière

Période de retour (ans)	500	200	100	50	20	10	5	2
Variable de Gauss	2.879	2.576	2.327	2.054	1.645	1.282	0.841	00
P max j ( mm)	69.13	61.52	55.90	50.32	42.99	37.38	31.54	22.88



**Figure 3.4 :** Ajustement a la loi de Gumbel

➤ **Pluies de courte durée :**

Les pluies de courte durée pour différentes fréquences ont été déterminées à l'aide de la relation préconisée par l'A.N.R.H (Body) :

$$P_{tc} = P_{jmax} \left( \frac{t}{24} \right)^b \quad \text{Équation 14}$$

Avec :  $P_{tc}$  = Pluie de courte durée de fréquence égale à celle de  $P_{jmax}$  (mm)  $P_{jmax}$  = Pluie journalière maximale de fréquence voulue (mm)

$t$  = Temps considéré en heures.

$b$  = Exposant climatique (pour notre région,  $b = 0.23$ ).

Les résultats obtenus pour une durée égale au temps de concentration ( $T_c$ ) et pour différents temps de retour sont reportés dans le tableau ci-dessous .

**Tableau 16 Pluies fréquentielles de courte durée**

Période de retour (ans)	500	200	100	50	20	10	5	2
P max j (mm)	69.13	61.52	55.90	50.32	42.99	37.38	31.54	22.88
Ptc(mm)	39,21	34,9	31,71	28,54	24,39	21,2	17,89	13

#### 4) Étude des crues :

##### A. Débits maximaux fréquents :

L'absence de données observées nous a contraint à utiliser les formules empiriques les plus adéquates.

L'une des formules les plus utilisées est celle de **TURAZZA** qui s'exprime de la manière suivante :

$$Q_{p\%} = \frac{1}{C} \times I_{p\%} \times S \quad \text{Équation 15}$$

Où :  $Q_{p\%}$  = Débit maximum de fréquence (P%)

C = Coefficient de ruissellement lié à la probabilité d'occurrence

$I_{(P\%)}$  = Intensité de la pluie de fréquence P% pour une durée égale au temps de concentration  $T_c$ .

S = Superficie du bassin versant.

D'après son auteur, il est recommandé d'affecter les valeurs suivantes au coefficient (C).

**Tableau 17 : les valeurs de coefficient(C).**

Période de retour(ans)	500	200	100	50	20	20	5	2
Ptc(mm)	39,21	34,9	31,71	28,54	24,39	21,2	17,89	13
C	0,75	0,725	0,7	0,65	0,625	0,6	0,55	0,525

Rappelons que:  $I_{p\%} = P_{tc}(p\%) / T_c$  Équation 21

**Tableau 18 : Intensité de la pluie de fréquence (P%) pour une durée égale au temps de concentration  $T_c$**

Période de retour(ans)	500	200	100	50	20	10	5	2
Ptc(mm)	39,21	34,9	31,71	28,54	24,39	21,2	17,89	13
I ( P%)	13,93	12,39	11,26	10,14	08,66	07,53	06,35	04,61

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant :

**Tableau 19 : Débits fréquents obtenus par la méthode Turraza**

Période de retour (ans)	500	200	100	50	20	10	5	2
P <sub>tc</sub> (mm)	39,21	34,9	31,71	28,54	24,39	21,2	17,89	13
I ( P%)	19,22	17,11	15,54	13,99	11,95	10,39	8,77	6,36
Q <sub>p</sub> %	20,26	17,43	15,29	12,78	10,5	8,77	6,78	4,69

La 2eme méthode celle de SOKOLOVSKY

$$Q_{\max} = (0.28 P_{tc} \% C_e S) / t_m \times f \quad \text{Équation 16}$$

<b>g</b>	2.0	2.5	3.0	4.0
<b>F</b>	1.20	1.04	0.92	0.75

f: coefficient de forme de la crue ,  $f = 12 / (4 + 3\gamma)$ , on prend  $g=2$ , 50 d où  $f=1.04$  hydrogramme triangulaire.

t<sub>m</sub>: temps de montée , en heures où  $t_m = f (t_a)$

t<sub>a</sub>: étant la durée de l'averse

t<sub>a</sub> = t<sub>c</sub>, = t<sub>m</sub> cas des petits bassins versants

C<sub>e</sub>: Coefficient de ruissellement en fonction de la fréquence,

**Tableau 20: Débits fréquentiels obtenus par la méthode de Sokolovsky**

<b>Période de retour(an)</b>	500	200	100	50	20	10	5	2
<b>C<sub>e</sub></b>	0,75	0,725	0,7	0,65	0,625	0,6	0,55	0,525
<b>P<sub>tc</sub>%(mm)</b>	39,21	34,9	31,71	28,54	24,39	21,2	17,89	13
<b>Q<sub>max</sub>p% (m<sup>3</sup>/s)</b>	20,83	17,92	15,72	13,14	10,8	9,01	6,97	4,83

La 3eme méthode celle de Mallet–Gauthier

$$Q_{\max, p \%} = 2K \log(1 + AP) S / \sqrt{L_p} \sqrt{(1 + 4 \log T - \log(s))} \quad \text{Équation 17}$$

S : superficie du Bassin versant, (K m<sup>2</sup>);

P : pluie moyenne annuelle en (m);.

A : Coefficient régionale ; A=20.

K : Constante du bassin Varie entre 1 et 3; K=2

T : période de retour en années.

L<sub>p</sub> : longueur du talweg principale en ( km ) ;

**Tableau 21 Débits fréquents obtenus par la méthode Mallet–Gauthier**

Période de Retour(ans)	500	200	100	50	20	10	5	2
Ce	0,75	0,725	0,7	0,65	0,625	0,6	0,55	0,525
Ptcp%(mm)	39,21	34,9	31,71	28,54	24,39	21,2	17,89	13
Qmaxp% (m3/s)	19,77	18,29	17,09	15,81	13,92	12,3	10,4	7,27

**B. Choix du débit de crues (débit de dimensionnement) :**

d’après les résultats obtenus par les différentes méthodes de calcul de débit de crues, on remarque que les valeurs obtenues par la méthode de **SOKOLOVSKY** et celle de **TURRAZA** sont très proches l’une de l’autre et cela pour les différentes fréquences de calcul. On remarque que les résultats obtenus par la méthode **MALLET GAUTHIER** petit par rapport aux autres valeurs. Pour ces raisons, et pour ne pas faire un surdimensionnement ou sous dimensionnement, on opte pour les valeurs moyennes données par les quatre formules comme débits de dimensionnement.

**Tableau 22 : Débits fréquents arrêtés pour les calculs**

Période de retour (ans)	500	200	100	50	20	10	5	2
Qmaxp% (m3/ s)	20,29	17,88	16,04	13,91	11,74	10,03	8,06	5,6

Les volumes des crues maximales pour un temps de retour donné sont calculés à l’aide de la formule suivante: Les volumes des crues maximales pour un temps de retour donné sont calculés à l’aide de la formule suivante:

$$V = (Q_{\max} \% \times T_c) / F \% (m^3) \tag{Equation 18}$$

$Q_{\max} \% =$  Débit de crue maximale pour une fréquence donnée ( $m^3/s$ )

$T_c =$  Temps de concentration(s)

$F =$  Coefficient de forme de l’hydrogramme de crue,

**Tableau 23 Les volumes des crues maximales pour un temps de retour**

Temps de retour (ans)	10	20	50	100
$V_{\max} (10^6 m^3)$	1,148	1,149	1,1428	1,1429

### C. Hydrogramme de crues

La schématisation géométrique proposée par **SOKOLOVSKI** pour le tracé des hydrogrammes de crues permet de pallier l'absence de stations de mesures hydrométriques. Cet auteur donne à l'hydrogramme de crue la forme d'une courbe fermée par deux paraboles jointes au sommet dont les équations sont les suivantes :

$$Q_t = Q_{\max} (t/t_m)^m \quad \text{Équation 19}$$

Avec :  $Q_t$  = Débit à l'instant  $t$  en heures après le début de la crue ( $m^3/s$ )

$Q_{\max}$  = Débit maximal de la crue ( $m^3/s$ )

$t_m$  = Temps de montée de la crue en heures.

L'auteur préconise pour les bassins  $t_m = T_c$

$m$  = Exposant de la parabole, pour les crues pluviales  $m = 2$ .

Équation de la courbe de décrue :

$$Q(t') = Q_{\max} (t_d - t' / t_d)^n \quad \text{Équation 20}$$

Avec :  $Q(t')$  = Débit à l'instant  $t'$  en heures, après la pointe de la crue ( $m^3/s$ )

$T_d$  = Durée de la décrue en heures.

$t_d = \delta t_m$ , pour les petits bassins peu perméables on prend  $\delta = 2$  et donc  $t_d = 2t_m$

$n$  : Exposant de la parabole pour les crues pluviales,  $n = 3$ .

Le détail des calculs est reporté dans le tableau 18 et les hydrogrammes de crues pour différents temps de retour sont représentés sur la figure .

**Tableau 24: Histogrammes de crues pour différentes périodes.**

Temps (h)	Q10 ans	Q25 ans	Q50 ans	Q100 ans
0	0	0	0	0
1	1,14	0,984	0,829	0,707
1,2	1,642	1,418	1,194	1,017
1,4	2,235	1,929	1,626	1,385
2	4,562	3,938	3,317	2,826
2,2	5,52	4,764	4,014	3,42
2,4	6,569	5,67	4,777	4,07
3	10,26	8,86	7,464	6,359
3,1	10,96	9,46	7,97	6,79
3,2	10,44	9,01	7,591	6,467
3,4	9,445	8,152	6,868	5,851

4	6,846	5,909	4,979	4,242
4,2	6,1	5,265	4,436	3,779
4,4	5,41	4,67	3,934	3,352
5	3,656	3,156	2,659	2,265
5,2	3,169	2,736	2,305	1,964
5,4	2,728	2,355	1,984	1,69
6	1,653	1,426	1,202	1,024
6,2	1,37	1,183	0,996	0,849
6,4	1,122	0,968	0,816	0,695
7	0,56	0,483	0,407	0,347
7,2	0,426	0,368	0,31	0,264
7,4	0,315	0,272	0,229	0,195
8	0,101	0,087	0,073	0,063

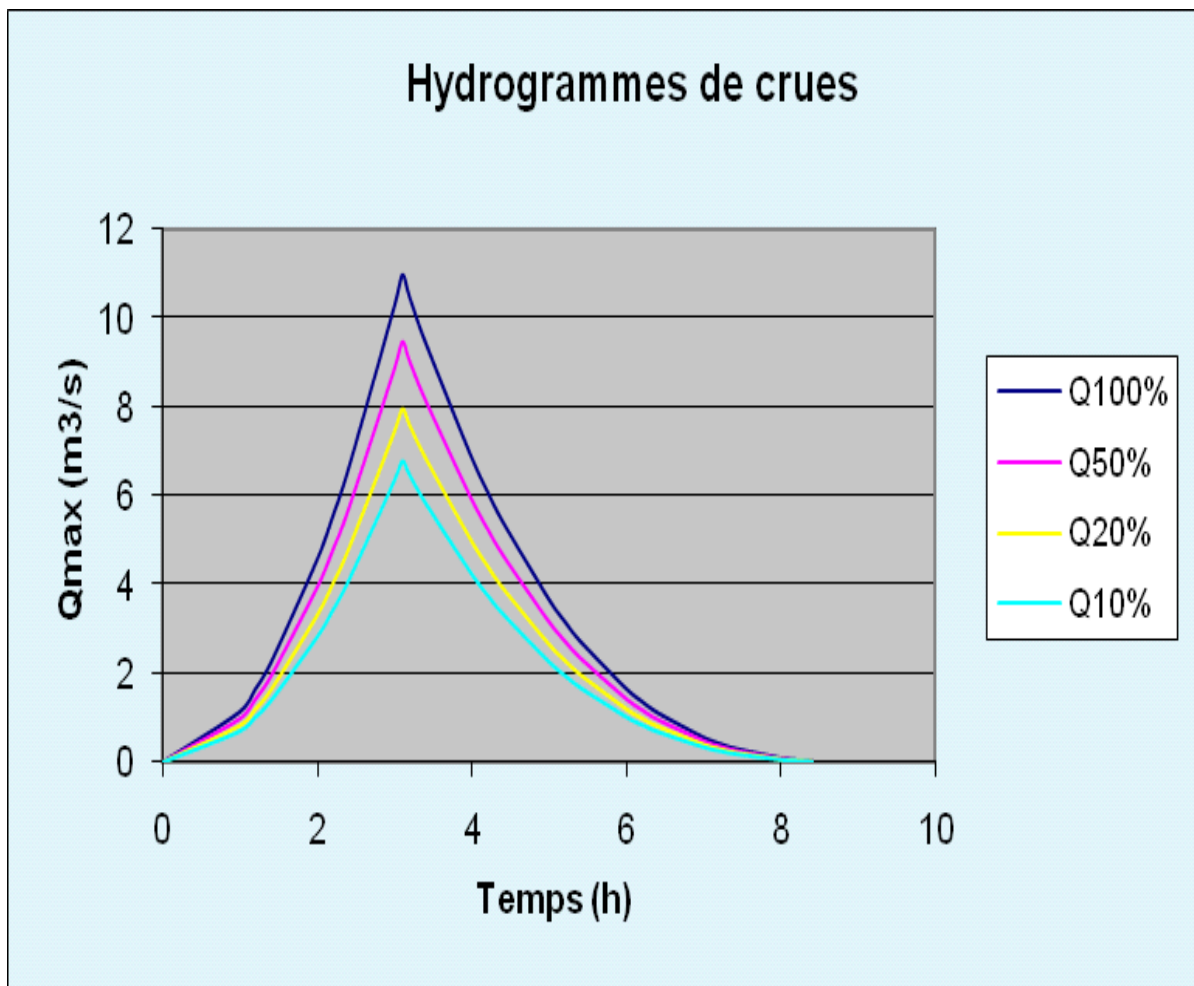


Figure 3.5 :Hydrogrammes de crues

## 5) Conclusion :

Pour le calcul des apports et de ses différentes caractéristiques, nous avons été amené à utiliser la station pluviométrique située à BARIKA à proximité du bassin versant de l'Oued Sidi Ali. Plusieurs formules empiriques ont été utilisées pour la détermination de l'apport moyen interannuel, le résultat retenu est égal à  $0.10 \text{ Hm}^3$ . Valeur qui a été utilisée pour la suite des calculs. Concernant l'apport solide, il est de l'ordre de  $3700 \text{ m}^3$  pour une durée de 10 ans. La série des pluies maximales journalières enregistrées à la station de Barika a été choisie car la plus représentative des maximas journaliers pouvant se produire dans le bassin versant de Oued Sidi Ali. Cette série a été ajustée à différentes lois de probabilité, la loi de Gumbel s'est révélée la plus adéquate. Pour une période de retour 20 ans, on trouve une valeur de 42.99 mm. Pour la même période de retour, les pluies fréquentielles de courte durée pour une durée égale au temps de concentration a donné 24.39 mm.

Les débits maximaux fréquents déterminés à l'aide de formules empiriques (Turazza-SOKOLOVSKY et Mallet-Gauthier) donnent des résultats assez concordants. Toutefois, nous avons retenu la moyenne des méthodes qui nous paraît la plus adaptée aux petits bassins versants, qui prend en considération l'ensemble des paramètres physico climatiques du bassin versant. Ces résultats ont permis le calcul des volumes des crues maximales pour un temps de retour donné. Nous avons enfin clos ce chapitre par la schématisation géométrique proposée par SOKOLOVSKI pour le tracé des hydrogrammes de crues.

## 6) ETUDE DE LA REGULARISATION :

### a. Objectifs et méthodologie :

L'objet de cette étude est d'établir la capacité de la retenue de Sidi Ali sur Oued Sidi Ali, de façon que la régularisation annuelle des apports de l'oued soit optimum. La retenue étant destinée strictement à l'irrigation.

La méthode utilisée est celle du bilan hydrique qui est basée sur les données suivantes:

- Répartition mensuelle de l'évaporation.
- Répartition mensuelle de l'infiltration.
- Répartition mensuelle des apports moyens mensuels.
- Besoin en eau.

### b. Paramètres de base de l'étude de la régularisation :

#### ➤ Apports liquides mensuels :

Compte tenu de l'absence de stations hydrométriques sur l'oued en étude, la répartition mensuelle des débits retenus est celle des précipitations. Les calculs ont été réalisés sur des bases mensuelles.

**Tableau 25 : Les Apports liquides mensuels**

Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Année
<b>Ai%</b>	11,14	13,38	11,36	10,01	11,85	8,58	10,1	7,5	6,47	6,83	0,72	2,11	100%
<b>Ai (10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>)</b>	0,0077	0,0092	0,0078	0,0069	0,0082	0,0059	0,0070	0,0052	0,0045	0,0047	0,0005	0,0015	0,069

➤ **Courbes Hauteur/Surface/Capacité :**

Après les levés topographiques de la surface de la retenue collinaire, On trace la courbe, **Hauteur/Surface/Capacite**a partir de l'équation suivante :

$$\Delta V = \Delta h \times (S1+S2)/2$$

ou : $\Delta V$  : volume partiel de la retenue collinaire.

$\Delta h$  : la hauteur entre  $h_n$ -  $h_{n+1}$  m.

S1 surface partielle 1 (ha). S2 : surface partielle 2 (h).

L'établissement du Plan d'eau en courbe de niveau donne, d'une part les variations des volumes de la retenue en fonction de la cote du Plan d'eau, ce qui permettra de fixer la variation de la retenue normale ; d'autre part la variation de la surface submergée de la retenue en fonction de la cote du Plan d'eau permettra de calculer les pertes par évaporation. Les résultats sont portés dans le tableau 26.

**Tableaux26: Courbe/hauteur/surface volume**

N	Cotes (m)	Surfaces (m2)	Surfaces Moyennes (m2)	Volumes Partiaux (m3)	Volumes Totaux (m3)
1	845	0			
2	846	190	95	95	95
3	847	852	521	521	616
4	848	2115	1483,5	1483,5	2099,5
5	849	3533	2824	2824	4923,5
6	850	5313	4423	4423	9346,5
7	851	7324	6318,5	6318,5	15665
8	852	9326	8325	8325	23990
9	853	12318	10822	10822	34812
10	854	16289	14303,5	14303,5	49115,5
11	855	20497	18393	18393	67508,5

**Figure 3.6 : Courbe Surface Cote**

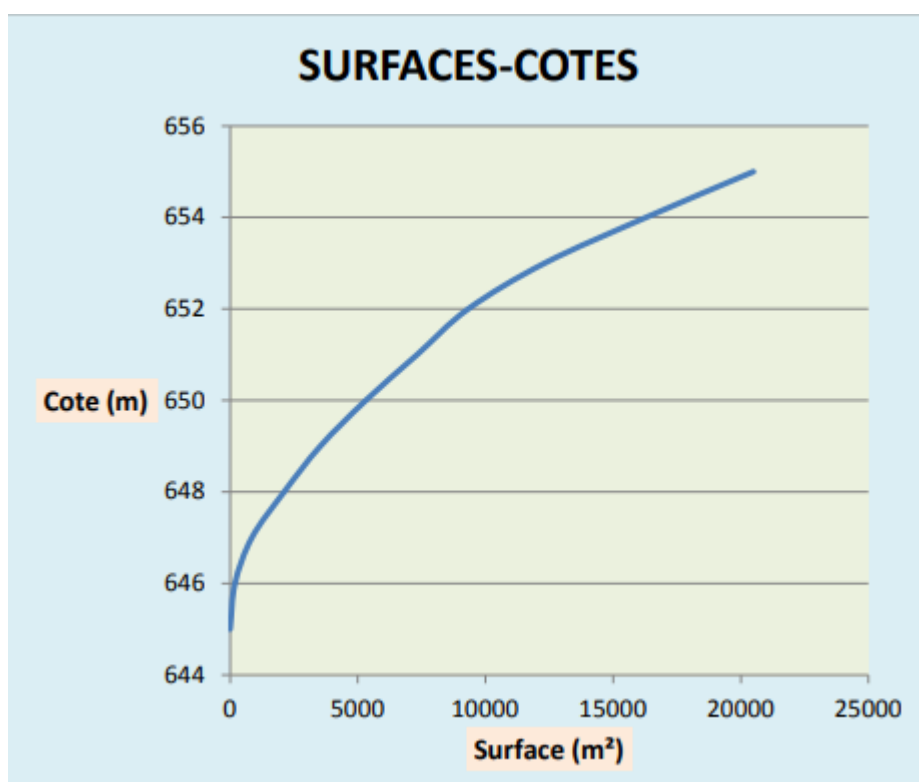
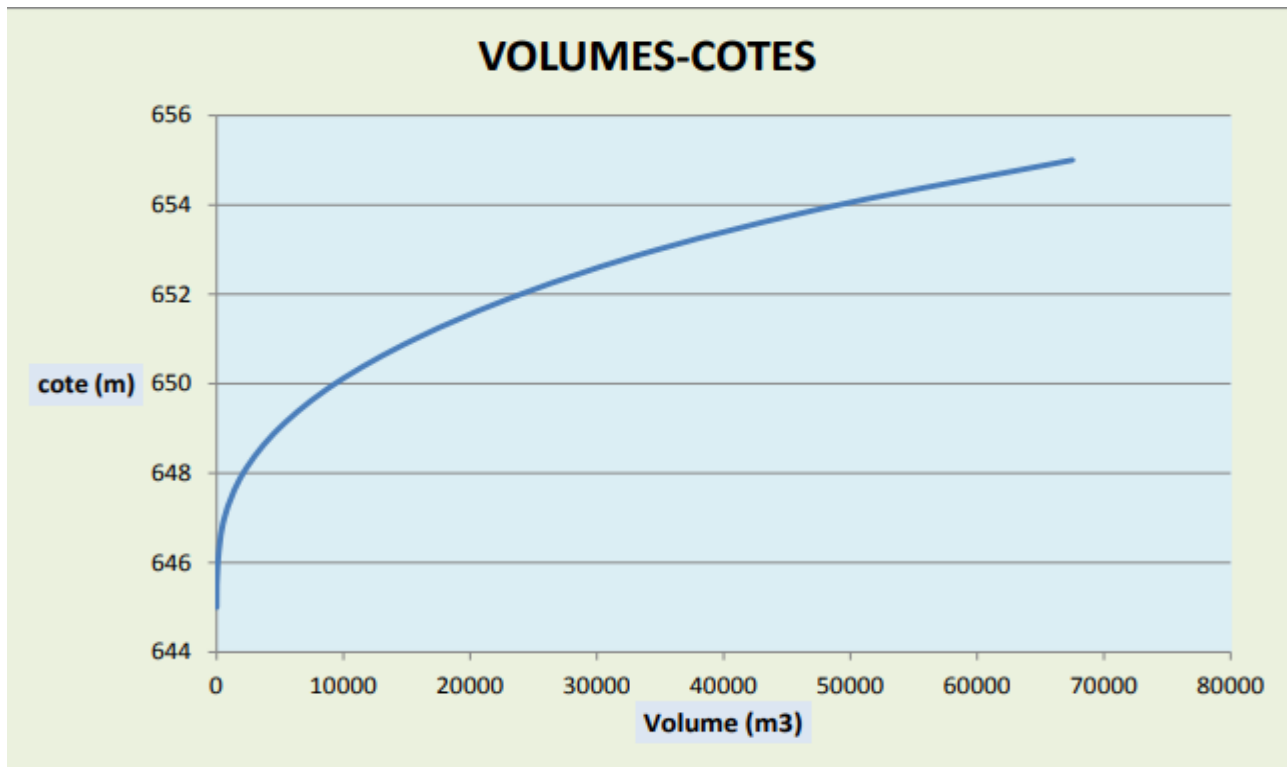


Figure 3.7 : Courbe Volume Cote



### c. L'évapotranspiration :

L'évapotranspiration a été déterminée par la relation en utilisant l'évaporation.

$$ETP \text{ (mm)} = 0.6 * E_{vp} \text{ (mm)} / 0.8 * K$$

K = coefficient de correction mensuel pris dans le tableau N° XII selon la méthode utilisée par L'ANRH (Notice explicative de la carte des évapotranspirations potentielles du nord de l'Algérie : Edition juin 2002). Les résultats de calculs sont résumés dans le tableau suivant :

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Somme
Evapo- ration (mm)	58	67	124	172	210	298	310	270	241	144	87	55	2036
K	0.9	0.85	0.60	0.55	0.55	1	1	1	0.65	0.70	0.85	0.90	
ETP (mm)	48,33	59,12	155	234,55	286,36	223,5	232,5	202,5	278,08	154,29	76,76	45,83	1996,82

Tableau 27: Répartition de l'évapotranspiration

#### d. Estimation des besoins en eau :

Etant donné que le périmètre d'irrigation n'est pas encore défini, nous avons estimé les besoins en eau d'irrigation par le bilan simplifié :

$$\text{Besoin} = \text{ETR} - \text{P}_{\text{utile}} \quad \text{ETR} = K * \text{ETP}$$

La pluie utile est déterminée selon le TAB N° 8 du Bulletin FAO d'irrigation et d'aménagement N°25, Précipitations efficaces (édition FAO 1977)

mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Somme
<b>EVP(mm)</b>	241	144	87	55	58	67	124	172	210	298	310	270	2036
<b>ETP (mm)</b>	278,08	154,29	76,76	45,83	48,33	59,12	155	234,55	286,36	223,5	232,5	202,5	1996,82
<b>Pluie brute (mm)</b>	24,8	29,8	25,3	22	26	19,1	22,5	16,6	14,4	15,2	1,6	4,7	222,7
<b>K</b>	0.65	0.70	0.85	0.90	0.90	0.85	0.60	0.55	0.55	1	1	1	
<b>Pluie utile (mm)</b>	17.9	20.3	15.9	13.4	15.9	12.0	14.6	11.6	10.2	14.9	1.6	4.4	151.2
<b>ETR</b>	180,80	108,00	65,25	41,25	43,50	50,25	93,00	129,00	157,50	223,5	232,5	202,50	1527
<b>Besoins (mm)</b>	162.9	87.7	49.3	27.8	27.6	38.2	78.4	117.4	147.3	208.6	230.9	198.1	1374.3
<b>Besoins (%)</b>	11.9	6.4	3.6	2.0	2.0	2.8	5.7	8.5	10.7	15.2	16.8	14.4	100.0

**Tableau 28: Répartition des Besoins**

#### ❖ Principe de calcul :

La méthode de calcul du bilan hydrique est basée sur la formule suivante:

$$Cr = v_{\text{initial}} + A1 + \sum \text{pertes} \quad \text{Ou: } Cr: \text{capacité de la retenue.}$$

V initial: volume au début du mois. A1: apport mensuel.

$$B1 : \text{besoin mensuel. } \sum \text{pertes} = V_{\text{eva}} + V_{\text{inf}}$$

$$\sum \text{pertes} = V_{\text{eva}} + V_{\text{inf}} + B_i \quad V_{\text{eva}} = \text{Eva} * s$$

Ou: Eva : évaporation en (mm). S : surface du plan d'eau qui correspond au volume initial en m<sup>2</sup>.

Ou: Vt : volume total (39.500 m<sup>3</sup>) Vu : volume utile en m<sup>3</sup> - V<sub>mort</sub> : volume mort m<sup>3</sup>

#### ❖ Résultats et conclusion

Pour l'étude de la régularisation nous avons retenu la cote du niveau normal de la retenue et le volume correspondant suivants:

- ✓ Niveau normal de la retenue: 853,28 m, On opte pour 853,30 m ; NGA
- ✓ Volume au niveau normal: 0,030 hm<sup>3</sup> ;

- ✓ Volume mort: 10.000 m<sup>3</sup> ;
- ✓ Capacité total : 40.000 m<sup>3</sup> ;
- ✓ Volume régularisable : 48.000 m<sup>3</sup>.

Ainsi, la retenue sera dimensionnée pour un apport de fréquence 80% ; Résultats sans tenir compte des pertes.

**TABLEAU D'ÉQUILIBRE ANNUEL**

Mois	Répartition	Apports	Répartition	Besoins	V +	V -
	App. %	m <sup>3</sup>	Bes. %	m <sup>3</sup>	x 10 <sup>6</sup> (m <sup>3</sup> )	x 10 <sup>6</sup> (m <sup>3</sup> )
9	11.1	7659	11.9	8211	0	552
10	13.4	9246	6.4	4416	4830	0
11	11.4	7866	3.6	2484	5382	0
12	10.0	6900	2.0	1380	5520	0
1	11.8	8142	2.0	1380	6762	0
2	8.6	5934	2.8	1932	4002	0
3	10.1	6969	5.7	3933	3036	0
4	7.5	5175	8.5	5865	0	690
5	6.5	4485	10.7	7383	0	2898
6	6.8	4692	15.2	10488	0	5796
7	0.7	483	16.8	11592	0	11109
8	2.1	1449	14.4	9936	0	8487
	100.0	69000	100	69000	29532	29532

<u>Mois</u>	<u>Apports</u> <u>m3</u>	<u>Besoins</u> <u>%</u>	<u>Besoins</u> <u>m3</u>	<u>Evaporation</u>	<u>DV (+)</u> <u>m3</u>	<u>DV (-)</u> <u>m3</u>	<u>Vol 1er</u>	<u>V fin mois</u> <u>m3</u>	<u>Vol moy</u> <u>m3</u>
				<u>(mm)</u> <u>mm</u>			<u>mois</u> <u>m3</u>		
Sept	7659	11,9	5712	241	1947	0	<b>10000</b>	11947	10974
Oct	9246	6,4	3072	144	6174	0	11947	18121	15034
Nov	7866	3,6	1728	87	6138	0	18121	24259	21190
Dec	6900	2	960	55	5940	0	24259	26299	25279
Jan	8142	2	960	58	7182	0	26299	26299	26299
Fev	5934	2,8	1344	67	4590	0	26299	26299	26299
Mars	6969	5,7	2736	124	4233	0	26299	26299	26299
Avril	5175	8,5	4080	172	1095	0	26299	26299	26299
Mai	4485	10,7	5136	210	0	651	26299	25648	25974
Juin	4692	15,2	7296	298	0	2604	25648	23044	24346
Juil	483	16,8	8064	310	0	7581	23044	15463	19254
Aout	1449	14,4	6912	270	0	5463	15463	<b>10000</b>	12732

**Total**                      **69000**                      **100**                      **48000**                      **2036**                      **37299**                      **16299**

V mort                      **10000**  
V utile                      **16299**  
V total                      **26299**

<u>surfacemoy</u> <u>m2</u>	<u>Perte inf</u> <u>m3</u>	<u>Perte evap</u> <u>m3</u>	<u>Perte tot</u> <u>m3</u>	<u>Besoin 1</u> <u>m3</u>	<u>DV (+)</u> <u>m3</u>	<u>DV(-)</u> <u>m3</u>	<u>Vol 1er</u> <u>mois</u> <u>m3</u>	<u>V fin mois</u> <u>m3</u>	<u>Vol moy</u> <u>m3</u>
5841	55	1408	1463	7175	484	0	<b>10000</b>	10484	10242
7133	75	1027	1102	4174	5072	0	10484	15556	13020
8660	106	753	859	2587	5279	0	15556	20835	18195
9691	126	533	659	1619	5281	0	20835	26115	23475
9973	131	578	710	1670	6472	0	26115	32587	29351
9973	131	668	800	2144	3790	0	32587	36378	34483
9973	131	1237	1368	4104	2865	0	36378	36617	36498
9973	131	1715	1847	5927	0	752	36617	35866	36241
9883	130	2075	2205	7341	0	2856	35866	33009	34437
9433	122	2811	2933	10229	0	5537	33009	27472	30241
8195	96	2540	2637	10701	0	10218	27472	17255	22364
6400	64	1728	1792	8704	0	7255	17255	<b>10000</b>	13627

1299,9      17075,0      18374,9      66374,9      29242,5      26617,4

V mort                      **10000**  
V utile                        **26617,4**  
V total                        **36617,4**

Er (%)                        **63,31**

<u>surfacedoy</u> <u>m2</u>	<u>Perte inf</u> <u>m3</u>	<u>Perte evap</u> <u>m3</u>	<u>Perte tot</u> <u>m3</u>	<u>Besoin 2</u> <u>m3</u>	<u>DV (+)</u> <u>m3</u>	<u>DV (-)</u> <u>m3</u>	<u>Vol 1er</u> <u>mois</u> <u>m3</u>	<u>V fin mois</u> <u>m3</u>	<u>Vol moy</u> <u>m3</u>
5608	51	1352	1403	7115	544	0	10000	10544	10272
6492	65	935	1000	4072	5174	0	10544	15718	13131
7940	91	691	782	2510	5356	0	15718	21074	18396
9210	117	507	624	1584	5316	0	21074	26391	23732
10817	147	627	774	1734	6408	0	26391	32798	29594
12236	172	820	992	2336	3598	0	32798	36396	34597
12795	182	1587	1769	4505	2464	0	36396	38518	37457
12724	181	2188	2370	6450	0	1275	38518	37243	37881
12223	172	2567	2739	7875	0	3390	37243	33853	35548
11063	151	3297	3448	10744	0	6052	33853	27801	30827
8942	112	2772	2884	10948	0	10465	27801	17336	22569
6686	68	1805	1873	8785	0	7336	17336	10000	13668

1510,9      19146,9      20657,8      68657,8      28860,2      28517,9

V mort              10000  
V utile              28517,9  
V total              38517,9  
  
Er (%)              7,14

<u>surfacemoy</u>	<u>Perte inf</u>	<u>Perte evap</u>	<u>Perte tot</u>	<u>Besoin 2</u>	<u>DV (+)</u>	<u>DV(-)</u>	<u>Vol 1er</u>	<u>V fin mois</u>	<u>Rejet</u>
<u>m2</u>	<u>m3</u>	<u>m3</u>	<u>m3</u>	<u>m3</u>	<u>m3</u>	<u>m3</u>	<u>m3</u>	<u>m3</u>	<u>m3</u>
5618	51	1354	1405	7117	542	0	<b>10000</b>	10542	0
6528	66	940	1006	4078	5168	0	10542	15710	0
7988	92	695	787	2515	5351	0	15710	21061	0
9272	119	510	629	1589	5311	0	21061	26373	0
10884	148	631	779	1739	6403	0	26373	32775	0
12267	173	822	995	2339	3595	0	32775	36370	0
13061	187	1620	1807	4543	2426	0	36370	38746	51
13179	189	2267	2456	6536	0	1361	38746	37385	0
12531	178	2632	2809	7945	0	3460	37385	33924	0
11225	154	3345	3499	10795	0	6103	33924	27821	0
8992	113	2787	2900	10964	0	10481	27821	17340	0
6699	68	1809	1877	8789	0	7340	17340	<b>10000</b>	0

**1538,4    19411,0    20949,4    68949,4    28796,5    28745,9    50,6**

**V mort            10000**

**V utile            28745,9**

**V total            38745,9**

**COTE = 853,28 m**

**Er (%)            0,80**

- ❖ Pertes: 21000 m<sup>3</sup> ;
- ❖ Volume barrage: 40000m<sup>3</sup>
- ❖ Surface inondable: 13700m<sup>2</sup>
- ❖ Cote N.N.R. : 853,30 m
- ❖ Légende :1: Mois
- ❖ App. : Apport mensuel (%)
- ❖ App. : Apport mensuel (m<sup>3</sup>) 4 : Bes. : Besoin mensuel (%) 5 : Bes. : Besoin mensuel (m<sup>3</sup>)
- ❖ V + : Apport – Besoin (+)(m<sup>3</sup>)
- ❖ V - : Apport – Besoin (-) (déficit)(m<sup>3</sup>)
- ❖ V ini : Volume au début du mois = Volume à la fin du mois précédent (m<sup>3</sup>) ,(Septembre = Volume mort)
- ❖ V moy: Volume moyen du mois = Volume au début du mois+ 1/2 (Apport –besoins) (m<sup>3</sup>)
- ❖ S moy : Surface du plan d'eau moyenne du mois(m<sup>2</sup>)
- ❖ V fin : Volume à la fin du mois = Volume au début du mois + Apport – Besoins – Pertes(m<sup>3</sup>)
- ❖ Z eva. : La lame évaporée(mm)
- ❖ P ev. : Pertes par évaporation mensuel = Z ev. X Surfaces du plan d'eau moyenne du mois(m<sup>3</sup>)
- ❖ P inf : Pertes par infiltration mensuelle (majorée à 1 % du volume moyen mensuel de la retenue) (m<sup>3</sup>)
- ❖ Pertes : Pertes totale mensuelle = P ev. + P inf (m<sup>3</sup>) 16 : Rejet : l'excès d'eau (m<sup>3</sup>)
- ❖ Vol. Reg. : Volume régularisé : Volume donné par la retenue : 45800 m<sup>3</sup>Surf.  
A irrig. : Surface à irriguée par la retenue = Vol. Reg./ 5000 = 9 Hectares.Le volume régularisé représente 46 % des apports moyens du bassin versant.

#### **e. Etude de laminage des crues :**

Après l'identification des crues et la définition de leurs paramètres représentatifs, nous décrivons à présent les conditions hydrologiques de l'amortissement des crues et en particulier l'effet de laminage engendré par la retenue qui réduit le volume et la pointe des débits instantanés déversés par l'évacuateur.

La définition de la longueur définitive de l'évacuateur de crue est un problème en relation avec l'avant projet. De ce fait, l'étude du laminage de crue a été réalisée pour des valeurs variables de longueurs du déversoir.

## 1. Paramètres utilisés dans le calcul de laminage :

### 1.1 Paramètres de la courbe Hauteur/surface/capacité :

$$H(T) = (\sqrt{b(T)/w_x})^{w_x}$$

Relation qui rend compte d'une courbe parabolique.

Ou bien

$$H_b(T) = V * K + A ; \text{ Relation qui rend compte d'une droite linéaire.}$$

Cette dernière relation a été prise en considération dans le calcul du laminage des crues. car au delà de la cote 882,50 m, la courbe devient approximativement linéaire.

### 1.2. Type de déversoir :

Le déversoir considéré est du type droit avec un coefficient de débit égal à 0,49. L'expression du débit sortant est exprimée par la relation suivante:

$$Q(T) = M_d * \sqrt{2g} * B * [H(T) - H_{crit}]^{3/2}$$

Avec :

B : longueur du déversoir, m

H crête : cote du seuil du déversoir, m NGA

H(T): variation de la lame d'eau au dessus du seuil du déversoir, m

NGA Q(t) : variation du débit laminaire, m<sup>3</sup>/s.

## f. CONCLUSION :

Le laminage de crues est effectuée en considérant la cote du niveau normal de retenue soit

**NNR = 853,30 m , NGA** et un volume correspondant de VNNR 0,040 Hm<sup>3</sup> Par ailleurs, la hauteur maximale des hautes eaux prise en compte est de 854,07 m, NGA, cote correspondant à la crête de la retenue est 854,30.

Les calculs proprement dits ont été réalisés sur ordinateur et les résultats de laminage de crues pour des longueurs de déversoir considérées sont présents dans les tableaux qui suivent (annexes). L'étude du laminage fait apparaître un effet de laminage faible en égard à la capacité de la retenue. En effet, si nous prenons une longueur de déversoir b=30m, la crue centennale (Q= 16,04 m<sup>3</sup>/s) est réduite par effet de laminage à un débit de 14,56 m<sup>3</sup>/s soit une efficacité de laminage de 9,23 %. Les résultats de laminage des crues pour la longueur b=10 m dans le tableau suivant :

Temps 1(h)	Temps 2(h)	Q ent1 m3/s	Qent2 m3/s	Q entmoy m3/s	Vol ent m3	V bar 1 m3	H1 dev m	Q1 dev m3/s	V1 sort m3	V bar 2 m3	Cote eau m	H2 dev m	Q2 dev m3/s	Q moy dev m3/s	Vol sort m3	V bar 3 m3	Cote eau m
0,00	0,10	0,00	0,04	0,02	6,9	40000,0	0,00	0,00	0,0	40006,9	853,37	0,07	0,36	0,18	65,4	39941,6	853,36
0,10	0,20	0,04	0,15	0,10	34,7	39941,6	0,06	0,33	117,3	39859,0	853,36	0,06	0,28	0,30	109,1	39867,2	853,36
0,20	0,30	0,15	0,35	0,25	90,2	39867,2	0,06	0,28	102,5	39854,8	853,35	0,05	0,28	0,28	101,3	39856,0	853,35
0,30	0,40	0,35	0,62	0,48	173,4	39856,0	0,05	0,28	100,4	39929,1	853,36	0,06	0,32	0,30	107,6	39921,9	853,36
0,40	0,50	0,62	0,96	0,79	284,4	39921,9	0,06	0,31	113,3	40093,0	853,37	0,07	0,41	0,36	131,2	40075,1	853,37
0,50	0,60	0,96	1,39	1,18	423,2	40075,1	0,07	0,40	145,2	40353,1	853,39	0,09	0,58	0,49	177,4	40320,9	853,39
0,60	0,70	1,39	1,89	1,64	589,7	40320,9	0,09	0,56	201,7	40708,9	853,41	0,11	0,84	0,70	252,2	40658,4	853,41
0,70	0,80	1,89	2,47	2,18	784,0	40658,4	0,11	0,80	288,8	41153,6	853,45	0,15	1,21	1,00	361,4	41081,0	853,44
0,80	0,90	2,47	3,12	2,79	1006,0	41081,0	0,14	1,14	411,5	41675,5	853,48	0,18	1,69	1,41	509,2	41577,7	853,48
0,90	1,00	3,12	3,85	3,49	1255,7	41577,7	0,18	1,59	573,1	42260,3	853,52	0,22	2,28	1,94	697,8	42135,6	853,51
1,00	1,10	3,85	4,66	4,26	1533,2	42135,6	0,21	2,15	774,8	42894,1	853,57	0,27	3,00	2,58	927,2	42741,7	853,56
1,10	1,20	4,66	5,55	5,11	1838,5	42741,7	0,26	2,82	1015,6	43564,6	853,61	0,31	3,82	3,32	1195,7	43384,5	853,60
1,20	1,30	5,55	6,51	6,03	2171,5	43384,5	0,30	3,59	1293,8	44262,2	853,66	0,36	4,75	4,17	1501,0	44055,0	853,65
1,30	1,40	6,51	7,55	7,03	2532,3	44055,0	0,35	4,46	1607,0	44980,3	853,71	0,41	5,76	5,11	1840,8	44746,5	853,70
1,40	1,50	7,55	8,67	8,11	2920,8	44746,5	0,40	5,42	1952,7	45714,5	853,76	0,46	6,87	6,15	2212,9	45454,3	853,75
1,50	1,60	8,67	9,87	9,27	3337,0	45454,3	0,45	6,47	2329,3	46462,1	853,82	0,52	8,06	7,27	2615,7	46175,7	853,80
1,60	1,70	9,87	11,14	10,50	3781,1	46175,7	0,50	7,60	2735,1	47221,7	853,87	0,57	9,34	8,47	3047,9	46908,8	853,85
1,70	1,80	11,14	12,49	11,81	4252,8	46908,8	0,55	8,80	3169,2	47992,5	853,92	0,62	10,69	9,75	3508,9	47652,7	853,90
1,80	1,90	12,49	13,91	13,20	4752,3	47652,7	0,60	10,09	3630,9	48774,1	853,98	0,68	12,13	11,11	3998,2	48406,9	853,95
1,90	2,00	13,91	15,42	14,67	5279,6	48406,9	0,65	11,44	4119,9	49566,5	854,03	0,73	13,43	12,44	4477,9	49208,6	854,01
2,00	2,04	15,42	16,04	15,73	2264,9	49208,6	0,71	12,90	1857,1	49616,4	854,03	0,73	13,51	13,20	1901,1	49572,4	854,03
2,04	2,14	16,04	14,89	15,46	5567,3	49572,4	0,73	13,44	4839,0	50300,6	854,07	<u>0,77</u>	<u>14,56</u>	14,00	5039,5	50100,2	854,06
2,14	2,24	14,89	13,79	14,34	5163,2	50100,2	0,76	14,25	5128,5	50134,8	854,06	0,76	14,30	14,27	5138,1	50125,2	854,06
2,24	2,34	13,79	12,76	13,28	4779,1	50125,2	<u>0,76</u>	<u>14,28</u>	5142,4	49761,9	854,04	0,74	13,73	14,01	5042,4	49862,0	854,04
2,34	2,44	12,76	11,77	12,26	4414,6	49862,0	0,74	13,88	4997,1	49279,4	854,01	0,71	13,00	13,44	4838,9	49437,6	854,02
2,44	2,54	11,77	10,84	11,30	4069,1	49437,6	0,72	13,24	4766,0	48740,6	853,98	0,68	12,06	12,65	4554,4	48952,2	853,99
2,54	2,64	10,84	9,95	10,39	3742,1	48952,2	0,69	12,46	4486,2	48208,1	853,94	0,64	11,08	11,77	4237,6	48456,7	853,96
2,64	2,74	9,95	9,12	9,54	3433,1	48456,7	0,66	11,54	4152,9	47736,8	853,91	0,61	10,23	10,89	3918,7	47971,1	853,92

2,74	2,84	9,12	8,33	8,73	3141,6	47971,1	0,62	10,65	3834,8	47277,8	853,87	0,57	9,43	10,04	3615,2	47497,5	853,89
2,84	2,94	8,33	7,59	7,96	2867,1	47497,5	0,59	9,81	3532,8	46831,8	853,84	0,54	8,67	9,24	3327,7	47036,9	853,86
2,94	3,04	7,59	6,90	7,25	2609,1	47036,9	0,56	9,02	3247,2	46398,8	853,81	0,51	7,96	8,49	3056,0	46590,0	853,83
3,04	3,14	6,90	6,25	6,58	2367,1	46590,0	0,53	8,27	2977,7	45979,3	853,78	0,48	7,28	7,78	2800,1	46156,9	853,80
3,14	3,24	6,25	5,64	5,95	2140,5	46156,9	0,50	7,57	2724,2	45573,2	853,75	0,45	6,65	7,11	2559,4	45738,0	853,77
3,24	3,34	5,64	5,07	5,36	1928,8	45738,0	0,47	6,91	2486,2	45180,6	853,73	0,43	6,06	6,48	2333,6	45333,2	853,74
3,34	3,44	5,07	4,55	4,81	1731,6	45333,2	0,44	6,29	2263,3	44801,5	853,70	0,40	5,50	5,90	2122,2	44942,6	853,71
3,44	3,54	4,55	4,06	4,30	1548,3	44942,6	0,41	5,71	2054,8	44436,1	853,68	0,38	4,99	5,35	1924,8	44566,1	853,68
3,54	3,64	4,06	3,60	3,83	1378,5	44566,1	0,38	5,17	1860,4	44084,2	853,65	0,35	4,50	4,84	1740,7	44203,8	853,66
3,64	3,74	3,60	3,18	3,39	1221,5	44203,8	0,36	4,67	1679,5	43745,9	853,63	0,33	4,05	4,36	1569,6	43855,7	853,63
3,74	3,84	3,18	2,80	2,99	1076,9	43855,7	0,33	4,20	1511,5	43421,1	853,60	0,30	3,64	3,92	1410,9	43521,7	853,61
3,84	3,94	2,80	2,45	2,62	944,3	43521,7	0,31	3,77	1356,1	43110,0	853,58	0,28	3,26	3,51	1264,2	43201,8	853,59
3,94	4,04	2,45	2,13	2,29	823,0	43201,8	0,29	3,37	1212,5	42812,3	853,56	0,26	2,90	3,14	1128,8	42896,0	853,57
4,04	4,14	2,13	1,83	1,98	712,5	42896,0	0,27	3,00	1080,4	42528,2	853,54	0,24	2,58	2,79	1004,3	42604,2	853,55
4,14	4,24	1,83	1,57	1,70	612,5	42604,2	0,25	2,66	959,1	42257,6	853,52	0,22	2,28	2,47	890,3	42326,4	853,53
4,24	4,34	1,57	1,33	1,45	522,2	42326,4	0,23	2,36	848,2	42000,4	853,50	0,20	2,01	2,18	786,1	42062,5	853,51
4,34	4,44	1,33	1,12	1,23	441,3	42062,5	0,21	2,08	747,2	41756,6	853,49	0,19	1,77	1,92	691,4	41812,4	853,49
4,44	4,54	1,12	0,93	1,03	369,2	41812,4	0,19	1,82	655,5	41526,2	853,47	0,17	1,54	1,68	605,5	41576,2	853,48
4,54	4,64	0,93	0,77	0,85	305,5	41576,2	0,18	1,59	572,6	41309,1	853,46	0,16	1,34	1,47	528,0	41353,6	853,46
4,64	4,74	0,77	0,62	0,69	249,5	41353,6	0,16	1,38	498,0	41105,1	853,44	0,14	1,16	1,27	458,5	41144,7	853,44
4,74	4,84	0,62	0,50	0,56	200,9	41144,7	0,14	1,20	431,2	40914,4	853,43	0,13	1,00	1,10	396,3	40949,3	853,43
4,84	4,94	0,50	0,39	0,44	159,0	40949,3	0,13	1,03	371,7	40736,6	853,42	0,12	0,86	0,95	341,0	40767,2	853,42
4,94	5,04	0,39	0,30	0,34	123,4	40767,2	0,12	0,89	319,0	40571,6	853,40	0,10	0,74	0,81	292,2	40598,4	853,41
5,04	5,14	0,30	0,22	0,26	93,6	40598,4	0,11	0,76	272,6	40419,4	853,39	0,09	0,63	0,69	249,3	40442,7	853,40
5,14	5,24	0,22	0,16	0,19	69,0	40442,7	0,10	0,64	231,9	40279,7	853,38	0,08	0,53	0,59	211,9	40299,8	853,39
5,24	5,34	0,16	0,11	0,14	49,1	40299,8	0,09	0,55	196,6	40152,3	853,38	0,08	0,45	0,50	179,5	40169,4	853,38
5,34	5,44	0,11	0,07	0,09	33,5	40169,4	0,08	0,46	166,2	40036,8	853,37	0,07	0,38	0,42	151,6	40051,4	853,37
5,44	5,54	0,07	0,05	0,06	21,7	40051,4	0,07	0,39	140,1	39932,9	853,36	0,06	0,32	0,36	127,8	39945,2	853,36
5,54	5,64	0,05	0,03	0,04	13,0	39945,2	0,06	0,33	118,0	39840,2	853,35	0,05	0,27	0,30	107,7	39850,5	853,35
5,64	5,74	0,03	0,01	0,02	7,0	39850,5	0,05	0,28	99,3	39758,2	853,35	0,05	0,23	0,25	90,8	39766,8	853,35
5,74	5,84	0,01	0,01	0,01	3,3	39766,8	0,05	0,23	83,8	39686,3	853,34	0,04	0,19	0,21	76,7	39693,3	853,34
5,84	5,94	0,01	0,00	0,00	1,2	39693,3	0,04	0,20	70,8	39623,7	853,34	0,04	0,16	0,18	65,1	39629,5	853,34

## 7) Conclusion:

La retenue collinaire SIDI ALI ayant les coordonnées Lamberd suivantes :

**X : 751950**

**Y : 3911180**

**Z : 845 m**

Est située à l'exutoire du bassin versant de la retenue citée auparavant. Ce bassin versant est d'une surface de 5,06 km<sup>2</sup> et d'un périmètre de 11,86km. Il est caractérisé par des précipitations annuelles moyennes de 222 mm, d'où un apport moyen annuel de l'ordre de 0,10 Hm<sup>3</sup>.

Il est caractérisé aussi par un relief de pente assez fort, par une absence de la couverture végétale d'où un taux d'abrasion considérable, pour un taux d'abrasion de 250 T/km<sup>2</sup>/an, le volume mort est de l'ordre de 10000 m<sup>3</sup>.

La crue du projet (centennale) est de l'ordre de : 16,04 m<sup>3</sup>/s, elle se réduit après le laminage par un déversoir d'une largeur de 10 m à 15,06 m<sup>3</sup>/s (laminage de 6,1%) La retenue collinaire projetée est caractérisée par :

- \*Une capacité de 40000m<sup>3</sup>.
- \*Une hauteur jusqu'au niveau normal de 7,00m.
- \*Une hauteur totale de la digue de 8,00m.
- \*Un volume régularisé de 48000m<sup>3</sup>.
- \*Un volume utile de 39000m<sup>3</sup>.
- \*Efficience hydrologique 70 %
- \*Un volume mort de 10000m<sup>3</sup>.
- \*Cote Volume mort : 850,20m.
- \*Cote N.N.R. : 853,30 m.
- \*Cote de la crête : 854,30m.
- \*Cote de la paroi de protection : 855,10 m.
- \*Largeur de l'évacuateur de crue est 10 m.
- \*La lame déversée est 0,77 m.

La retenue projetée est jugée du point de vue hydrologique faisable.

# CHAPITRE4

## Dimensionnement et stabilité

### (Barrage à Contreforts)



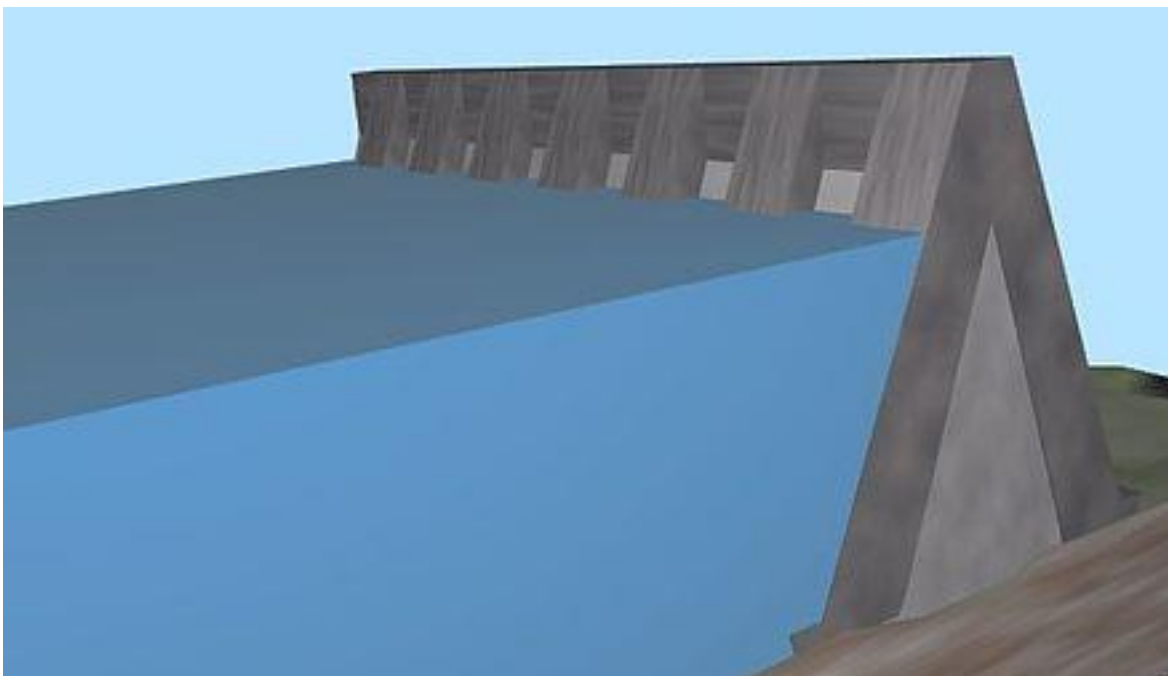
FIN DES TRAVAUX D'EXCAVATION  
(BARRAGEVOÛTE MINCE D'OUED  
THAT WILAYA DE MASCARA).

## IV-1.INTRODUCTION:

On dit qu'un barrage est stable s'il respecte les conditions nécessaires pour pouvoir réagir à toutes les pressions qui s'exercent sur lui : Les sollicitations sont dues à la pression hydrostatique (poussé de l'eau et de crue), Pression des dépôts de sédiment, Sous pression, et au poids propre du barrage. En recherchant la stabilité d'un barrage ,on doit vérifier les aspects suivants :

- stabilité générale au glissement,
- stabilité générale au renversement,
- stabilité concernant les contraintes internes.

On peut vérifier les deux premiers aspects à partir de la mécanique statique et de principe de base de la dynamique. Mais pour le dernier aspect, on a besoin d'utiliser les calculs de résistances des matériaux relatifs aux calculs des contraintes et aux critères de défaillances pour pouvoir localiser les zones critiques et aussi de connaître la méthode. Selon les règlements de construction de barrage, lorsque le rapport entre la distance de deux éléments (contreforts) et l'épaisseur de contrefort est inférieur à 2 ,la vérification à la stabilité se fait comme celle des barrages poids.



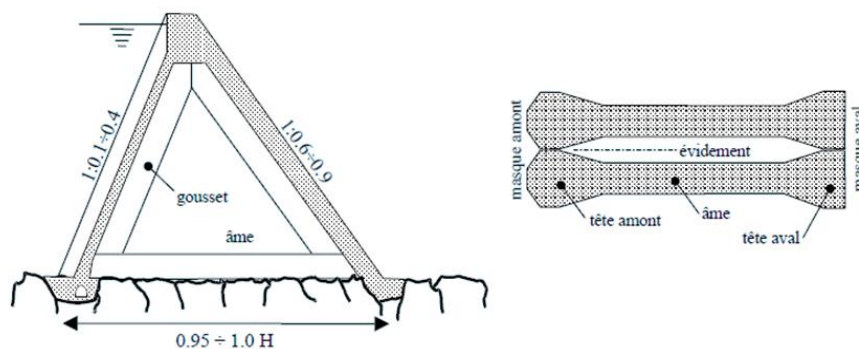
## IV-2.DÉFINITION :

Les inconvénients majeurs des barrages poids massifs sont :

- Le volume du béton est important, peut solliciter et les qualités de résistance du béton sont mal employées. Les contraintes réelles sont très inférieures aux contraintes admissibles dans le béton.
- Les sous-pressions sont importantes, elles jouent un rôle très important dans la stabilité du barrage, car les drains risquent de se boucher.
- Changement important de l'état de contraintes dans la fondation entre lac vide et plein (amplification de la déformation du rocher).
- Accumulation importante de chaleur dans le massif de béton (refroidissement artificiel du béton est nécessaire). Dans le but d'économie du béton, on peut alléger le barrage par des puits ou par des évidements, disposés en général à cheval sur des joints de contraction. L'économie du matériau peut être de l'ordre de  $\frac{1}{4}$  du volume du barrage gravité correspondant.

Ce type de barrage (barrage poids à joints évidés) est caractérisé par :

- ✓ Moins de béton ;
- ✓ Refroidissement plus aisé ;
- ✓ Drainage plus facile (réduction des sous pressions)
- ✓ Stabilité réduite (moins de poids) ;
- ✓ Plus de coffrage ;
- ✓ Renforcement du noyau évidé par les étrésillons ;
- ✓ La stabilité du barrage devient critique.



**Figure 4-1 : Dispositions générales d'un barrage poids évidés**

A la limite, un barrage poids évidé conduit au barrage à contreforts qui peut ne nécessiter qu'un volume de matériau égal à  $\frac{1}{6}$  à  $\frac{1}{10}$  du volume du barrage gravité.

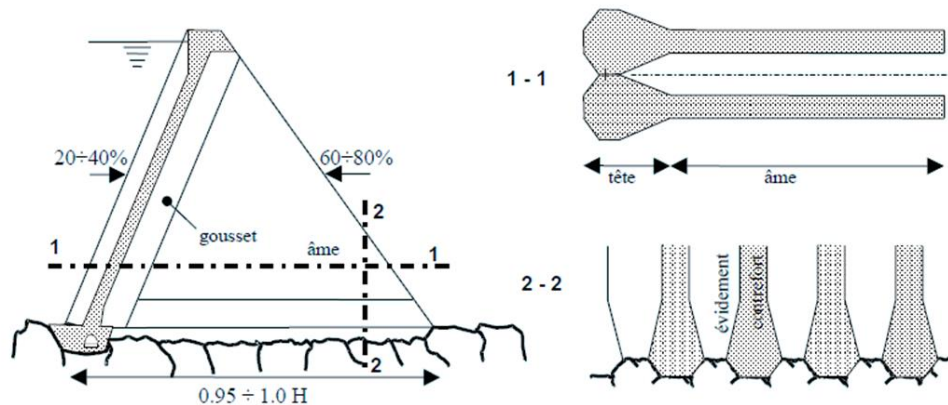
Ce type de barrage est caractérisé par :

- Le centre de gravité est déplacé vers l'amont.
- La base du barrage est plus large et ouverte à l'aval pour assurer le drainage.

- Composante verticale de la poussée de l'eau est importante.
- Faibles sous-pressions (drainage libre et surface faible)
- Dégagement aisé de la chaleur.
- Surface de coffrage importante
- Stabilité latérale en cas de seisme.
- Fondation difficile des contreforts aux flancs de la vallée.

En résumé, Les barrages à contreforts sont conçus pour les raisons d'améliorer la stabilité.

Ce sont des grands murs en béton formés par des membranes imperméables soutenues par des contreforts perpendiculaires à l'axe du barrage en laissant des évidements, ces derniers (les contreforts) sont relativement minces, conduisent les efforts jusqu'aux fondations. Les barrages à contreforts sont bien adaptés aux vallées larges avec une fondation rocheuse de bonne qualité.



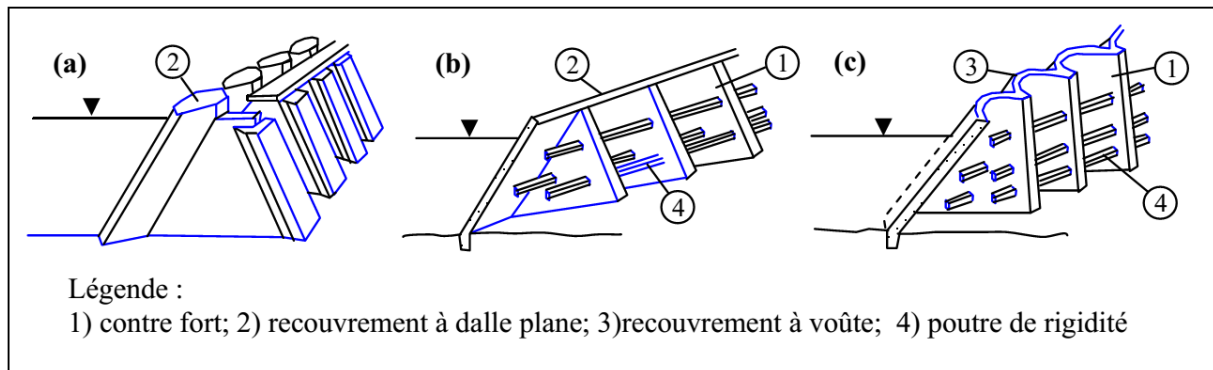
**Figure 4-2 : Dispositions générales d'un barrage à contreforts**

### IV-3. TYPE DE BARRAGES À CONTREFORTS :

Bien qu'il existe plusieurs types de barrages à contreforts (poids évidé ou cellulaire, à dalle,...etc.), les deux plus importants sont les murs plats (flat-slab) et les voûtes multiples (multiple -arch). Dans les premiers, la membrane supportant l'eau est une plaque plane et continue en Béton Armé, s'étalant le long des contreforts (plots séparés dont la section horizontale a la forme d'une poutre en **I** ou en **T** et dont la tête est cylindrique ou prismatique). Dans les seconds, la membrane est faite d'une série de voûtes elles aussi en Béton Armé (Figure IV-3). Les barrages à contreforts en voûtes nécessitent moins d'Armature en acier et peuvent couvrir des distances plus longues entre contreforts. Mais leurs travaux de coffrages sont plus coûteux.

Actuellement, ce sont les barrages à contreforts à tête prismatique qui sont les plus utilisés. Leur face amont est en général incliné de près de 45°. Cette inclinaison induit une forte

composante verticale de la poussée hydrostatique et elle est nécessaire pour augmenter la stabilité de l'ouvrage au glissement et au renversement.



**Figure 4-3 : Barrage à contrefort**

**a) à dalle courbée ;**

**b) à dalle plane ;**

**c) à voûte multiple.**

Comme les autres barrages, le barrage à contreforts doit assurer deux fonctions :

l'étanchéité et la stabilité

Ils sont constitués d'une : Le voile en amont assure l'étanchéité et les contreforts assurent la stabilité, le voile peut être de conception variable :

- a) Solidaire des contreforts avec parement amont plan, le voile travaille comme console courte.
- b) Constituée d'une dalle posée aux extrémités sur les têtes des contreforts, le voile travaille en flexion comme une poutre.
- c) Solidaire des contreforts avec parement amont cylindrique, la forme facilite la transmission de la poussée au contrefort.
- d) Constitué d'une voûte de faible portée.

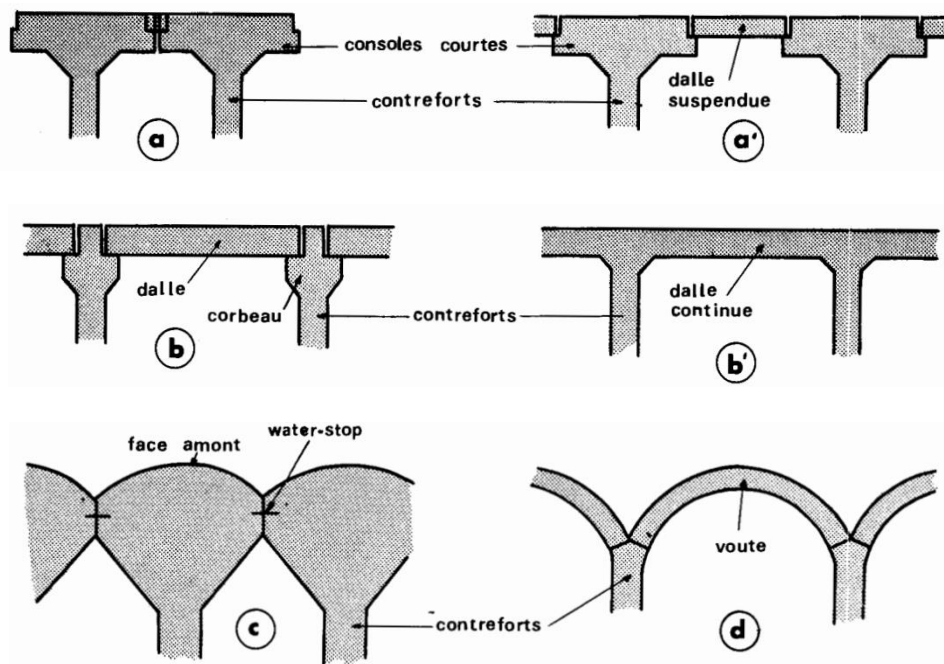


Figure 4-4 : Différents types des voiles des barrages à contreforts

## IV-4. Mode de calcul - Étude de Stabilité :

### IV-4.1. Forces Agissantes :

Les forces agissants sur un barrage à contreforts sont les mêmes que celles agissant sur un barrage poids. Cependant, l'action verticale de l'eau est beaucoup plus importante sur un barrage à contreforts, et les forces de soulèvement y sont plus faibles. Les modes de rupture sont eux aussi les mêmes, mais la conception des structures est beaucoup plus difficile. Bien que les barrages à contreforts nécessitent en général moins que la moitié du volume de béton requis par les barrages poids, ils ne sont pas nécessairement moins coûteux à cause de l'importance des travaux de coffrage et des importantes quantités d'aciers d'armatures requises. Avec la croissance rapide du coût de main d'œuvre de ces dernières décennies, les barrages à contreforts ont beaucoup perdu de leur popularité de jadis. Les diagrammes des principales forces agissant sur un barrage poids massif, sur un barrage à contrefort à parement amont vertical et sur un barrage à contrefort à parement amont incliné sont :

#### ➤ Barrage poids massif :

Sur le diagramme des principales forces agissant sur un barrage poids massif (Fig. IV-5 a), on constate qu'une partie du poids  $P_1$  sert à équilibrer les sous-pressions  $S_1$ . Puisque  $S_1 = 0$ , il faut augmenter le poids  $P_1$  jusqu'à ce que, à la limite, la résultante  $R$  passe par le point  $C$  (limite du tiers central de la base).

➤ - **Barrage à contrefort à parement amont vertical :**

Supposons maintenant un barrage à contrefort à parement amont vertical et dont la largeur de base est la même que celle du barrage poids (Fig. IV-5 b). Comme la résultante des sous-pressions est nulle ( $S_2 = 0$ ), on gagne l'équivalent de  $S_1$  en poids en béton et l'épaisseur est inférieure à celle du barrage poids massif ( $B_2 < B_1$ ).

➤ - **Barrage à contrefort à parement amont incliné :**

On diminue l'épaisseur ( $B_3 < B_2 < B_1$ ) et on augmente la largeur de base ( $b_3 > b_2 = b_1$ ) : ce qu'on gagne en épaisseur  $B$ , on le perd en largeur de base  $b$  (Fig. IV-5 c). On a :

$$P_3 = P_1 - S_1 - V$$

Les deux principales conséquences sont alors la suppression des sous-pressions et l'intervention d'une forte composante verticale ( $V$ ) de la pression hydrostatique.

En conclusion, on adopte le type de pile suivant (Fig. IV-6). La zone où il y'a des sous-pressions est nettement plus réduite que pour un barrage poids massif et il n'existe pas des liaisons mécaniques entre les différents contreforts. S'il existe un problème de séisme, on place des joints entre lesquels on injecte. Dans tous les cas, il faut prévoir les forages drainants qui mettent les couches profondes en contact avec la surface pour réduire les sous-pressions.

a) Barrage poids    b) Barrage à contrefort à parement amont vertical    c) Barrage à contrefort à parement amont incliné

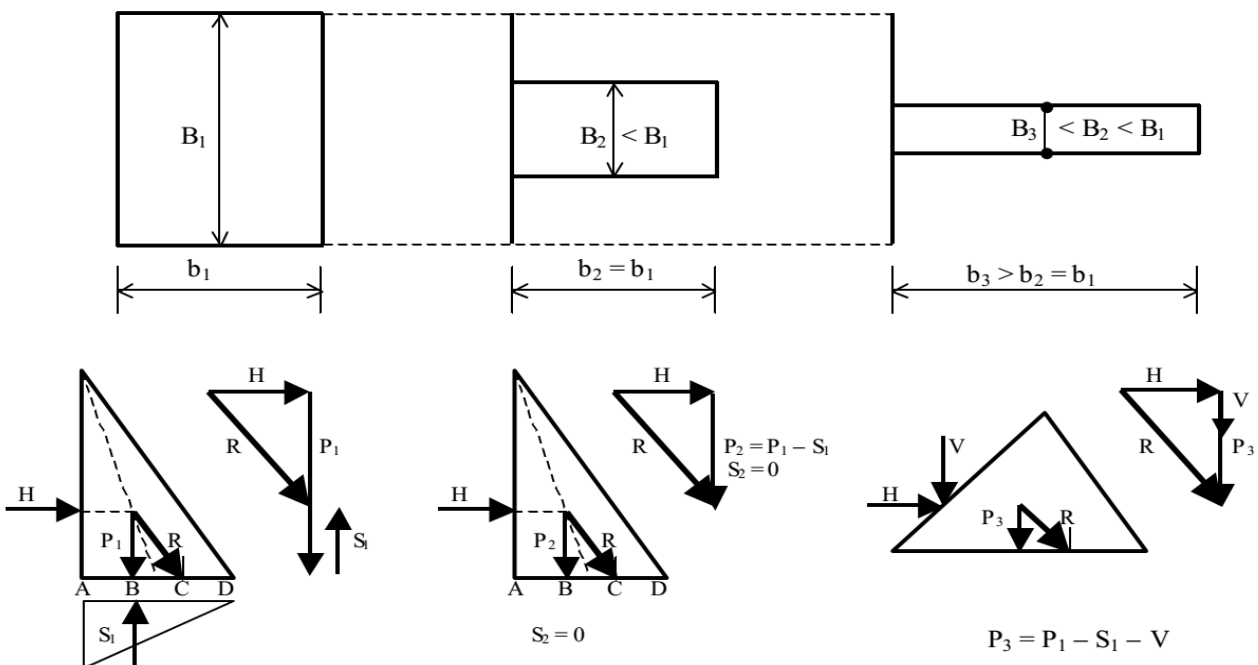
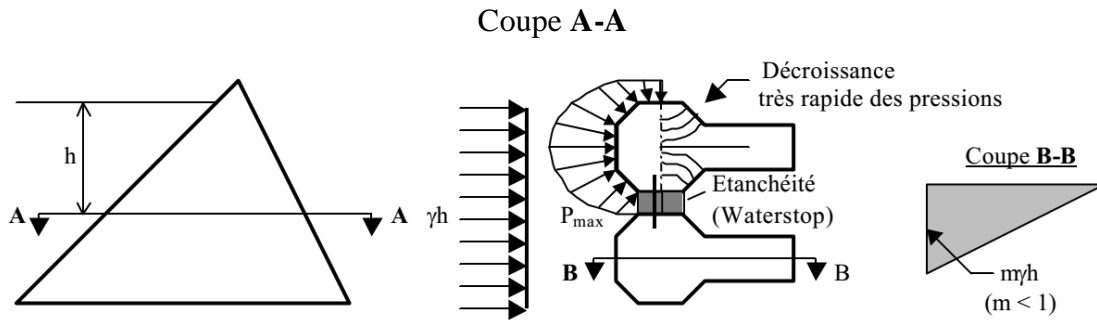


Figure 4-5 : Diagrammes des principales forces



**Figure 4-6 : Pressions supportées par les piles à tête prismatique**

Il faut noter que le diagramme de la répartition longitudinale des pressions exercées sur le contrefort (coupe B-B) est un diagramme approché moyen.

#### **IV-4.2. Conditions de stabilité des barrages à contreforts :**

La stabilité d'ensemble des barrages à contreforts suppose une approche analogue à celle utilisée pour les barrages poids.

- Stabilité au renversement
- Stabilité au glissement
- Résistance interne

Les modes de rupture des barrages à contreforts sont les mêmes que ceux des barrages poids.

##### **IV-4.2.1. Stabilité au renversement et au glissement :**

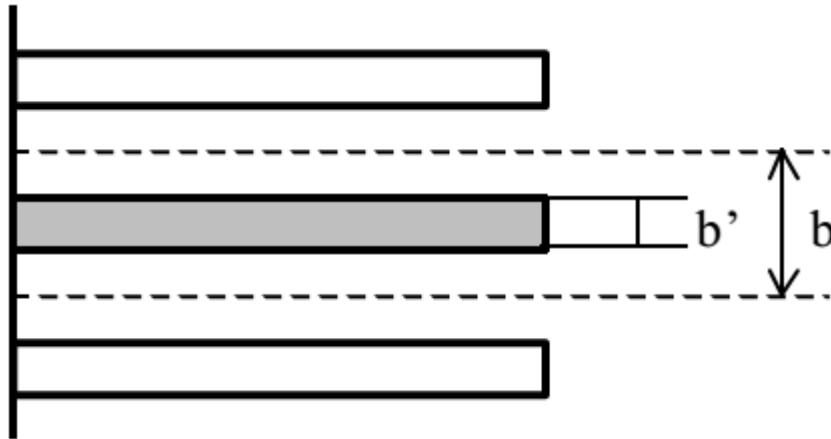
Dans une étude sommaire de stabilité au renversement et au glissement d'un barrage à contreforts, deux approches sont possibles :

- 1- On néglige l'apport de la tête du contrefort et, pour analyser la configuration correspondante de la même manière qu'un barrage poids massif, on suppose que le volume total (volume plein + volume vide) est occupé d'un béton de poids volumique

$$\Delta' < \Delta, \text{ avec : } \Delta' = \Delta \times b' / b$$

- ✓ **Coefficient d'élégissement :**

$$e = \Delta' / \Delta = b' / b = 0.3, \dots, 0.5$$



**Figure 4-7 : Schéma de calcul**

Le calcul de stabilité au glissement et au renversement pour ce cas est le même que le cas des barrages poids (stabilité d'un mètre de largeur du barrage).

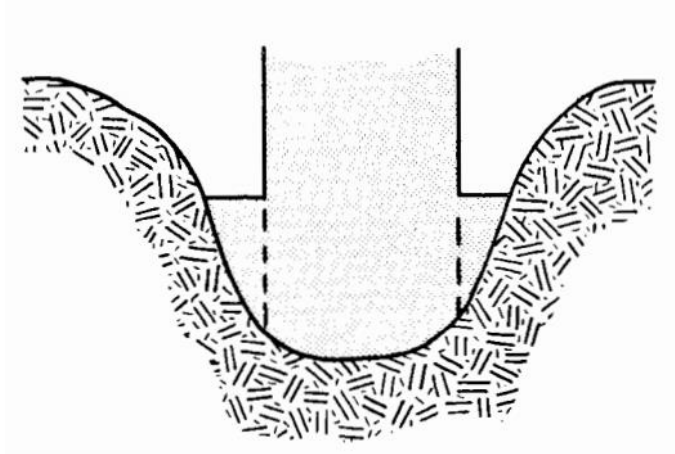
- 2- La prise en compte de la tête du contrefort rend les calculs plus complexes et l'introduction de la troisième dimension dans le calcul de stabilité est indispensable (application TD).

Ce sont des raisons surtout économiques qui ont donné naissance aux barrages à contreforts. Cependant, la conception des structures et les coffrages sont beaucoup plus difficiles et plus nombreux et conduisent à une augmentation du prix. Il existe par conséquent une valeur inférieure du volume du barrage en-dessous de laquelle il n'est pas avantageux de construire un barrage à contreforts sauf si on utilise l'amélioration de la stabilité au glissement.

#### **IV-4.2.2. Amélioration de la stabilité au glissement :**

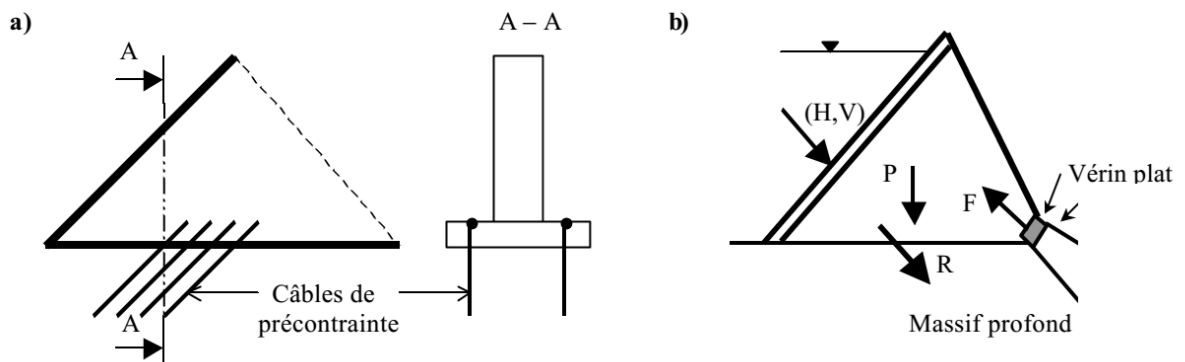
Pour améliorer la stabilité au glissement, les points suivants doivent être prise en considération :

- La fondation fait un angle  $\alpha$  avec l'horizontale, en montant vers l'aval, en réalité si l'emprise des contreforts est importante, la fondation sera exécutée sous forme de redans successifs sans points anguleux marqués.
- La reprise de bétonnage constituent au même titre que la surface de fontation des surfaces de glissement préférentiel : elles seront donc parallèles à la fondation.
- De facon générale, les contreforts sont ancrés dans le rocher non seulement en fond de fouille mais aussi sur les parois des fouilles réalisant un effet de butée sur le rocher, effet favorable à la résistance au glissement.



**Figure 4-8 : Ancrage de contrefort**

- Enfin la stabilité au glissement peut être améliorée par des artifices tels que la pose de vérins en butée à l'aval (Fig. IV-9 b) ou de tirants inclinés ancrés dans le rocher ou on dispose des câbles de précontraintes permettant de combler le déficit en poids du barrage (Fig. IV-9 a). En contrepartie, le terrain de la fondation est plus sollicité.



**Figure 4-9 : Ancrage dans la fondation et utilisation d'une butée active**

Si on considère le barrage seul, la force  $F$  développée par le vérin redresse la résultante des efforts plus à l'amont et conduit à un meilleur équilibre des moments. De plus, la composante horizontale de  $F$  contribue à la sécurité au glissement. Si par contre on considère l'ensemble barrage-culée, le problème reste posé.

#### IV-4.2.3. Résistance interne :

##### a) Calcul des contreforts :

Le calcul des contraintes dans les contreforts peut être abordé de trois manières différentes :

- Considérer que le contrefort est une poutre verticale solidaire du voile si celui-ci est encastré et utiliser les formules de la résistance des matériaux pour le calcul des contraintes normales dans une section horizontale :

$$n_y = \frac{N}{S} + \frac{M_y}{I} ;$$

Avec :  $n_y$  : Contrainte normale

S : Section de base d'un contrefort.

N : La résultante des forces normales.

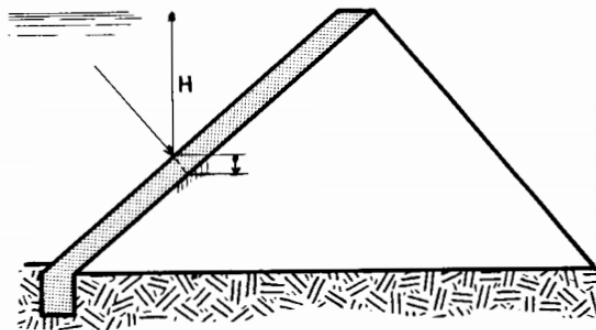
M : Moment de flexion.

I : Moment principale d'inertie.

En général pas de contrainte de traction et contrainte de compression limitée à une fraction réduite, de l'ordre de 15 à 30 %, pour le béton, de la résistance à la rupture du béton ou du rocher.

- Rechercher la contrainte principale maximale. En général cette contrainte est appliquée sur des facettes parallèles au parement amont est situées dans la zone d'appui du voile sur le contrefort. Cette contrainte est donnée par la formule :  $n = s\gamma_w H$ . ; s est le rapport entre la distance entre axes des contreforts et leur épaisseur.

Une semelle armée pour diminuer la pression au sol est nécessaire parfois ; sa largeur doit rester limitée puisque l'équilibre du barrage suppose l'absence des sous-pressions.



**Figure 4-10 : Calcul de la contrainte sur le parement amont**

- Evaluer les contraintes de cisaillement en divisant la résultante horizontale des forces appliquées sur une section, par la surface de cette section. Afin de décider si le ferrailage des contreforts (si les contraintes de cisaillement dépassent 5 bars) ou non. Le contrefort est une plaque soumise à des forces de compression donc susceptible d'instabilité élastique, donc la vérification des forces critiques de flambement et le fléchissement des contreforts doit être effectuée, pour cela deux méthodes simplifiées peuvent être utilisées :
  - On considère que le contrefort est constitué d'une série de pôtoux indépendants

parallèles au parement aval. Chacun de ces pôtéaux est articulé aux deux extrémités, encastré à l'une et articulé à l'autre, ou encastré aux deux extrémités. Selon les conditions aux limites (articulation ou encastrement) l'élanement du poteau sera inférieur à l'élément critique si son épaisseur est supérieure au  $1/10$  ou au  $1/20$  de sa longueur ; la contrainte de flambement est alors supérieure à la contrainte de rupture par compression et la rupture du contrefort par flambement n'est pas possible.

- Le contrefort étant construit par plots, on assimile chacun de ces plots à une plaque rectangulaire et on utilise les résultats énoncés par TIMOSKENKO dans « la théorie des plaques »

**b) Calcul des voiles :**

Le calcul du voile dépend de sa forme et des conditions d'appui sur les contreforts.

**b-1) -Dalle articulée sur les contreforts :**

Les contreforts sont assez rapprochés 3 à 8 m, la dalle se comporte comme une poutre sur appuis simple et travaille en flexion. C'est difficile d'appliquer cette technique au delà des hauteurs du barrage plus de 12 m

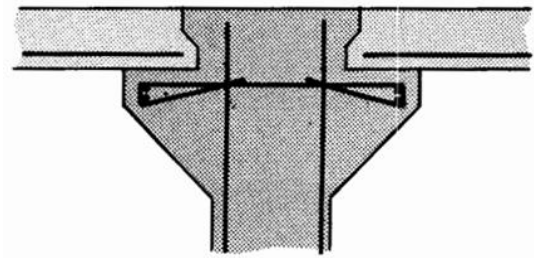


Figure 4-11 : Dalle articulée sur les contreforts

**b-2) -Dalle continue encastrée sur les contreforts :**

La dalle travaille en flexion. Cette technique est utilisable si des tassements différentiels sont à craindre.

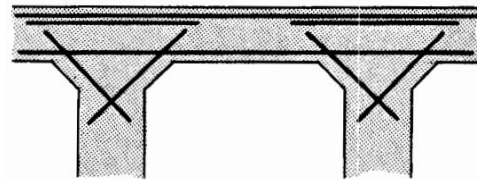


Figure 4-12 : Dalle continue encastrée sur les contreforts

**b-3) -Tête de contrefort en forme de console :**

La dalle se comporte comme une console courte, cette technique nécessite un bon enrobage des aciers

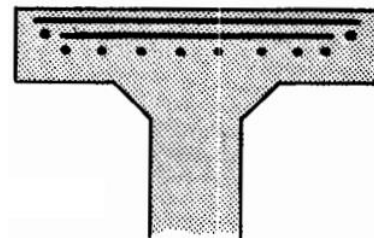
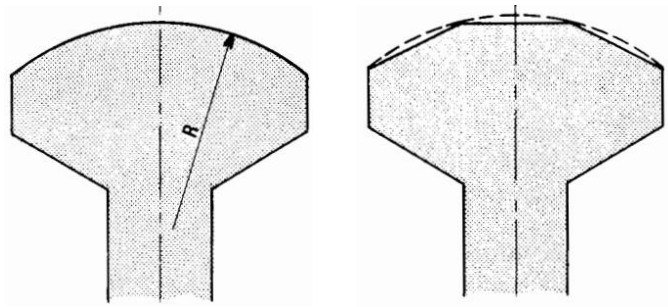


Figure 4-13 : Tête de contrefort en forme de console

**b-4) -Contrefort à tête ronde ou à tête de diamant :**

La forme de la tête du contrefort transforme la pression de l'eau au contrefort sans créer de contraintes de traction dans le béton.



**Figure 4-14 :** Contrefort à tête ronde ou à tête de diamant

**b-5) -Voile en voûte à simple ou à double courbure :**

Le voile à simple courbure a la forme d'un cylindre de génératrices parallèles au parement amont et de directrice circulaire. Cette technique s'applique à des ouvrages de hauteur faible ou moyenne, la voûte constituée de béton armé a une épaisseur réduite et les contraintes sont assez rapprochées.

#### **IV-5. Avantages et inconvénients des barrages à contreforts**

- **Avantages** :Les barrages à contreforts s'accommodent à tous les types de vallées (même les vallées assez larges) et nécessitent en général moins que la moitié du volume de béton requis par les barrages poids. Ils ont une inclinaison optimale vers l'amont et assurent une dissipation des sous-pressions grâce aux alvéoles. Le découpage en différents contreforts conduit à une dissipation de la chaleur d'hydratation, permet d'admettre un tassement différentiel entre les contreforts ainsi qu'une inspection facile du parement. Enfin, les évacuateurs de crue de type Creager s'adaptent facilement à ces ouvrages.
- **Inconvénients** :Les barrages à contreforts exigent des coffrages nombreux et compliqués et ne sont pas nécessairement moins coûteux que les barrages poids. L'importance des travaux de coffrage, des quantités d'aciers d'armatures requises et du nombre des joints d'étanchéité ainsi que la croissance rapide du coût de la main d'œuvre de ces dernières décennies ont fait que les barrages à contreforts ont beaucoup perdu de leur popularité.

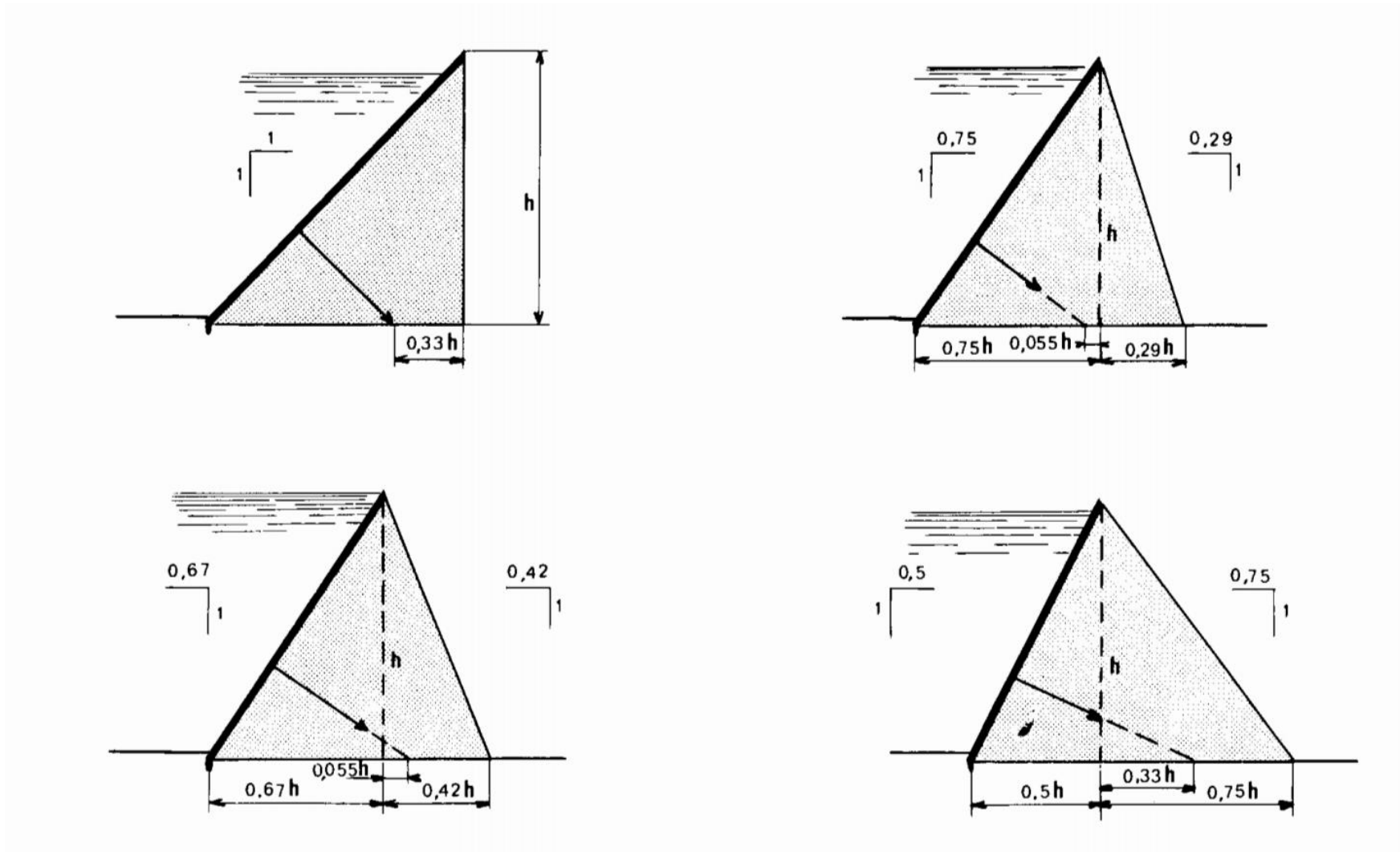
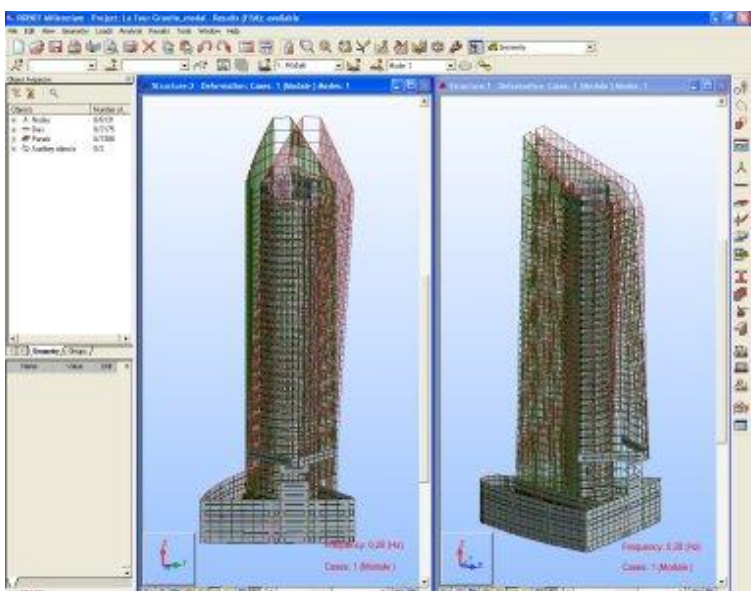


Figure 4-15 : Schéma de barrages à contreforts autostables au renversement

# CHAPITRE5

## MODILISATION LA STRUCTURE

### AVEC Logiciel Robot millenium



## PRESENTATION GENERALE DU LOGICIEL ROBOT (STRUCTURAL ANALYSIS PROGRAM)

### V.1. Définition du logiciel ROBOT :

Le logiciel Autodesk ROBOT propose aux ingénieurs structures des fonctionnalités de simulation et d'analyse structurelle évoluées pour des structures vastes et complexes de la construction. Ce logiciel est un logiciel interactif basé sur la méthode des éléments finis. Il est utilisé dans les calculs scientifiques et les problèmes d'ingénierie parce qu'il permet de résoudre des problèmes numériques complexes en moins de temps requis par rapport les calculs manuelles courants, et ce grâce à une multitude de fonctions intégrées et à plusieurs options de calcul testés et regroupés selon usage dans ce logiciel

### V.2. Le démarrage du logiciel ROBOT :

Après le lancement du logiciel ROBOT sur un PC, l'interface se présente comme la fenêtre (Fig. 2.1) ci-dessous est affichée ; pour ce faire, cliquer sur l'icône approprié affiché sur le bureau ou sélectionner la commande appropriée dans la barre des tâches. Dans cette fenêtre, vous pouvez définir le type de la structure à étudier, ouvrir une structure existante ou créer un nouveau projet qu'il contient quatre options ; étude d'une coque, conception d'un bâtiment, étude d'une portique spatial et étude d'un portique plan et puis charger le module permettant d'effectuer le dimensionnement de la structure.

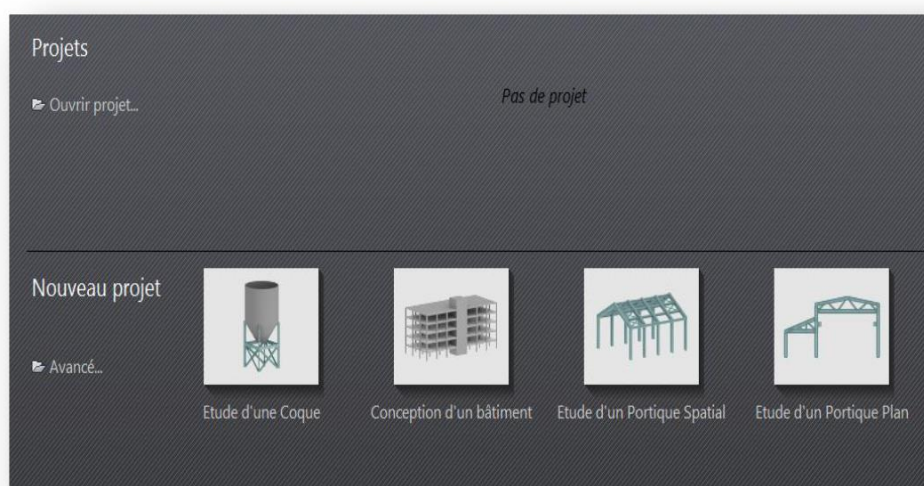


Figure 5.1: la fenêtre de démarrage de ROBOT

### V.3. L'environnement de travail sur le logiciel ROBOT :

Une fois un type de structure sélectionné, vous arrivez à l'écran ci-dessous (Fig. 2.2) avec un certain nombre de zones utiles à connaître pour le déroulement de votre modélisation et de l'exploitation des résultats.

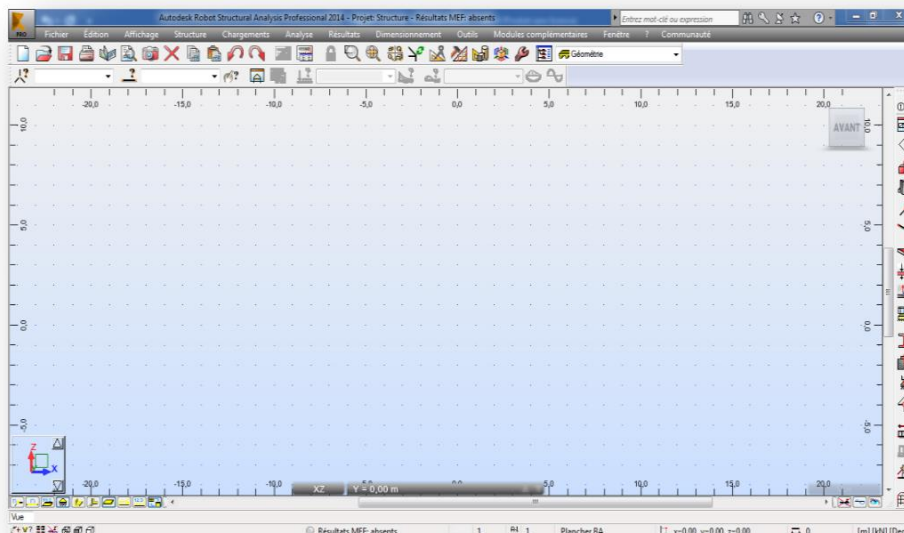


Figure 5.2: la fenêtre de travail de ROBOT

La sélection d'un bureau se fait à l'aide de la liste déroulante principale se trouvant en haut et à droite de votre écran (le bureau de départ se nommant: Démarrage). La barre d'outils de droite correspond à des fonctions additionnelles relatives au bureau dans lequel vous trouvez. L'autre fonctionnalité indispensable aux manipulations sous ROBOT est l'utilisation du Menu contextuel accessible par un simple clic droit sur la souris. Lors du travail dans l'éditeur graphique ou dans un tableau, un clic sur le bouton droit de la souris ouvre un menu contextuel supplémentaire (Fig. 2.3) qui affiche les commandes les plus souvent utilisées.

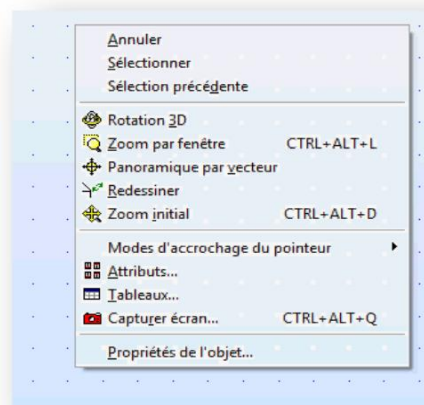
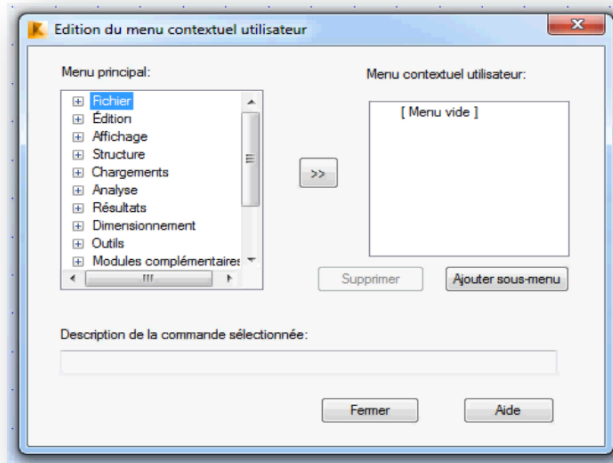


Figure 5.3: le menu contextuel supplémentaire

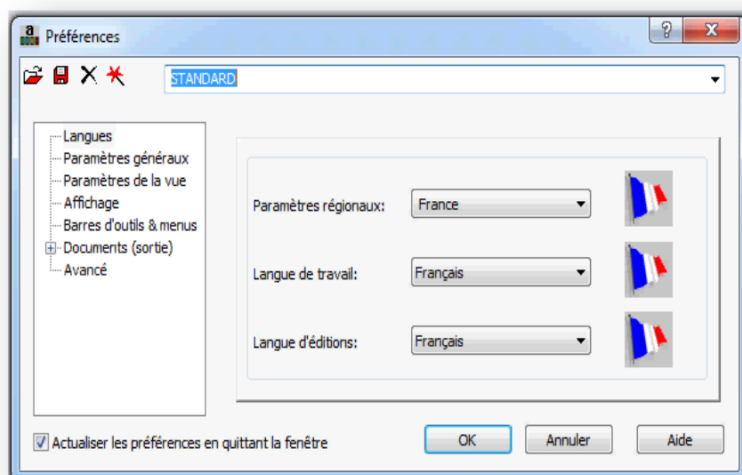
Le menu contextuel est personnalisable de façon à rajouter de nouvelles fonctions propres à votre métier. Pour cela, dans le menu déroulant Outils, choisissez Personnaliser et Personnaliser menu contextuel : Il vous reste alors à rechercher, dans l'arborescence proposée, la fonction que vous souhaitez choisir et à la glisser à droite de l'écran (Fig. 2.4) :



**Figure 5.4: Edition du menu contextuel utilisateur**

#### **V.4. Le réglage des préférences du logiciel ROBOT :**

Les préférences du logiciel ROBOT nous permettront de changer les paramètres gérant la forme du logiciel : couleur, polices, tailles des icônes, etc. Dans la boîte de dialogue préférences représentée sur la figure ci-dessous (Fig. 2.5). Nous pouvons définir les paramètres de base du logiciel. Afin d'ouvrir la boîte de dialogue, vous pouvez sélectionner dans le menu déroulant Outils puis Préférences.



**Figure 5.5: Préférences du logiciel ROBOT**

La fenêtre de préférences se divise en plusieurs parties, notamment :

La partie supérieure de la fenêtre de dialogue regroupe quatre icônes et le champ de sélection de fichiers de préférences. Par défaut, le nom des préférences actuelles est affiché. Dans ce champ, vous pouvez sélectionner un fichier de préférences existant ; pour cela, cliquez sur la flèche à droite du champ et sélectionnez les préférences appropriées à vos besoins dans la liste déroulante.

La partie gauche de la fenêtre de dialogue préférences contient une arborescence qui affiche la liste des options que vous pouvez personnaliser. Pour cela, cliquez sur le bouton gauche de la souris sur la position que vous voulez modifier.

Dans la partie droite de la fenêtre de dialogue préférences se trouve la zone dans laquelle vous pouvez définir les paramètres spécifiques du logiciel, l'aspect de cette zone varie en fonction de la sélection effectuée dans l'arborescence de gauche.

#### **V.4.1. Différents étapes de modélisation avec le logiciel ROBOT**

La modélisation avec le logiciel ROBOT permet de considérer que structuraux, quant aux éléments non structuraux ils sont modélisés soit par masse aux nœuds, soit par des charges qui s'ajoutent au poids des éléments structuraux. La modélisation avec le ROBOT consiste en les étapes suivantes

- ✓ Définition des unités, normes et propriétés des matériaux ;
- ✓ Définition de la géométrie du model ;
- ✓ Définition et affectation des éléments de construction;
- ✓ Définition des chargements ;
- ✓ Définition de la masse et les charges sismiques ;
- ✓ Définition des combinaisons ;
- ✓ Analyse de la structure et traitement des résultats.

##### **V.4.1.a Définition des unités, normes et propriétés des matériaux**



#### **Réglage des unités :**

Les unités utilisées sont celles qui sont employées dans la pratique du béton armé et la charpente métallique. Elles sont parfois différentes des unités « légales » (Système International SI), ces dernières étant dans certains cas inadaptées, car disproportionnées par rapport aux ordres de grandeur des valeurs couramment rencontrées. La fenêtre de réglage des unités est présentée sur la figure ci-dessous (Fig. 2.6).

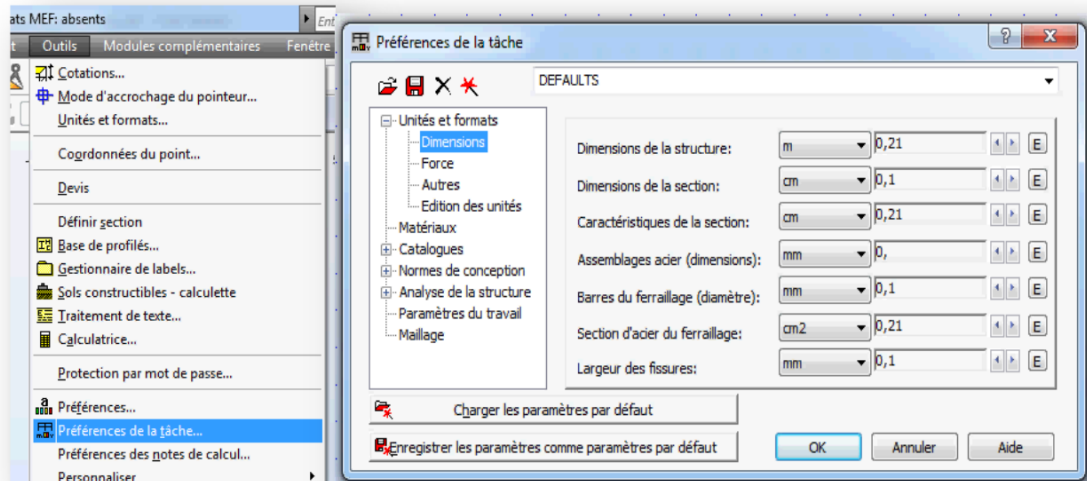


Figure 5.6: Réglage des unités

➤ **Réglage des normes :**

La fenêtre de réglage des normes est présentée sur la figure ci-dessous (Fig. 2.7). Le chapitre Norme de conception cache une sous-arborescence que vous pouvez afficher en cliquant sur le petit +. Le sous-chapitre Charges permet de définir notamment les paramètres d'actions du vent et le règlement de pondération utilisé, les règlements parasismiques...etc. Parmi les règlements parasismiques utilisé dans le logiciel ROBOT ; on trouve les règlements parasismiques algériens (RPA).

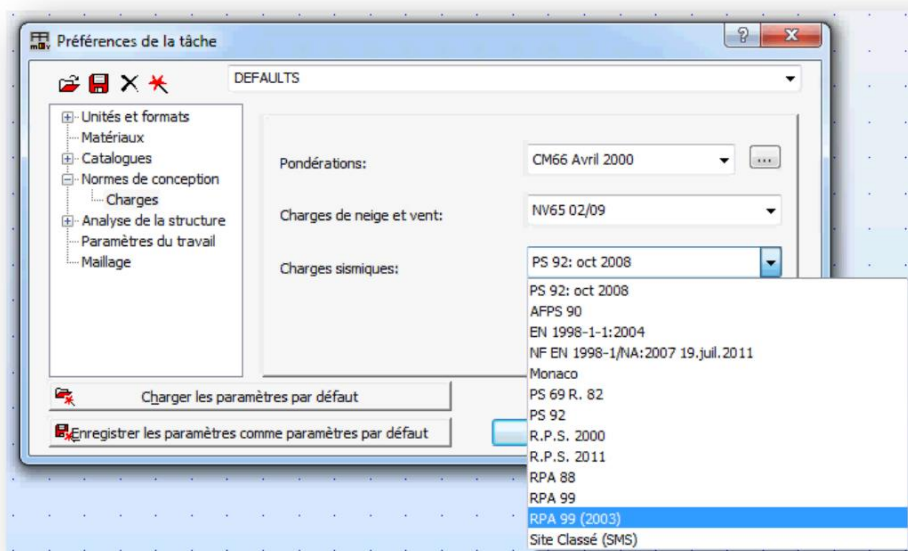
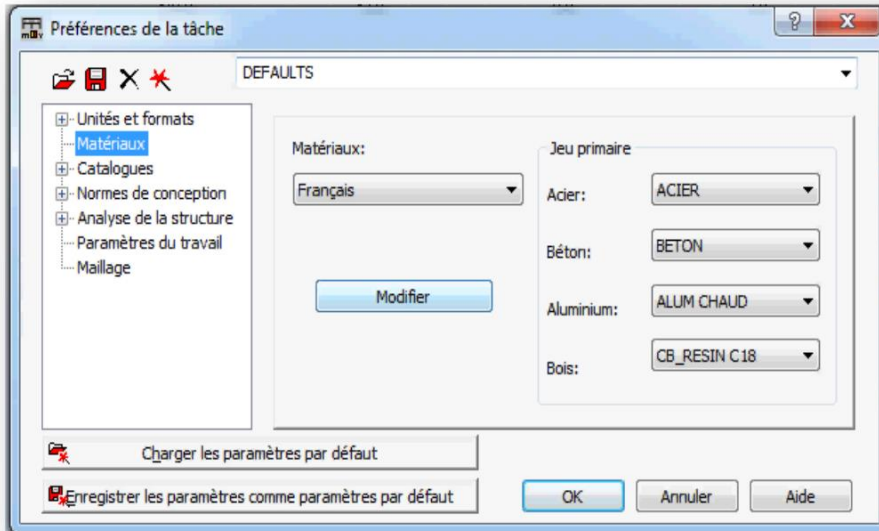


Figure 5.7: Réglage des normes

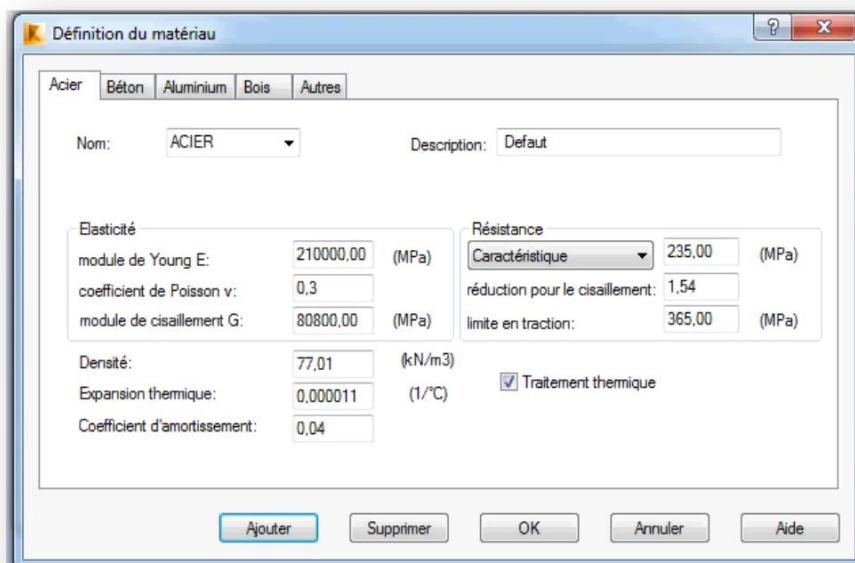
## ➤ Réglage des propriétés mécaniques des matériaux :

La fenêtre des préférences relatives aux matériaux est présentée dans la figure ci-dessous (Fig. 2.8).



**Figure 5.8: Réglage des matériaux**

Pour consulter les caractéristiques des matériaux, les modifier ou même rajouter un matériau, vous devez sélectionner dans l'arborescence Matériaux et cliquez sur le bouton Modifier (Fig. 2.9). Il suffit alors de consulter ou de modifier les données en faisant Ajouter pour valider les modifications. De plus, si vous souhaitez ajouter un matériau, il suffit également de modifier le nom et de valider.



**Figure 5.9: Définition du matériau**

#### V.4.1.b. Définition de la géométrie du model :

Afin de commencer la définition de la structure et créer le model qui nous allons étudier, donc il vous faut sélectionner la première icône (Ligne de construction) en haut et à droite du premier rang dans la fenêtre de l'assistant affichée par le logiciel ROBOT.

Il suffit alors de définir les lignes de construction dans les axes X, Y, Z afin de vous faciliter la mise en place des barres. Il apparaît alors la boîte de dialogue représentée ci-dessous (Fig. 5.10).

Les lignes de construction forment une grille auxiliaire qui peut servir à définir les différents éléments de la structure et à se référer aux composants de la structure sélectionnés (effectuer la sélection). Les intersections de la grille forment des points qui facilitent le travail du concepteur en guidant les mouvements du curseur lors de la définition graphique d'une structure à l'aide de la souris.

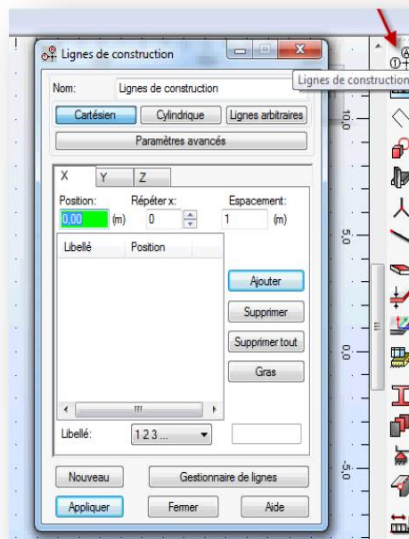


Figure 5.10: Lignes de construction

Les lignes de construction sont d'une grande importance lors de la navigation dans le modèle de la structure. A l'aide des lignes de construction, vous pouvez afficher rapidement le plan de travail sélectionné (boîte de dialogue Vue) ou sélectionner les éléments situés sur les lignes de construction.

La sélection des lignes de construction peut être effectuée au moyen des descriptions situées à deux extrémités des lignes de construction. Un clic sur la description de la ligne sélectionnée entraîne la sélection de tous les nœuds de la structure située sur cette ligne et ouvre la boîte de dialogue de modification des lignes de construction.

#### V.4.1.c. Définition et affectation des éléments de construction :

Pour définir la structure qui nous allons étudier ; il faut choisir l'option qui nous permet de sélectionner et/ou définir les types des sections ou des barres à utiliser dans la structure (Fig. 5.11). Dans le logiciel ROBOT,

➤ Les types de barre suivants sont disponibles :

- \*Barre en béton armé
- \*Barre en acier/aluminium
- \*Barre en bois.

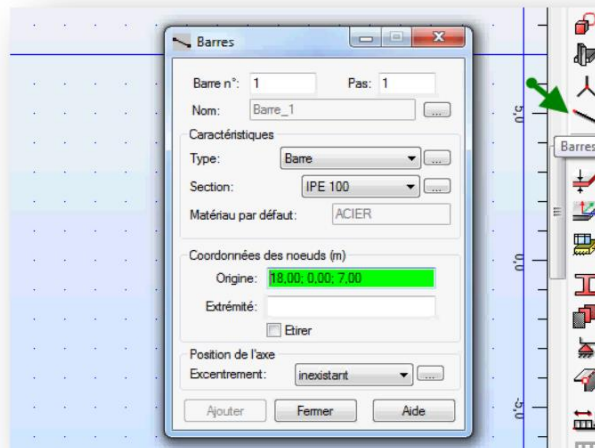




Figure 5.11: définition des barres

Dans la fenêtre Barres, sélectionner la section qui correspond à la barre que vous Souhaitez modéliser (poteau:IPE240, traverse:IPE220).

Si le profilé n'est pas disponible, cliquer sur les 3 points  à côté du champ Section et ajouter le nouveau profilé

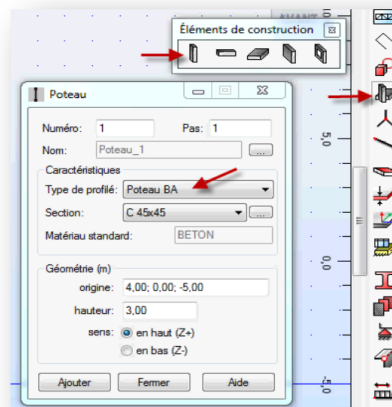
- **Poteaux :**

Ouvrez la boîte de dialogue Poteaux en procédant de l'une des manières suivantes :

\*Cliquez direct sur l'icône poteaux (Fig.  2.12)

Utilisez cette option pour définir les poteaux d'une structure en spécifiant les paramètres suivants :

- Coordonnées de la position du poteau .
- Hauteur du poteau .
- Orientation le long de l'axe vertical Z admis (haut, bas) .



**Figure 5.12: définition des poteaux**

La partie inférieure de la boîte de dialogue regroupe les options permettant la définition de la géométrie du poteau dans la structure :

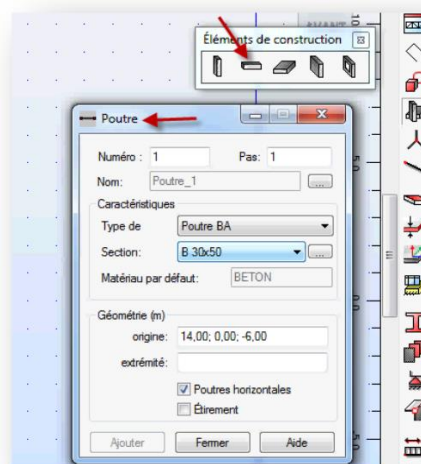
- ✓ Coordonnées du nœud origine du poteau
- ✓ Hauteur du poteau
- ✓ Orientation (en haut ou en bas par rapport à la position du nœud origine). [10]
- **Poutres :**

L'option sert à définir les poutres dans la structure.

Vous pouvez accéder à cette option à l'aide de l'une des méthodes suivantes :


- ✓ Sélectionnez le menu Géométrie > Poutres.
- ✓ Cliquez direct sur l'icône poutres(Fig. 2.13)

La boîte de dialogue ci-dessous s'affiche.




**Figure 5.13: définition des poutres**

La partie supérieure de la boîte de dialogue contient les champs d'édition permettant de définir le numéro et le nom de la poutre. Le champ Nom est inaccessible pour l'édition et affiche un aperçu du nom créé conformément à la syntaxe déterminée dans la boîte de dialogue Nom des barres/objets.

Cliquez sur  en regard du champ Nom pour ouvrir la boîte de dialogue Nom des barres/objets dans laquelle vous pouvez définir une nouvelle syntaxe des noms pour les barres.

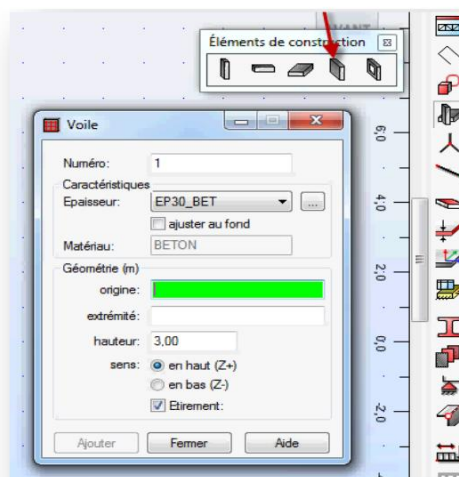
- **Voiles :**

- Ouvrez la boîte de dialogue Voiles en procédant de l'une des manières suivantes :

- ✓ Cliquez sur le menu Géométrie > Voiles.
- ✓ Cliquez sur l'icône voiles  (Fig. 2.14).

Utilisez cette option pour définir les voiles d'une structure en spécifiant les paramètres suivants :

- ✓ Coordonnées des points de départ et d'arrivée de la ligne de base du voile.
- ✓ Hauteur du mur
- ✓ Orientation le long de l'axe vertical Z admis (haut, bas). [10]



**Figure 5.14: définition des voiles**

- **Pour définir un voile, il faut entrer :**

1. Numéro du voile ;
2. Caractéristiques du voile :
3. Épaisseur ;
4. Ajuster au fond

Si vous sélectionnez cette option lors du dessin du voile, son épaisseur est automatiquement ajustée aux traits de contour du voile.

Matériau (ce champ n'est pas éditable ; il indique le matériau défini pour le type d'épaisseur du voile sélectionné).

5. Géométrie du voile :Les points de départ et de fin d'un voile.


6. Hauteur du mur

Orientation (en haut ou en bas par rapport à la position du nœud origine).

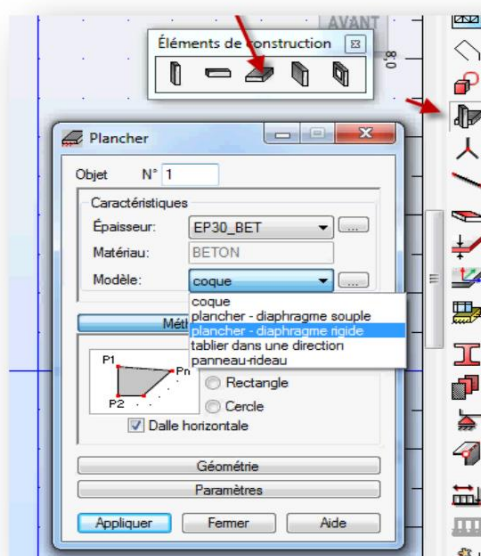
Par ailleurs, le matériau par défaut du type d'épaisseur de voile sélectionné s'affiche.

- **Dalles :**

Nous pouvons accéder à cette option à l'aide de l'une des méthodes suivantes:

- ✓ à partir du menu Géométrie > Dalles
- ✓ Cliquez sur l'icône dalles  (Fig. 5.15).

La boîte de dialogue ci-dessous s'affiche.



**Figure 5.15: définition des dalles**


- Utilisons cette option pour définir des dalles dans une structure ; pour cela, vous devez spécifier :
  - ✓ les propriétés des dalles ;
  - ✓ la méthode de définition des dalles ;
  - ✓ les paramètres de la discrétisation.

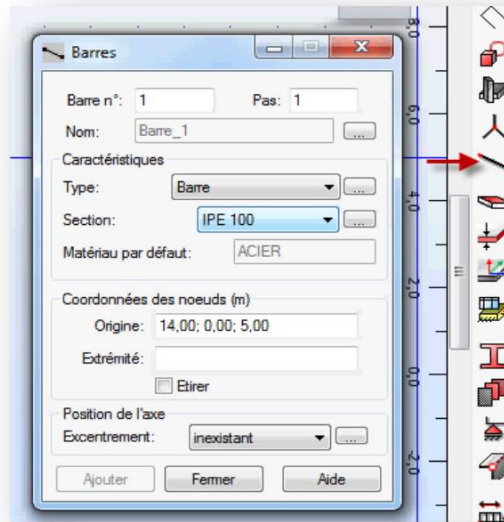
La boîte de dialogue est divisée en quatre parties :

- ✓ Champ Objet (affiche le numéro ou l'identifiant de l'objet créé ou sélectionné) et Propriétés
- ✓ Méthode de définition
- ✓ Géométrie
- ✓ Paramètres

- **Barres (en acier, aluminium et bois) :**

Ouvrez la boîte de dialogue Barres, qui vous permet de définir les éléments de barres d'une structure, en procédant de l'une des manières suivantes :

- ✓ Cliquez sur l'icône  (Fig. 5.16).
- ✓ Via le bureau BARRES (vous pouvez sélectionner des présentations dans la liste de sélection dans la barre d'outils Standard)




**Figure 5.16: définition des barres**

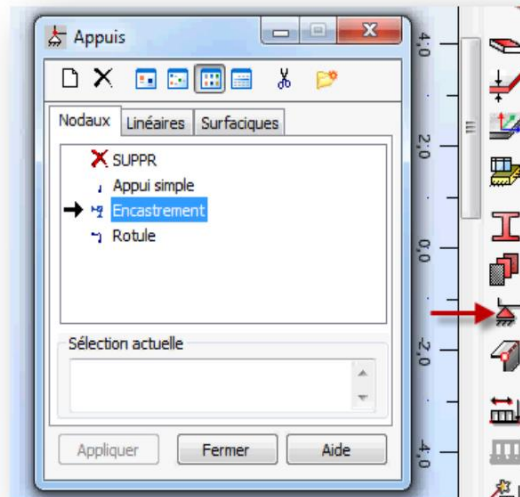
Le mode de définition des barres dépend du mode d'accrochage du pointeur. Selon son type, les options disponibles dans la boîte de dialogue permettent d'effectuer les tâches suivantes :

- Mode d'accrochage à la grille (snap=grid) - définit les points de grille de coordonnées (comportement analogue au mode Aucun accrochage)
- En faisant glisser le curseur vers des points ou des nœuds existants de la structure (snap=node) - Définit les numéros des points ou des nœuds
- En faisant glisser le curseur vers des lignes existantes (snap=line) - Définit le numéro de ligne.

#### • Appuis (fondation) :









Ouvrez la boîte de dialogue Appuis, qui permet de définir les appuis d'une structure, en procédant de l'une des manières suivantes :

- Cliquez sur l'icône appuis  (Fig. 5.17).
- Le bureau Appuis.
- La boîte de dialogue ci-dessous apparaît :
- La partie supérieure, qui propose plusieurs boutons;
- La partie centrale, qui affiche la liste des appuis actifs; Le nombre d'onglets dépend du type de la structure.
- La partie inférieure, qui contient le champ de sélection actuel et les boutons standard.



**Figure 5.17: définition des appuis**

La partie supérieure de la boîte de dialogue regroupe les icônes suivantes :

- ✓  Définit un nouveau type d'appui (Définir un nouvel appui).
- ✓  Supprime un type d'appui de la liste active.
- ✓ , ,  et  Affichent la liste des appuis actifs en utilisant de grandes icônes, de petites icônes, ou sous forme de liste abrégée ou détaillée.
- ✓  Supprime de la liste active tous les types d'appuis non utilisés dans la structure.
- ✓  - ouvre la boîte de dialogue Gestionnaire des labels.

Si vous sélectionnez la liste détaillée, les paramètres des appuis définis seront affichés :

- ✓ Le symbole X apparaît dans la deuxième colonne : le type d'appui est déjà utilisé dans la structure.
- ✓ Les normes suivantes décrivant l'appui sont affichées dans la troisième colonne :
- ✓ X indique un degré de liberté fixe dans un nœud de la structure
- ✓ F indique un degré de liberté libre relâché dans un nœud de la structure
- ✓ E indique le degré de liberté dans lequel un appui élastique est défini

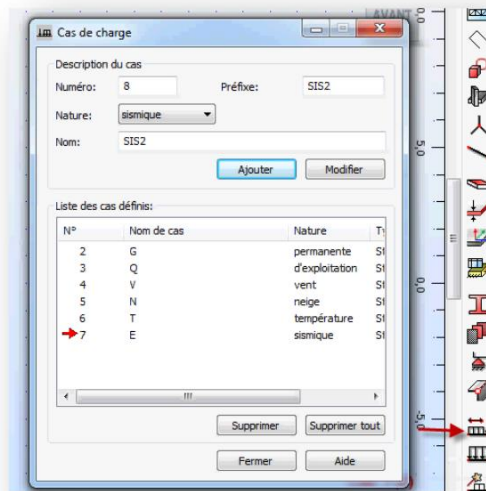
### V.4.1. Définition des chargement :

#### a) Types de charges

Ouvrez la boîte de dialogue Cas de charge grâce à l'une des méthodes suivantes :

- ✓ Par un clic sur  (Fig. 5.18 Cas de charge).

- ✓ Dans la liste déroulante du système de bureaux, sélectionnez CHARGES



**Figure 5.18: Cas de charge**

- Afin de définir un nouveau cas de charge vous devez effectuer les opérations suivantes :
  - ✓ Spécifiez la nature de la charge : permanente, d'exploitation, de vent, de neige ou sismique. La nature de la charge dépend de la norme que vous avez sélectionnée.
  - ✓ Spécifiez la sous-nature de la charge (si disponible).
  - ✓ Affectez un numéro de cas de charge.
  - ✓ Saisissez une description du cas. Dans le nom d'une combinaison, les cas peuvent être présentés non seulement au moyen de leurs numéros, mais aussi par leurs noms abrégés (préfixe). Par défaut, le programme saisit dans le champ Nom le nom abrégé du cas de charge
  - ✓ Saisissez le Nom du cas de charge.

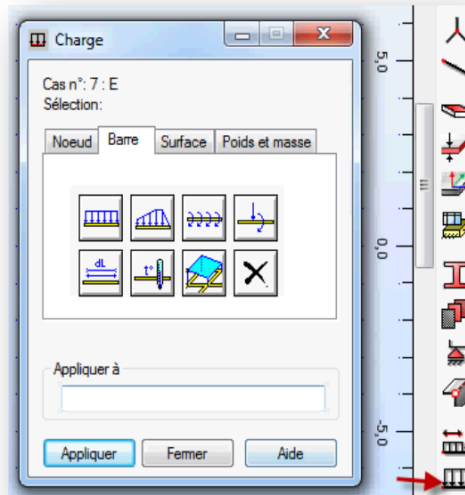
Cliquez sur Nouveau. Commence la définition d'un nouveau cas de charge. Chaque nouveau cas de charge prendra automatiquement le premier numéro libre, que vous pourrez modifier ultérieurement.

### **b) Définition des charges**

Ouvrez la boîte de dialogue Définition des charges, qui permet de définir les charges à partir de cas de charge existants, à l'aide de l'une des méthodes suivantes :

- ✓ Cliquez sur  (Fig. 5.19 Charge).

NB : Au moins un cas de charge doit être défini avant que vous puissiez utiliser cette boîte de dialogue.



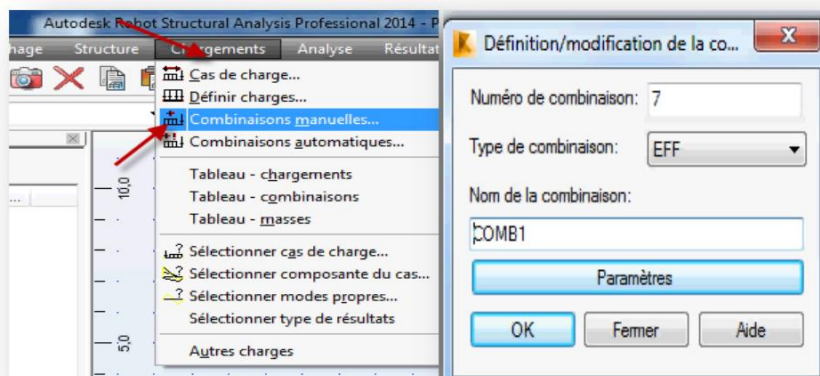
**Figure 5.19: Charge**

La boîte de dialogue contient quatre onglets qui sont nœud, barre, surface et en fin poids et masse. De nouveaux types de charges vous permettent de définir les forces d'inertie, centrifuges et d'accélération angulaire, de sorte que vous puissiez analyser et concevoir des structures pour l'industrie maritime. Ces structures sont associées à l'extraction de pétrole brut des fonds marins, par exemple, les composants d'équipements pour plates-formes de forage. Ces charges génèrent les forces dues à l'inertie de la structure provoquée par la vitesse ou l'accélération imposées. Les charges de ce type sont utilisées pour les structures marines dans lesquelles les charges de transport sont assez importantes (par exemple, la structure est soulevée par une grue ou posée sur un bateau). Ces charges ne résolvent pas complètement des problèmes de modélisation des structures marines, mais elles les facilitent.

#### **V.4.2. Définition des Combinaisons :**

Pour ouvrir la boîte de dialogue Définition/modification de la combinaison, vous devez effectuer les opérations suivantes :

- ✓ Cliquez sur Menu des charges > Combinaisons manuelles (Fig. 2.20).
- ✓ Cliquez sur le bouton Nouvelle dans la boîte de dialogue Combinaisons.



**Figure 5.20: Combinaisons manuelles**

Pour définir une nouvelle combinaison :

1. Saisissez le numéro de la combinaison (par défaut, le numéro suivant du cas de charge est saisi).
2. Sélectionnez un type de combinaison :

➤ **Selon le BAEL :**

- ✓ ELU (1.35G + 1.5Q) : si cette option est sélectionnée, la combinaison définie sera utilisée lors du dimensionnement des éléments acier et BA lors de la vérification des conditions de l'état limite ultime.
- ✓ ELS (G+Q) : si cette option est sélectionnée, la combinaison définie sera utilisée lors du dimensionnement des éléments acier et BA lors de la vérification des conditions de l'état limite de service.

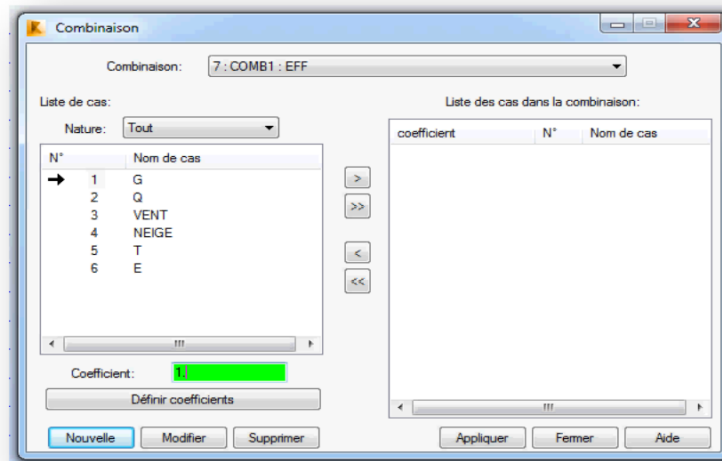
➤ **Selon le RPA99/version2003 :**

- ✓ Accidentelle et sismique : si cette option est sélectionnée, la combinaison définie sera utilisée lors du dimensionnement des éléments acier et BA lors de la vérification des conditions de l'état limite accidentel et sismique.

- ❖ GQEx : G+Q+Ex ;
- ❖ GQEy : G+Q+Ey ;
- ❖ GQ1.2Ex : G+Q+1.2Ex ;
- ❖ GQ1.2Ey : G+Q+1.2Ey ;
- ❖ 0.8GEx : 0.8G+Ex ;
- ❖ 0.8G+Ey : 0.8G+Ey.


3. Saisissez le nom de la combinaison.
4. Cliquez sur OK.

Le logiciel affiche la boîte de dialogue Combinaisons suivante s'ouvre (Fig. 5.21).



**Figure 5.21: Combinaisons**

### V.4.3. Analyse de La structure :

Cliquez sur  dans la barre d'outils (Fig. 2.22) ou sélectionnez la commande Analyse > Type d'analyse pour définir un nouveau cas de charge (analyse modale, spectrale, sismique etc.), modifier le type de cas de charge et modifier les paramètres du cas de charge sélectionné.

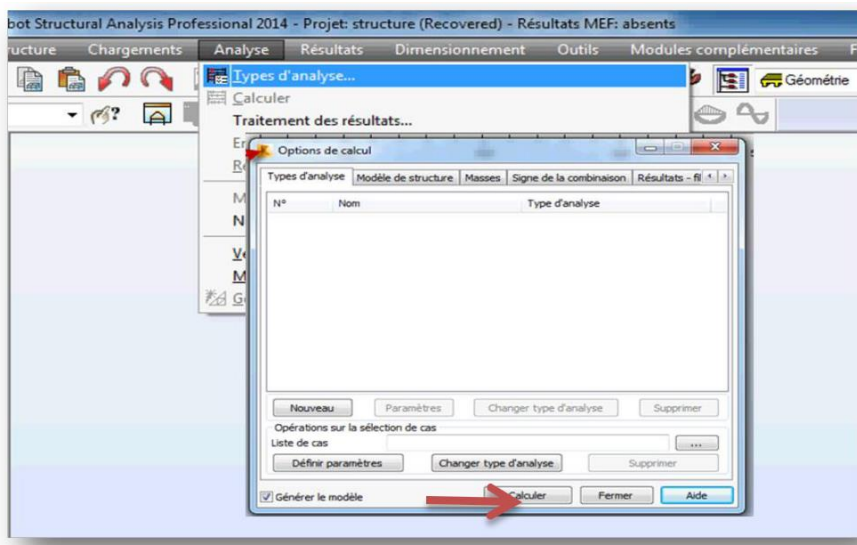


Figure 5.22: Analyse de la structure

Lors de la définition des charges appliquées à la structure, l'analyse statique linéaire est affectée à tous les cas de charge. Vous pouvez modifier le type d'analyse en analyse de flambement, harmonique ou temporelle. De même, dans cette boîte de dialogue vous pouvez créer les nouveaux cas de charge et lancer les calculs pour les types d'analyse pour lesquels il n'est pas nécessaire de définir préalablement un cas de charge statique (analyse modale ou sismique).

La boîte de dialogue contient six onglets :

- ✓ Types d'analyse
- ✓ Modèle de structure
- ✓ Masses
- ✓ Signe de la combinaison
- ✓ Résultats - filtres

### V.4.4. Déformation de flambement :

L'onglet Types d'analyse affiche les cas de charge précédemment définis. Les boutons Nouveau, Paramètres, Changer type d'analyse et Supprimer permettent de changer le type et les paramètres de l'analyse d'un cas unique sélectionné.

Saisissez une liste de cas dans le champ Liste de cas ou cliquez sur (...) et sélectionnez les cas dans la boîte de dialogue Sélection. Les opérations sur la sélection de cas sont effectuées à l'aide des boutons suivants :

- ❖ Définir paramètres. Permet de définir les paramètres de l'algorithme des calculs de l'analyse non-linéaire et de flambement
- ❖ Changer type d'analyse. Permet de changer le type de cas en cas auxiliaire, non-linéaire ou de flambement et de définir les paramètres de calcul
- ❖ Supprimer. Supprime les cas sélectionnés dans la liste
- ❖ Les boutons Calculs (lance les calculs de structure des calculs pour les cas de charge définis) et Fermer (ferme la boîte de dialogue Options) sont regroupés dans la partie inférieure de la boîte de dialogue.
- ❖ S'il y a des erreurs dans le model étudié le logiciel ROBOT affichera une liste des erreurs qui pouvant se produire lors de l'analyse de la structure.
- ❖ L'option protège contre la perte des résultats de calcul de la structure dans le cas où vous effectuez une opération qui modifie les données sur la structure enregistrées dans le fichier \*.RTD. Vous obtenez alors l'état de calcul Non actuels.

#### V.4.5. Traitement des résultats :

Avec les types de structures volumiques ou de plaques/coques, sélectionnez Analyse>Traitement des résultats pour définir le traitement des résultats pour l'affichage des cartographies(Fig. 2.23).

➤ La boîte de dialogue contient les informations suivantes :

- ✓ Un nom de modèle
- ✓ Une brève description du modèle
- ✓ Une liste de résultats à calculer

Quatre modèles standards contenant les jeux de résultats de base sont disponibles.

Pour calculer les résultats, cliquez sur Démarrer le traitement ou activez l'option Démarrer le traitement des résultats après les calculs. Lorsque les calculs d'un modèle de structure sont terminés, le traitement des résultats commence automatiquement.

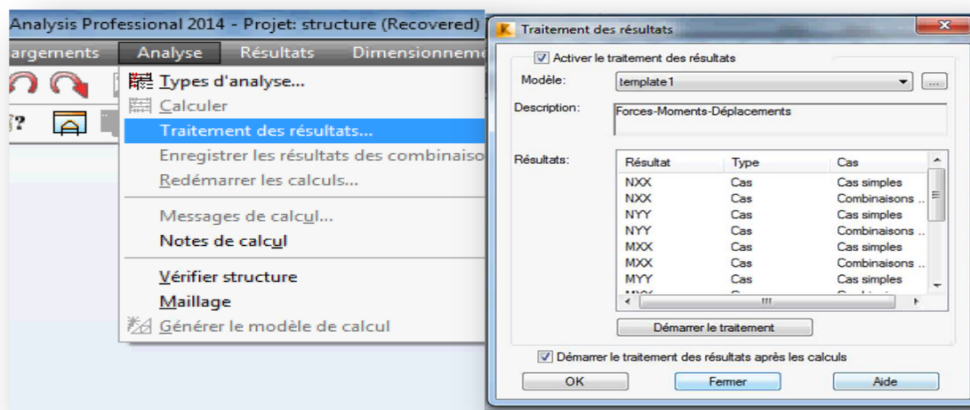


Figure 5.23: Traitement des résultats

Vous pouvez créer des modèles définis par l'utilisateur pour le traitement des résultats. Pour définir un nouveau modèle, cliquez sur le bouton (...). La boîte de dialogue Composition du modèle pour le traitement des résultats s'ouvre. Le traitement des résultats est destiné aux modèles de structure volumineux qui exigent d'importantes ressources. Il est possible de traiter les résultats à l'avance si le processeur et la mémoire ne sont pas sollicités excessivement. Il est possible de procéder au traitement des résultats dans le logiciel Robot ou dans l'application externe utilisée à cet effet. La différence du temps d'accès aux résultats obtenus est visible dans l'affichage des cartographies des structures surfaciques ou volumiques. Si les résultats sont préparés (mis en mémoire tampon) lors de la présentation des cartographies, il n'est pas nécessaire de recalculer les valeurs pour les cartographies, mais uniquement de redessiner la structure. L'option permettant d'activer ou de désactiver le traitement par défaut des résultats pour l'affichage de cartographies est disponible dans la boîte de dialogue Préférences, dans l'onglet Avancées.

## **APPLICATION : Petit Barrage Contrefort de Sidi Ali Segguana wilaya de Batna**

### **V.4.6. Éléments finis ,différences finies :(Méthode numérique des éléments finis ):**

Liée à l'utilisation de gros ordinateurs, la méthode des éléments finis a été développée aux États-Unis par ZIENKIEWICZ et CLOUGH. La méthode des éléments finis à découper le milieu continu en éléments simples ,triangle ou tétraèdres ,ceux-ci sont étudiés séparément ,puis assemblés entre eux en un nombre fini de points nodaux ,les sommets des triangles par exemple. Les forces appliquées au milieu sont remplacées par des forces externes équivalentes appliquées aux nœud .

Il s'agit en fait d'une méthode variationnelle approchée dont la justification peut être faite à partir du théorème de l'énergie potentielle : « Dans une structure élastique linéaire ,de tous les champs de déplacements admissible ,c'est le champ réel qui minimise l'énergie potentielle interne du système ».

Ce théorème débouche sur des modèles où les inconnues principales sont les déplacements des nœuds. Cette méthode est employée dans plusieurs logiciels commerciaux (Abaqus, Ansys, ,Sap,Robot ... etc.)

### **V.4.7. La forme du profil étudié :**

En applique Logiciel Robot Millenium (modélisé par 3D )pour étudier ce profil qui contient deux forme (Rectangle et Triangle).

#### **V.4.7.a. Géométrie du profil :**

Dans le présent travail numérique, un profil en modélisé par le logiciel Robot millenium qui respecte les dimensions réelles du barrage. Ce Logiciel travail de 3D

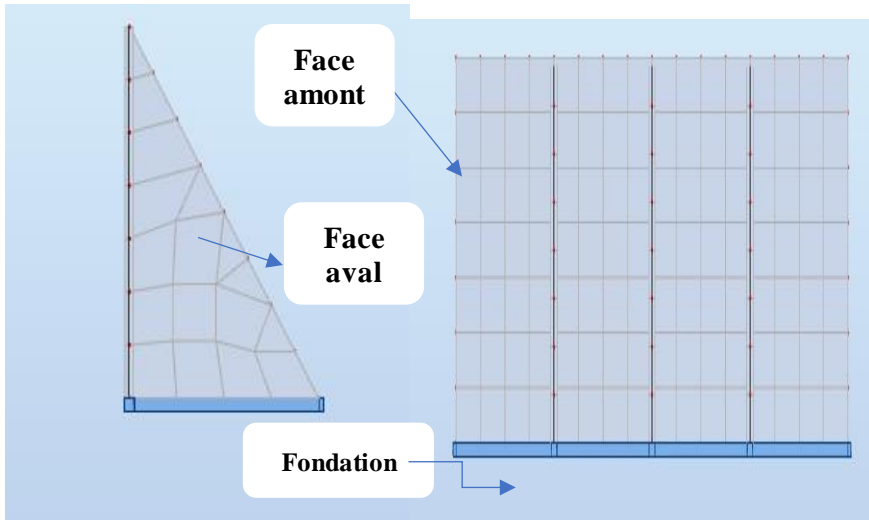


Figure N°5.24 : Géométrie de profil déclaré sous le logiciel

#### V.4.7.b. Maillage du profil :

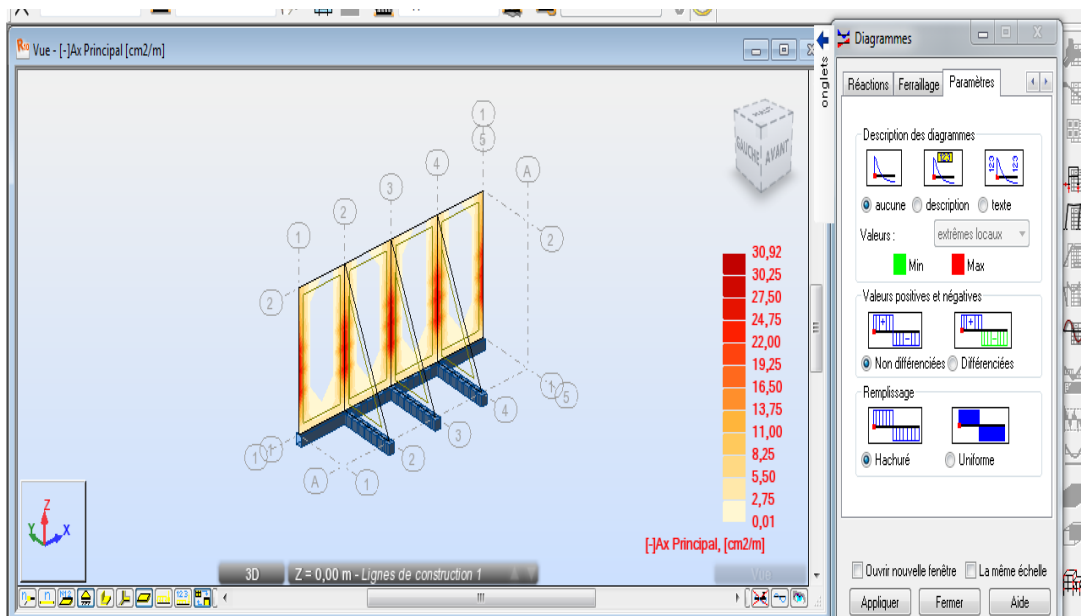


Figure N°5.25 : Maillage du profil Étudié

### V.4..7.c. Conditions aux limites:

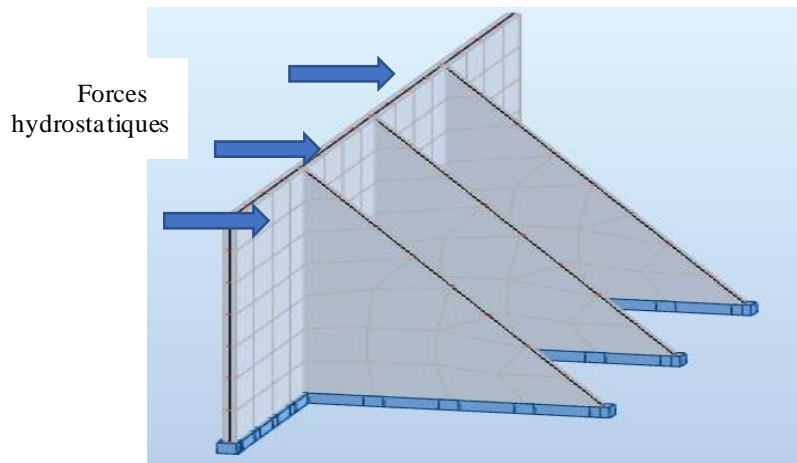


Figure N° :5.26 : Potions des pressions hydrostatiques

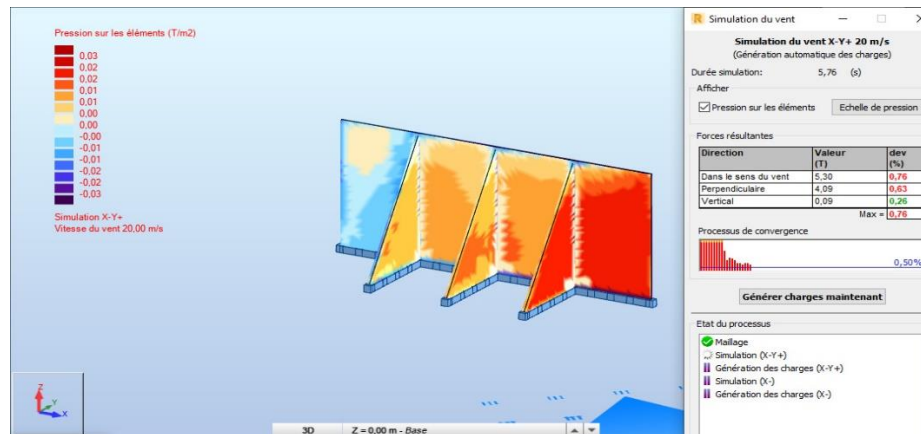


Figure N° :5.27 : Répartitions des contraintes

#### DESCRIPTION DES MODÈLES :

La figure suivante montre les faces principales du profil de barrage. La face amont est composée d'un mur rectangulaire. On trouve deux types de contre forts petits et grands répartis sur deux plans et qui s'étendent vers le bloc massif en aval.

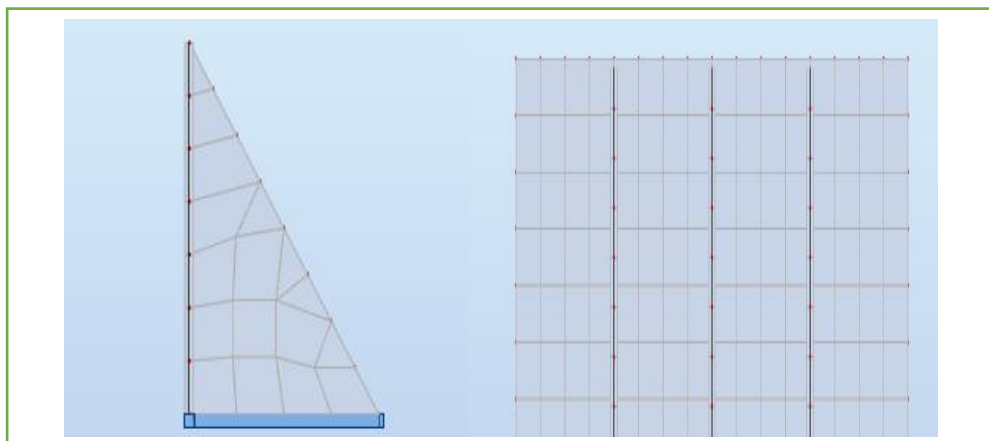
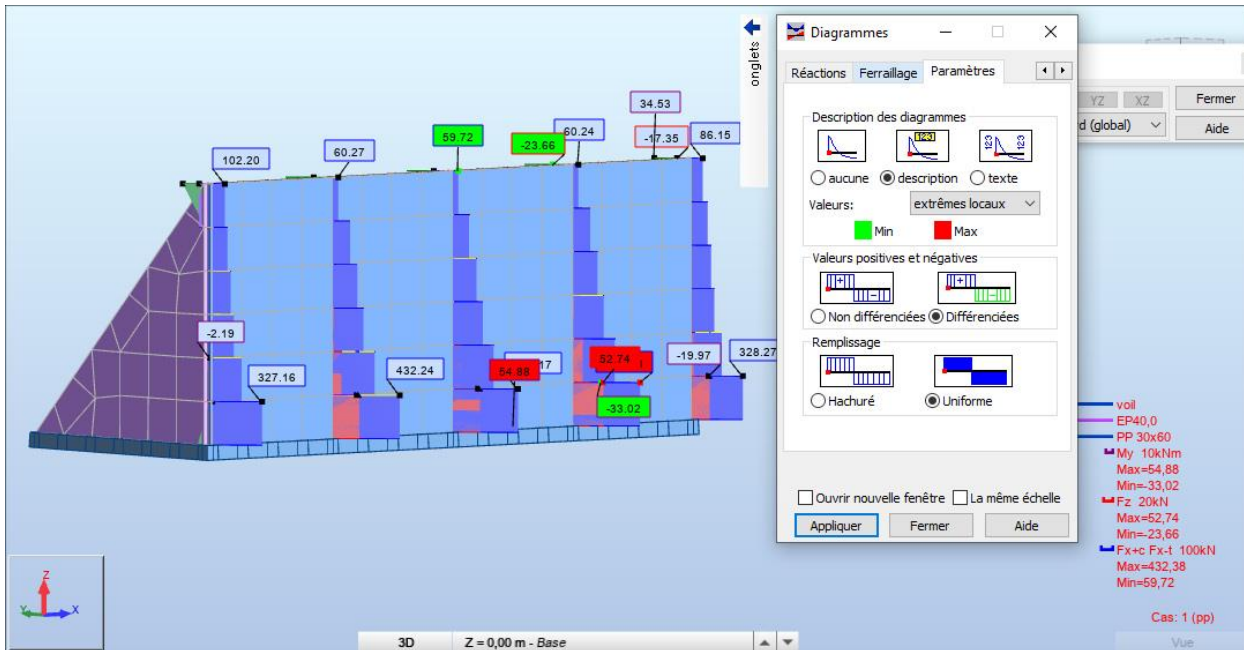


Figure N° 5.28 :Les Faces Principales de Profile étudiant (Barrage Sidi Ali)

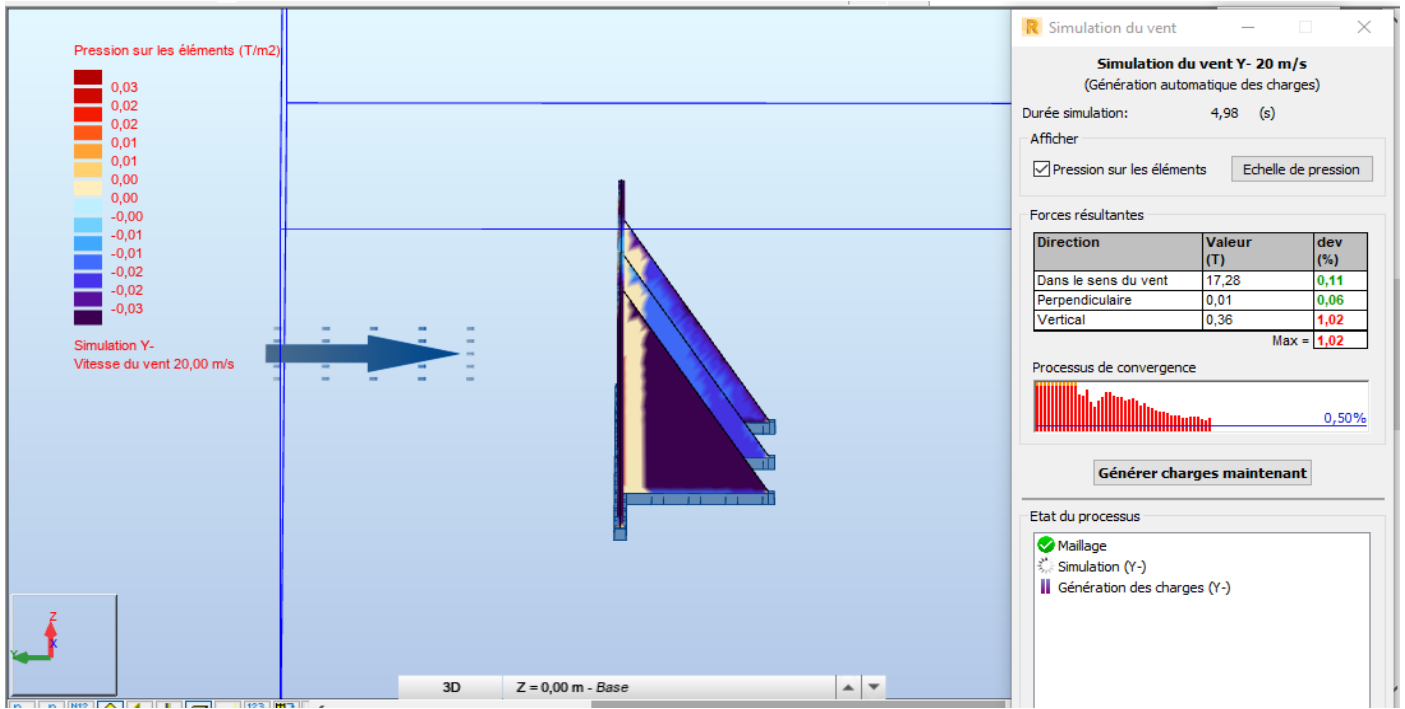
On doit aussi respecter un ordre précis de numérotation des nœuds. Si on regarde la fondation de l'amont vers l'aval, on commence la numérotation des noeuds par les noeuds les plus hauts à gauche en amont, ensuite par les nœuds correspondants en aval. Ensuite, on continue la numérotation des nœuds en descendant jusqu'à arriver à l'autre côté (droite). L'ordre de numérotation de chaque élément fini doit être fait, si on regarde la fondation de l'amont vers l'aval, dans le sens anti horaire .

**Figures 5.29 : Maillages des différentes partie du barrage**

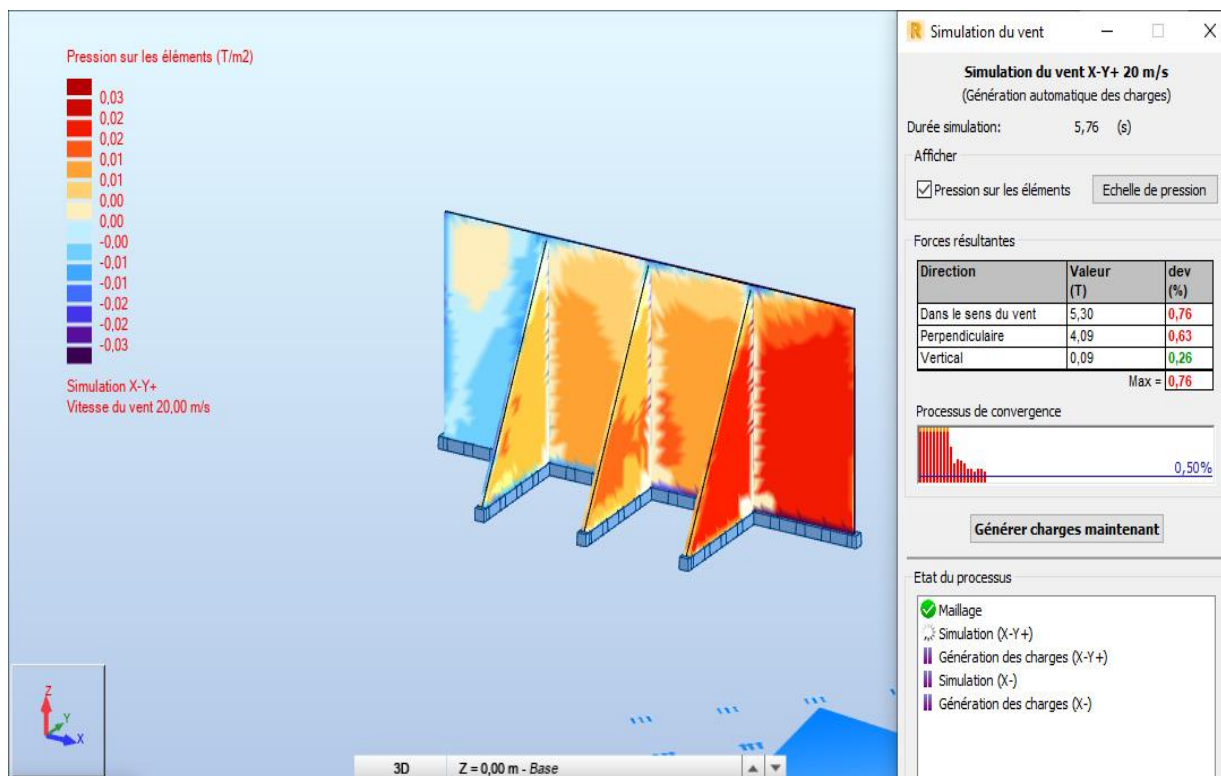


## Fondation

La fondation du barrage est composée par le volume de roche adjacent au barrage. On pourrait modéliser ce volume par des éléments finis tridimensionnels. Le temps de traitement analytique de ces éléments de volume étant très long, cela rendrait le processus impraticable. On utilisera plutôt le logiciel Robot millenium 2019, qui va permettre de modéliser la fondation par des éléments de surface. La fondation sera modélisée par la surface de contact entre le barrage et le sol , Puisque l'on considère la masse de la fondation, un amortissement relié au matériel de la fondation de type hystérétique est pris en compte.



Figures 30 Simulation de vent dans le corps du barrage



Figures 31 Simulation de vent dans le corps du barrage

## Conclusion :

Propriétés du projet: **barrage Seguana batna**

Type de structure: Volumique

Type d'analyse: Sismique - RPA 99 (2003)

Direction de l'excitation:

Coordonnées du centre de gravité de la structure:

X = 12.000 (m)

X = 1.000

Y = 1.842 (m)

Y = 0.000

Z = 4.079 (m)

Z = 0.000

Moments d'inertie centraux de la structure:

I<sub>x</sub> = 6048351.233 (kg\*m<sup>2</sup>)

I<sub>y</sub> = 31674759.863 (kg\*m<sup>2</sup>)

I<sub>z</sub> = 30924382.567 (kg\*m<sup>2</sup>)

Masse = 452746.861 (kg)

Description de la structure

Nombre de noeuds: 239

Nombre de barres: 5

Eléments finis linéiques: 30

Eléments finis surfaciques: 216

Eléments finis volumiques: 0

Nbre de degrés de liberté stat.: 1152

Cas: 23

Combinaisons: 16

Liste de cas de charges/types de calculs

Cas 1 : pp

Type d'analyse: Statique linéaire

Cas 2 : cp

Type d'analyse: Statique linéaire

Cas 3 : cm

Type d'analyse: Statique linéaire

Cas 4 : q

Type d'analyse: Statique linéaire

Cas 5 : Modale

Type d'analyse: Modale

Données:

Mode d'analyse : Modal

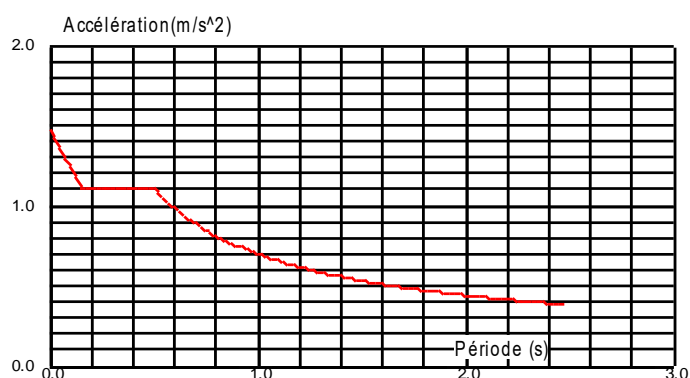
Type de matrices de masses : Cohérente

Nombre de modes : 10

Limites : 0.000

Coefficient des masses participantes : 0.000

Cas 6 : dx



Données:

Zone : I  
Usage : 1B  
Assise : S3  
Coefficient de qualité : 1.200  
Coefficient de comportement : 3.500  
Amortissement  $x = 7.00\%$

Paramètres du spectre:

Correction de l'amortissement:  $h = [7/(2+x)]^{0,5} = 0.882$

A = 0.120

T1 = 0.150 T2 = 0.500

Cas 7 : dy

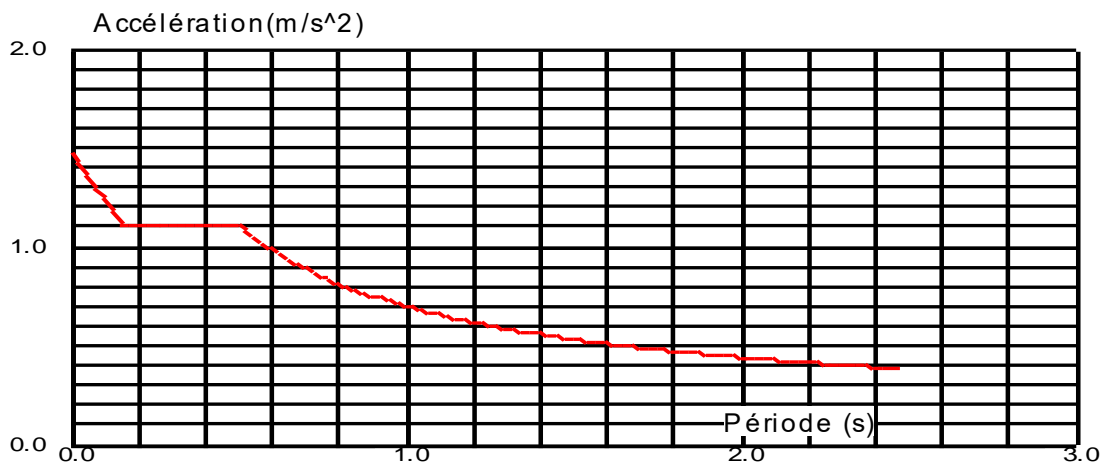
Type d'analyse: Sismique - RPA 99 (2003)

Direction de l'excitation:

X = 0.000

Y = 1.000

Z = 0.000



Données:

Zone : I  
Usage : 1B  
Assise : S3  
Coefficient de qualité : 1.200  
Coefficient de comportement : 3.500  
Amortissement :  $x = 7.00\%$

Paramètres du spectre:

Correction de l'amortissement  $h = [7/(2+x)]^{0,5} = 0.882$

A = 0.120

T1 = 0.150 T2 = 0.500

Cas 8 : G

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 9 :  $G+Q$   
Type d'analyse: Combinaison linéaire  
Cas 10 :  $1.35G+1.5Q$   
Type d'analyse: Combinaison linéaire  
Cas 11 :  $G+Q+DX$   
Type d'analyse: Combinaison linéaire  
Cas 12 :  $G+Q-DX$   
Type d'analyse: Combinaison linéaire  
Cas 13 :  $G+Q+DY$   
Type d'analyse: Combinaison linéaire  
Cas 14 :  $G+Q-DY$   
Type d'analyse: Combinaison linéaire  
Cas 15 :  $G+Q+1.2DX$   
Type d'analyse: Combinaison linéaire  
Cas 16 :  $G+Q-1.2DX$   
Type d'analyse: Combinaison linéaire  
Cas 17 :  $G+Q+1.2DY$   
Type d'analyse: Combinaison linéaire  
Cas 18 :  $G+Q-1.2DY$   
Type d'analyse: Combinaison linéaire  
Cas 19 :  $0.8G+DX$   
Type d'analyse: Combinaison linéaire  
Cas 20 :  $0.8G-DX$   
Type d'analyse: Combinaison linéaire  
Cas 21 :  $0.8G+DY$   
Type d'analyse: Combinaison linéaire  
Cas 22 :  $0.8G-DY$   
Type d'analyse: Combinaison linéaire  
Cas 23 :  $G+0.2Q$   
Type d'analyse: Combinaison linéaire

## **Conclusion Générale :**

Le travail réalisé dans ce projet, porte sur l'étude hydrologique du barrage de Sidi Ali wilaya de Batna. L'élaboration de cette étude contient l'étude de la zone du barrage et l'étude des apports et des crues avec la régularisation et prédimensionnement du barrage.

Dans ce travail, nous avons commencé en premier lieu dans le premier chapitre par des généralités sur les barrages dans lequel nous avons donné un aperçu sur les différents types des barrages suivi par une présentation générale du milieu d'étude la zone de Sidi Ali située dans la commune de Seguana Wilaya de Batna.

Le troisième chapitre étude hydrologique se compose de deux volets ; le premier est consacré à la détermination des différents paramètres hydrologiques nécessaires dans le dimensionnement du barrage suivi dans le deuxième volet de l'étude de régularisation et du laminage des crues.

Dans le quatrième chapitre, nous avons présenté le logiciel Robot et dans le dernier chapitre nous avons étudié la stabilité du barrage en particulier sa stabilité interne en utilisant le logiciel Robot par éléments finis.

Enfin, Ce mémoire nous donne l'opportunité d'enrichir nos connaissances d'hydraulique et particulièrement dans le domaine des barrages. Et permis de mettre en œuvre nos compétences scolaires, professionnelles et humaines.

## Références bibliographiques :

- \*Petits barrages : Recommandations pour la conception, la réalisation et le suivi, cemagref édition.
- \*Cours de barrage, Master 1 Hydraulique, département d'hydraulique, **Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen.**
- \***ANBT**, agence nationale des barrages et transferts
- \*Stabilité des barrages de dérivation.
- \*Etude pour la réalisation de la retenue collinaire **SIDI ALI** Commune de **SEGGANA** wilaya de **BATNA** . Réalisé par Bureau d'étude de **Mr Berghout Ali**
- \* Règles parasismique algériennes « **RPA99/Version 2003** »
- \* **LE BARRAGE D'ESCH-SUR-SURE** Les raisons de la vidange du Lac et les travaux d'assainissement du Barrage par Monsieur Georges MOLITOR, ingénieur-chef de division de l'Administration des Ponts et Chaussées, Préposé à la Division des Eaux.
- \* Memoire de fin d'étude En vue de l'obtention du diplôme de : **Master En Génie Civil** . Option : **Structures** ,Thème : Analyse de quelques structures de Génie Civil par M.E.F en utilisant le logiciel **ROBOT**. (-**Youcef LAIB - Hemza SALEM**).
- \* Cours d'initiation a la méthodologie de recherche
- \* Initiation a la recherche Scientifique Notes de cours destinées aux étudiants de Licence I . Par **M. Eric LUBANGU**.
- \*Etude du barrage **Sidi Abdellah – Taroudant**
- \* Mémoire de projet de fin d'études pour l'obtention du diplôme **d'ingénieur d'état** de l'école **Hassania** des travaux publics
- \* par : **Ossama KCHIKESH Mohamed El Amine EL HASSANI**