

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique

Université Akli Mohand Oulhadj - Bouira -
Institut de Technologie



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة أكلي محمد أولحاج
- البويرة -
معهد التكنولوجيا

Département de Génie de l'Eau

Rapport de soutenance

En vue de l'obtention du diplôme

de Licence professionnalisant en :

Génie de l'eau

Thème :

**ETUDE HYDROLOGIQUE DU BARRAGE DE
M'DJEDEL WILAYA DE M'Sila**

Réalisé par :

FERGANI Mustapha

Encadré par :

Mr DJAFER KHODJA Hakim

Tuteur de l'entreprise:

Mme RYEH Karima

Agence National des Barrages et Transfert

Examineur : Mme D.BALOUL

Président de jury: Mr S.MOULAI

ملخص :

في إطار الاستراتيجية الوطنية التي تهدف إلى الحفاظ على الموارد المائية من أجل الاستفادة من الملايين المكعبة من المياه المبددة في الصحراء ، ترى الوكالة الوطنية للسدود و التحويلات ضرورة إنشاء سدود و حواجز مائية بالمنطقة. قمنا في هذا العمل بدراسة هيدرولوجية على مستوى واد مجدل (ولاية المسيلة) لإنشاء سد من أجل تزويد المنطقة بالمياه للشرب و لسقي الأراضي الفلاحية.

Résumé :

Dans le cadre de la stratégie nationale en matière de conservation des eaux et afin d'exploiter les millions de mètres cube d'eau qui se perd inutilement dans les déserts, l'Agence Nationale des Barrages et Transfert (ANBT) voit l'obligation de construire des barrages. Toutefois l'étude, le choix et le dimensionnement des ouvrages de stockage. Ainsi, le travail que nous avons mené dans ce rapport est une étude hydrologique d'un barrage dans la wilaya de M'Sila sur l'Oued M'djedel, destiné principalement à l'alimentation en eau potable et l'irrigation des terres agricoles.

Abstract :

In the label of the national strategy for water conservation and to exploit the million cubic meters of water that is wasted unnecessarily in the desert, the National Agency of Dams and Transfer (ANBT) sees the obligation to build dams. However, the study, the choice and the dimensioning of the storage structures. Thus, the work that we conducted in this report is a hydrological study of a dam in the wilaya of M'Sila on Oued M'djedel, intended mainly for the supply of drinking water and the irrigation of agricultural lands.

REMERCIEMNT

Avant tout, on remercie le Dieu de nous avoir accordée le courage et la patience pour pouvoir accomplir ce rapport de fin d'étude.

A nos chers parents et à nos familles pour lesquels on est largement redevables pour tout le succès durant toutes ces années.

J'adresse mes remerciements à mon promoteur M. DJAFER KHODJA Hakim pour la qualité de leur encadrement.

Je veux également adresser mes remerciements À Madame RYEH, ma promotrice à l'ANBT.

Je remercie aussi les membres du jury, Mr S.MOUALAI et Mme D.BALOUL pour m'avoir fait l'immense honneur de faire partie du jury de ma soutenance.

A ne pas oublier Mr Z IANI Hamid, Mme BEN MHIRES, Mme OUCHAR et tout le personnel de la Direction des études techniques et de l'ANBT.

SOMMAIRE :

Introduction	1
CHAPITRE I : Présentation de l'entreprise	
I.1. Introduction.....	3
I.2. But	3
I.3. Les missions	3
I.4. Conclusion	4
CHAPITRE II : Présentation de la zone d'étude	
II.1. Introduction	6
II.2. Etude Géologique	7
II.2.1. Description du terrain	7
II.2.2 Terrains de couverture	7
II.3. Caractéristiques générales du bassin versant	9
II.3.1. Les caractéristiques géométriques	10
II.3.2. Caractéristiques hydro morphologiques	10
II.3.3. Caractéristiques du relief	11
II.3.4. Caractéristiques du réseau hydrographique	17
II.4. Climatologie	20
II.4.1. Introduction	20
II.4.2. La Température de l'air	20
II.4.3. La vitesse du vent.....	21
II.4.4. Evaporation	21
II.5. Conclusion	22
CHAPITRE III : Etude des précipitations et des apports	
III.1. Etude des précipitations	24
III.1.1. Introduction	24
III.1.2. Analyse des données pluviométriques	24
III.1.3. Critique et homogénéisation des données pluviométriques	25
III.1.3.1. Test de Wilcoxon	25
III.1.3.2. La méthode des doubles cumules (doubles masses)	27
III.1.3.3. Complément des séries pluviométriques	29
III.1.4. Evaluation de la pluie moyenne	33
III.1.4.1. La moyenne arithmétique	33
III.1.4.2. La méthode de Thiessen	33

III.4.3. La Station représentative	33
III.2. Les précipitations maximales journalières : $P_{\max, j}$	35
III.2.2. La méthode manuelle	35
III.2.3. A l'aide de logiciel Hyfran	38
III.3.2. Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GUMBEL	38
III.3. Etude des Apports liquides	40
III.3.1. Apport liquide moyen	40
III.3.1.1. les formules empiriques	40
III.3.2. l' Estimation fréquentielle des apports	41
III.3.2.1. Répartition mensuelle de l'apport moyen annuel	44
III.4. Le Transport solide	45
III.4.1. Les Formules empiriques	45
III.5. Calcul du volume mort	46
III.6. Conclusion	46

CHAPITRE IV : Etude de la régularisation

IV.1. Introduction	48
IV.2. Les paramètres indispensables ou calcul de la régularisation	48
IV.2.1. La répartition mensuelle de l'apport ($A \text{ Hm}^3$)	48
IV.2.2. La répartition mensuelle des besoins en eau (l'AEP et l'Irrigation)	48
IV.2.3. Courbes caractéristiques de la retenue	49
IV.3. Calcul du volume utile	51
IV.4. La Régularisation saisonnière sans tenir compte des pertes	51
IV.4.1. Calcule Le volume de la retenue normale V_{NNR}	51
IV.5. La Régularisation saisonnière (en tenant compte des pertes)	54
IV.5.1. Pertes par évaporation	54
IV.5.2. Pertes par infiltration	54
IV.6. La Régularisation interannuel	57
IV.6.1. Calcul du volume utile interannuel sans tenir compte des pertes	57
IV.7. Conclusion	58

CHAPITRE V : Etude des crues

V.1. Introduction	61
V.2. Les Formules empiriques pour la détermination de la crue	61
V.3. Hydrogramme de crue	63
V..3.1. Pour le temps de montée	63

V.3.2. Pour le temps de décrue	63
V.4. Choix de la crue du projet	65
V.5. Laminage des crues	66
V.5.1. Laminage de la crue de projet par la méthode de KOTCHERINE.....	66
V.5.1.1. Estimation du débit de la crue laminée	66
V.5.1.2. Estimation de la charge au-dessus du déversoir.....	66
V.6. Conclusion	66

CHAPITRE VI : Pré-dimensionnement du barrage

VI.1. Introduction	71
VI.2. Divers types de barrages	71
VI.2.1. Les barrages en remblai	71
VI.2.1.1. Barrage homogène	71
VI.2.1.2. Barrage à noyau	71
VI.2.1.3. Barrage à masque.....	71
VI.2.1.4. Barrage en enrochement	71
VI.2.2. Les Barrages en béton	71
VI.2.2.1. Barrage poids	72
VI.2.2.2. Barrage voûte.....	72
VI.2.2.3. Barrages à contrefort.....	72
VI.3. Le type de barrage M'djedel	72
VI.4. La hauteur du barrage H_B	72
VI.1. La revanche R.....	72
VI.5. Largeur en crête	73
VI.6. Largeur du fond	73
VI.7. Conclusion	74
Conclusion générale	75

LISTE DES FIGURES :

Figure (I.1) : La situation géographique de l'ANBT	3
Figure (I.2): l'organigramme de l'ANBT	4
Figure (II.1) : La situation du site du barrage de M'djedel dans la wilaya de M'Sila..	6
Figure (II.2): Vue du site à partir de l'amont	8
Figure (II.3): Vue de la rive droite	8
Figure (II.4) : Vue de la rive gauche	8
Figure (II.5) : présente la délimitation du bassin versant	9
Figure (II.6) : une image prise de l'Arc Gis	10
Figure (II.7) : Classification de surface partielle par L'Arc Gis	12
Figure (II.8): la courbe hypsométrique.....	13
Figure (II.9): Le réseau hydrographique du bassin versant de M'djedel	16
Figure (II.10): Variation mensuelle de températures - Station de Djelfa.....	20
Figure (II.11) : Situation géographique de Bou Saada.....	21
Figure (II.12): Variation mensuelle de l'évaporation - plan d'eau Barrage M'Djeldel	22
Figure (III.1) : Série chronologiques de pluies annuelles	24
Figure (III.2): Double cumule avant la correction	28
Figure (III.3): Double cumule après la correction	29
Figures (III.4-13) : Régression linéaire entre les stations	32
Figure (III.14) : Application de la méthode de Thiessen Sur Arc Gis	33
Figure (III.15): Répartition mensuelle des précipitations	34
Figure(III.16): l'ajustement de $P_{max,j}$ avec loi Normal.....	38
Figure(III.17): l'ajustement de $P_{max,j}$ avec loi de GUMBEL	39
Figure (III.18): Ajustement des apports à la loi de loi-normale.....	42
Figure (III.19): Ajustement des apports à la loi de loi-Gumbel.....	44
Figure (III.20): Répartition mensuelle de l'apport liquide moyen.....	45
Figure (IV.1): Courbe Capacité-Hauteur.....	50
Figure (IV.2): Courbe Hauteur-Surface	51
Figure (IV.3): Courbe Capacité-Surface	51
Figure (V.1): Hydrogrammes des crues.....	65
Figure (V.2): Laminage de la crue de projet pour différentes largeur du déversoir ...	68
Figure (V.3): Courbes $V=F(q)$ avec différentes largeur du déversoir	69

LISTE DES TABLEAUX :

Tableau (II.1) : Calcul des surfaces cumulées	12
Tableau (II.2) : Détermination de l'altitude moyenne	13
Tableau (II.3) : Altitudes caractéristiques du bassin versant de M'djedel	14
Tableau (II.4) : Détermination de la pente Roche I_p	15
Tableau (II.5) : classification de O.R.S.T.O.M (type du relief)	16
Tableau (II.6) : Résumé des résultats de temps de concentration	17
Tableau (II.7): Les Caractéristiques du bassin versant	19
Tableau (II.8) : Caractéristiques des stations références	20
Tableau (II.9) : Répartition mensuelle des températures	20
Tableau (II.10) : Répartition mensuelle des températures moyennes	21
Tableau (II.11) : Répartition mensuelle des évaporations mensuelles	21
Tableau (III.1) : Les caractéristiques de ces stations observées sont représentées ...	24
Tableau (III.2) : Série de pluies annuelles	26
Tableau (III.3) : Application de la méthode de Wilcoxon	26
Tableau (III.4) : Résultat d'application de la méthode de Wilcoxon	27
Tableau (III.5) : D'application la méthode de double cumule	27
Tableau (III.6) : corrélation simple à l'échelle annuelle entre les stations	30
Tableau (III.7) : Application de la méthode de moyenne arithmétique au calcul de la pluie moyenne interannuelle	33
Tableau (III.8) : Résumé de résultat des pluies annuelles	34
Tableau (III.9) : Répartition mensuelle des précipitations	34
Tableau (III.10) : Les caractéristiques de la série	35
Tableau (III.11) : résultat de l'ajustement de $P_{j_{max}}$ à la loi de Normal	36
Tableau (III.12) : résultat de l'ajustement de $P_{j_{max}}$ à la loi de GUMBEL	37
Tableau (III.13) : résultat de l'ajustement de $P_{j_{max}}$ à la loi Normal	38
Tableau (III.14) : résultat de l'ajustement $P_{j_{max}}$ à la loi de GUMBEL	39
Tableau (III.15) : Résumé des résultat des Apports liquides moyens	42
Tableau (III.16) : Les valeurs de l'apport fréquentiel pour différentes périodes de retours	43

Tableau (III.17) : Les valeurs de l'apport fréquentiel pour différentes périodes de retours	44
Tableau (III.18) : la répartition mensuelle des Apports	45
Tableau (III.19) : Résumé de résultat des Transport solide	47
Tableau (IV.1) : la répartition mensuelle des Apports	49
Tableau (IV.2) : les Répartitions mensuelles des besoins	49
Tableau (IV.3) : Caractéristiques topographiques et volumétriques de la retenue ...	50
Tableau (IV.4) : Les mois excédentaires	52
Tableau (IV.5) : Les mois déficitaires	52
Tableau (IV.6) : Calcul des volumes excédentaires et déficitaires " V_s " et " V_d " ...	52
Tableau (IV.7) : Régularisation saisonnière sans tenir compte des pertes en (Hm^3)	54
Tableau (IV.8) : valeurs de δ en fonction des conditions hydrogéologiques	55
Tableau (IV.9) : Les volumes des pertes dans la retenue	56
Tableau (IV.10) : La Régularisation saisonnière (en tenant compte des pertes)	57
Tableau (V.1) : Débit maximum de crue pour différents périodes de retour (Formule de MALLET-GAUTHIER)	61
Tableau (V.2) : Débit maximum de crue pour différents périodes de retour (Formule de POSSENT)	62
Tableau (V.3) : Débit maximum de crue pour différents périodes de retour (Formule de Giandotti)	62
Tableau (V.4) : débits fréquentielles pour la construction l'hydrogramme de crue de la Phase de la montée	64
Tableau (V.5) : débits fréquentielles pour la construction l'hydrogramme de crue de la Phase de la démontée	64
Tableau (V.6) : recommandations du Comité Australien des Grands Barrages	65
Tableau (V.7) : Les données de départ pour la méthode de KOTCHERINE	67
Tableau (V.8) : Débits déversant en fonction de H_0 b et le volume de la crue	68
Tableau (VI. 1) : les paramètres de la hauteur du barrage	72

LISTE DES ABREVIATIONS :

l'ANBT : L'Agence Nationale des Barrages et Transfert

BV : Le bassin versant

L_p : La longueur du thalweg principal (km)

K_c : Coefficient de compacité de Gravelius

P : Périmètre du bassin versant (km)

S : Surface du bassin versant (km²).

K_p : Coefficient d'allongement

L_r : longueur du rectangle (km)

l_r : largeur du rectangle (km)

H : Altitude (m)

H_{moy} : altitude moyenne du bassin (m)

H_{50%} : L'altitude médiane (m)

I_g : L'indice de pente globale

I_p : Indices de pente de Roche

D_i : La distance entre deux courbes de niveau (m)

I_m : Indice de pente Moyenne

H_{max} : Altitude max (m)

H_{min} : Altitude min (m)

D_s : Dénivelée spécifique (Densité) (m)

D_d : Densité de drainage (km/km²)

T_c : Temps de concentration

V_t : La Vitesse moyenne de ruissèlement :

T° : température

E_s : Evaporation mensuelle

W_x : la somme des rangs des éléments du premier échantillon dans la série commune

W_x = Rang x²

b₀ : Ordonnée l l'origine

b₁ : pente de la droite

P_{moy} : Pluie moyenne annuelle m

PJ_{max} : la précipitation maximale journalière

σ_x : L'écart type

C_v : Coefficient de variation

u : la variable réduite de Gauss

x : précipitation maximale journalière (mm)

m : rang de précipitation

n : nombre d'observations

A_0 : Apport liquide moyen (Hm^3)

Le : Lame d'eau écoulée (mm).

T : période de retour (ans)

F : Fréquence

Q : Débit (Hm^3)

$Q_{max,f\%}$: Débit maximum pour une fréquence donnée (m^3/s).

K : Constante dépendant des caractéristiques du bassin : K (1-3)

μ : Coefficient compris entre 700 – 800 ; On prend $\mu = 750$.

$Q_{montée}$: Débit montée (m^3/s).

Q_{max} : Débit maximum pour une fréquence donnée (m^3/s).

T_m : Temps de montée. ($T_m = T_c$ (Temps de concentration))

$Q_{démontée}$: Débit démontée (m^3/s).

T_d : Temps de démontée

t : temps (heures)

T_s : le transport solide en ($t/Km^2/an$).

α : Paramètre caractérisant la perméabilité du bassin versant,

V_m : volume mort (Hm^3)

Dem AEP : demande d'Alimentation en Eau Potable (Hm^3)

Dem IRR : demande d'Irrigation (Hm^3)

S_i : surface du plan d'eau correspondant à la courbe de niveau H_i (km^2)

S_{i+1} : surface du plan d'eau correspondant à la courbe de niveau H_{i+1} (km^2)

ΔH : Différence d'altitude entre les deux courbes de niveau successives (m)

ΔV_i : Volume élémentaire compris entre deux courbes de niveau successives (Hm^3)

V_u : volume utile (Hm^3)

V_s : volume excédentaires (Hm^3)
 V_d : volume déficitaires (Hm^3)
 V_{NNR} : Le volume de la retenue normale*
 V_{ep} : volume perdu à cause de l'évaporation. (Hm^3)
 E_s : Evaporation mensuelle (m).
 S_{moy} : Surface du plan d'eau correspond au volume moyen (V_{moy}). (km^2)
 V_{moy} : volume moyen (Hm^3)
 $V_{f,i}$ et $V_{f,i+1}$: les volumes de la retenue de deux mois successifs. (Hm^3)
 V_{inf} : volume perdu à cause de l'infiltration (Hm^3)
 δ : Coefficient qui dépendant des conditions hydrogéologiques de la cuvette
 V_{moy} : volume moyen. (Hm^3)
 $V_{u_{int}}$: volume utile inter annuelle (Hm^3)
 V_{an} : volume annuelle (Hm^3)
 $V_{int\ an}$: volume inter annuelle (Hm^3)
 β_{plur} : composante interannuel
 α : Coefficient de régularisation on prend $\alpha = 0.9$
 $K_p\%$: Coefficient de l'hydraulicité
 $Fp\%$: la probabilité en fonction de $P\%$ et C_s
 H_B : La hauteur du barrage
 h_d : Hauteur d'eau correspond au volume forcé en (m)
 R : Revanche du barrage en (m)
 S_c : La Sécurité [0,5 – 3] (m)
 H_v : La hauteur des vagues (m)
 V_v : la vitesse des vagues (m)
 F : largeur du plan d'eau suivant laquelle le vent souffle fréquemment et direction du barrage appelée Fetch. (3,72)
 b_{cr} : Largeur de crête (m)
 B : Largeur du fond
 m_1, m_2 : Fruit de talus

Introduction :

Dans le cadre de l'amélioration et de l'application des connaissances acquises durant le cursus universitaire, l'institut de technologie à l'université Akli Mouhand Oulhadj, permet aux étudiants d'effectuer un stage pratique en 3^{ème} année Licence.

Du 03 Mars 2019 au 31 Mai 2019, j'ai effectué un stage au sein de l'Agence National des Barrages et Transfert (ANBT) et plus précisément dans La direction des études techniques (DET), Service hydrologiques.

En 2012, l'ANBT voit l'obligation de construire un barrage dans la wilaya de M'sila destiné à l'alimentation en eau potable et à l'irrigation

La construction d'un barrage demande plusieurs études, parmi ces études -notre thème- l'étude hydrologique.

L'étude hydrologique du projet du barrage a pour objectif d'estimer l'apport moyen annuel d'une part et d'autre part d'estimer aussi la crue contre laquelle il est nécessaire de protéger le barrage.

Ce travail se divise en cinq chapitres :

D'abord j'ai commencé par une introduction générale; ensuite, dans le premier chapitre j'ai présenté l'entreprise (ANBT). Dans le deuxième chapitre, j'ai fait une enquisse sur l'étude géologique et les caractéristiques du bassin versant. Le troisième chapitre concerne une étude des pluies ainsi qu'une étude des apports liquides et solides. Le quatrième chapitre s'étale sur une étude de la régularisation. Le cinquième chapitre est une étude des crues et de laminage des crues. Le dernier chapitre concerne l'étude pré-dimensionnement de la digue et enfin, j'ai terminé par une conclusion générale.

CHAPITRE I :
PRESENTATION DE
L'ENTREPRISE

I. Présentation de L'Agence Nationale des Barrages et Transfert l'ANBT :

I.1. Introduction :

Après les grands efforts que j'ai fournis pour trouver le stage sur le thème hydrologique, j'ai trouvé le bon lieu pour effectuer mon stage.

L'Agence Nationale des Barrages et Transfert par abréviation « ANBT », a été créée le **11 Juin 1985**, par décret n° 85-163 avec le Statut d'Etablissement Public à caractère Administratif (E.P.A).

Ce Statut a été réaménagé en Etablissement Public à caractère Industriel et commercial (EPIC), par décret exécutif n°05-101 du 23 Mars 2005.



Figure (I.1) : La situation géographique de l'ANBT

I.2. But :

L'ANBT a pour l'objectif l'exploitation et la mobilisation des ressources en eau afin d'assurer l'alimentation en eau potable et l'irrigation

I.3. Les missions :

L'A.N.B.T est chargée de l'exploitation et le transfert d'eau aux établissements chargés de sa distribution, elle assure pour le compte du Ministère des Ressources en Eau et dans le cadre de la maîtrise d'ouvrage déléguée, les études et la réalisation des barrages et transferts des eaux superficielles.

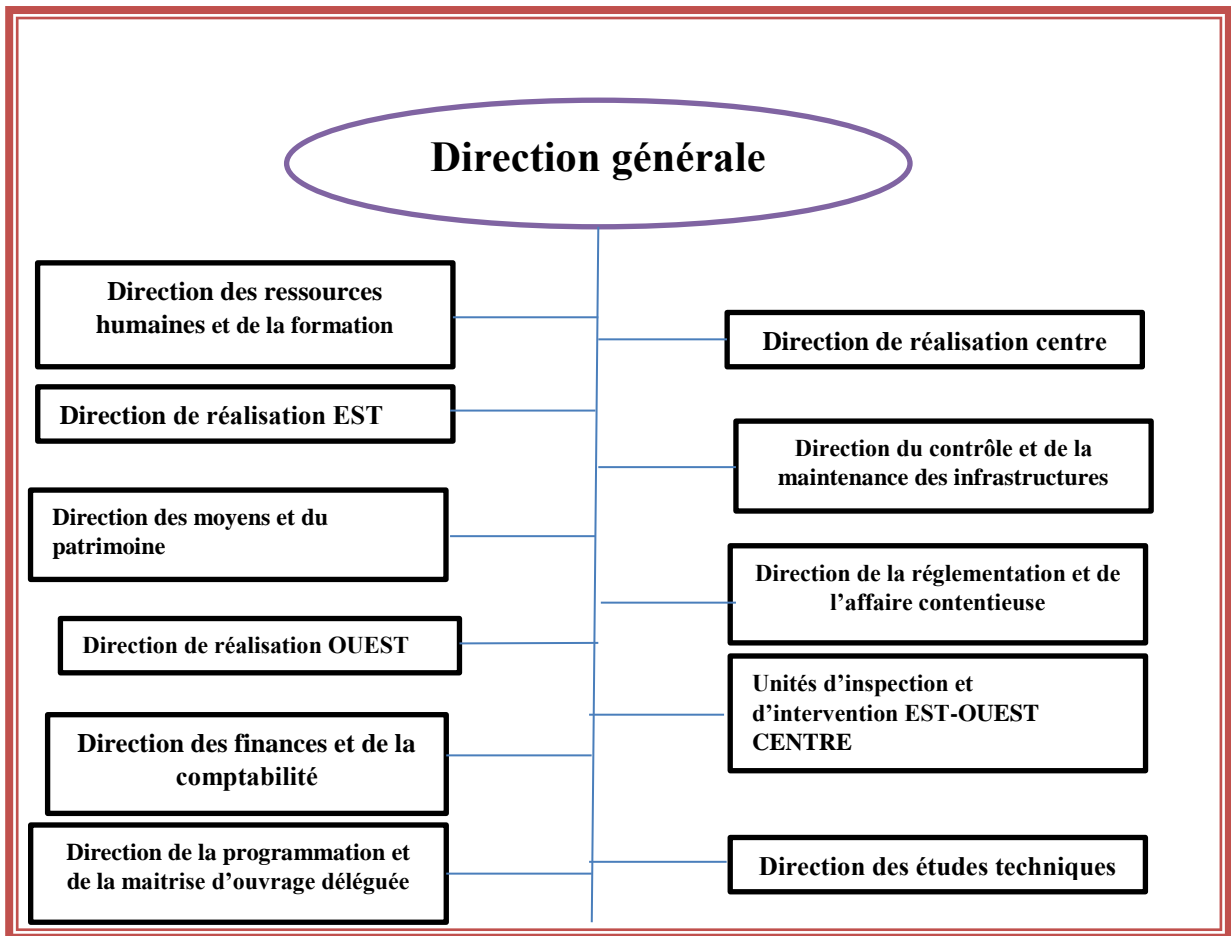


Figure (I.2): l'organigramme de l'ANBT

I.4. Conclusion :

L'ANBT c'est une grande entreprise. Elle gère 75 barrages d'une capacité totale de 4,08 milliards m³, correspondant à un taux de remplissage de 60 %. Pour une meilleure exploitation de ces ouvrages et afin de garantir leur pérennité, Elle effectue aussi 9 transferts (interconnexion entre les barrages) d'une longueur de 497.21 km, 9 adduction d'une longueur de 794.6 km et 16 projet en cours de réalisation.

CHAPITRE II :
PRESENTATION DE
LA ZONE D'ETUDE

II.1. Introduction :

La zone de barrage sur l'oued M'djedel est située à environ 3 km en amont (S-O) du village de M'Djedel qui porte le même nom, dans la Wilaya de M'Sila, à environ 55 km à l'ouest de la ville de Bou Saada et à 200 km de la zone côte méditerranéenne. La zone de l'étude est située dans une zone à faible pluviométrie (entre 200 et 300 mm). [2]

L'étude est faite sur la base de six cartes d'état-major à l'échelle 1/50000 : [1]

- **Dar Chioukh** : N°. NI-31-XVI-1 Est
- **Djelfa**, N°. NI-31-XVI-3 Est
- **M'djedel Est** : N°. NI 31 XXII- 8 Est
- **M'djedel Ouest** : N°. NI 31 XXII- 8 OUEST
- **Slim Est** : N°. NI-31-XVI-2 Est
- **Slim Ouest** : N°. NI-31-XVI-1 Ouest
- **Hassi Behbeh** N°. NI-31-XXII-7 Est

Coordonnées WGS 84-UTM zone 31N :

X = 562 750 m

Y = 3 886 670 m

Z = 868 m, NGA

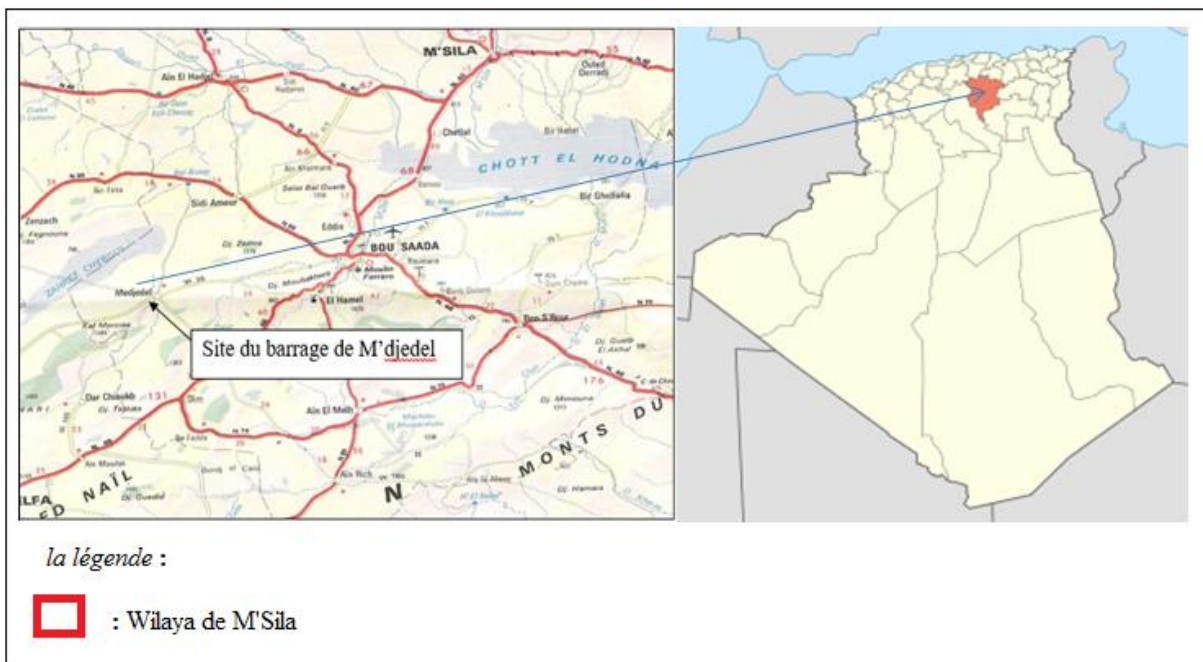


Figure (II.1) : La situation du site du barrage de M'djedel dans la wilaya de M'Sila [2]

II.2. Etude Géologique :

II.2.1. Description du terrain :

La zone d'étude se situe à l'extrémité orientale de l'Atlas Saharien, dans la région des Monts des Ouled Naïl. La morphologie est conditionnée par une succession de plis parallèles de direction SO-NE se traduisant par une alternance de crêtes allongées (djebels) le long des rides anticlinales et de cuvettes synclinales. L'altitude moyenne des rides varie de 1250 m à 1400 m, le Djebel Chebeibita culminant à 1544 m, tandis que l'altitude des dépressions se situe entre 800 m et 1000 m. La grande cuvette centrale de Dar Chioukh plonge légèrement vers le N-E et son altitude varie de 1150 m au S-O à 870 m au N-E.

II.2.2. Terrains de couverture :

Les terrains meubles de couverture sont représentés principalement par des argiles limoneuses ou sableuses et par les alluvions du lit et des basses terrasses. Accessoirement, des éboulements et des cônes de déjection de faible étendue recouvrent localement le substratum. D'autre part, l'altération en place du substratum affleurant conduit à la formation d'un horizon peu épais de sol éluvial et de rocher désagrègé.

Les argiles continentales limoneuses ou sableuses sont largement répandues sur la rive droite. Elles constituent également une frange étroite mais continue au pied de la rive gauche et s'étalent vers l'aval pour recouvrir entièrement la partie inférieure de l'interfluve qui sépare le lit de l'oued du thalweg rive gauche.

Une coupe type, telle qu'elle a pu être observée à proximité du site de barrage, présente à la base une couche de graviers, surmontée par des argiles sableuse dans laquelle on relève plusieurs intercalations de lentilles incluant des fragments de taille très variable.

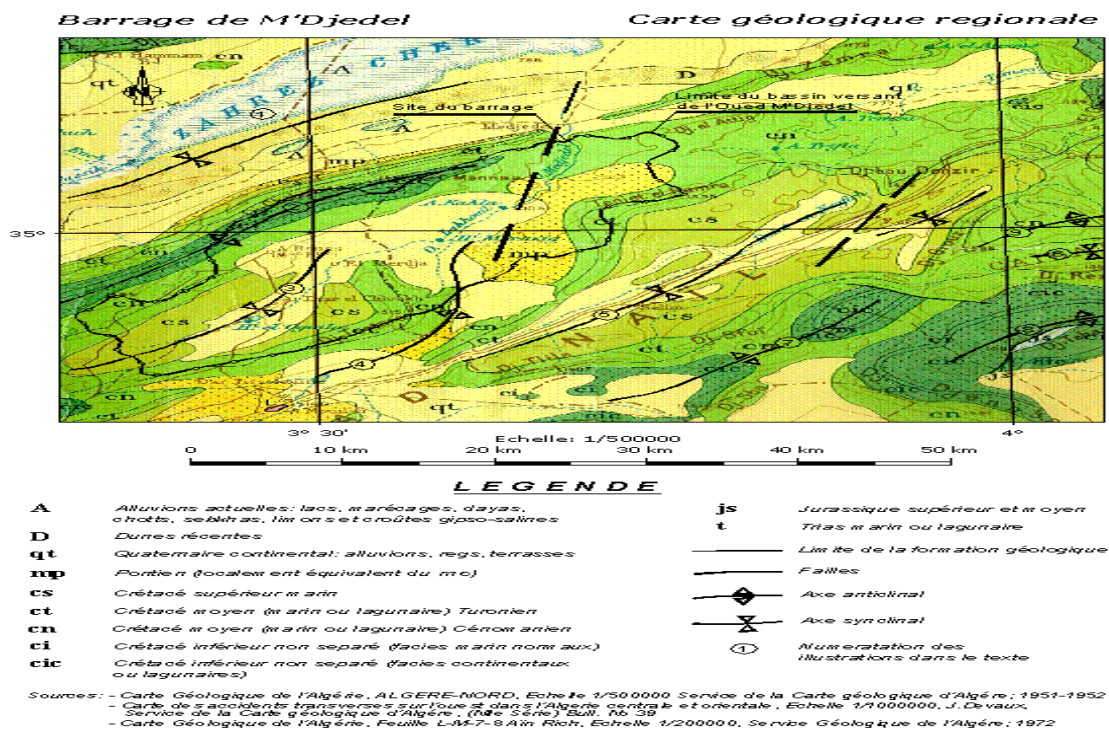


Figure (II.2): Carte géologique du terrain.



Figure (II.2): Vue du site à partir de l'amont [2]



Figure (II.3): Vue de la rive droite [2]



Figure (II.4) : Vue de la rive gauche [2]

II.3. Caractéristiques générales du bassin versant :

Le bassin versant en une section d'un cours d'eau est défini comme la surface drainée par ce cours d'eau et ses affluents en amont de la section. Tout écoulement prenant naissance à l'intérieur de cette surface doit donc traverser la section considérée, appelée exutoire, pour poursuivre son trajet vers l'aval. [7]

Le Bassin versant a différents paramètres du bassin versant (forme, altitude, pente, relief.....etc.) interviennent dans les différents écoulements.

La délimitation du bassin versant : qui j'ai élaboré à l'aide de logiciel Arc Gis.

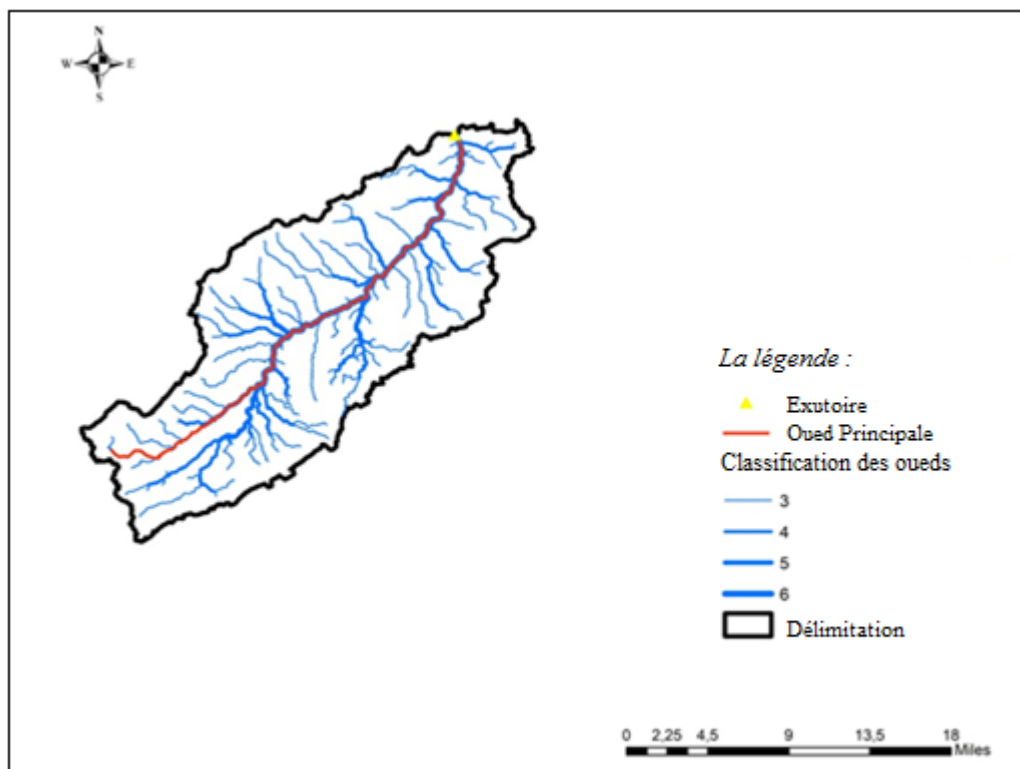


Figure (II.5) : Délimitation du bassin versant

L'Arc Gis : est un système complet qui permet de collecter, organiser, gérer, analyser, communiquer et diffuser des informations géographiques. En tant que principale plateforme de développement et d'utilisation des systèmes d'informations géographiques (SIG) au monde, Arc GIS est utilisé par des personnes du monde entier pour mettre les connaissances géographiques au service du gouvernement, des entreprises, de la science, de l'éducation et des médias.

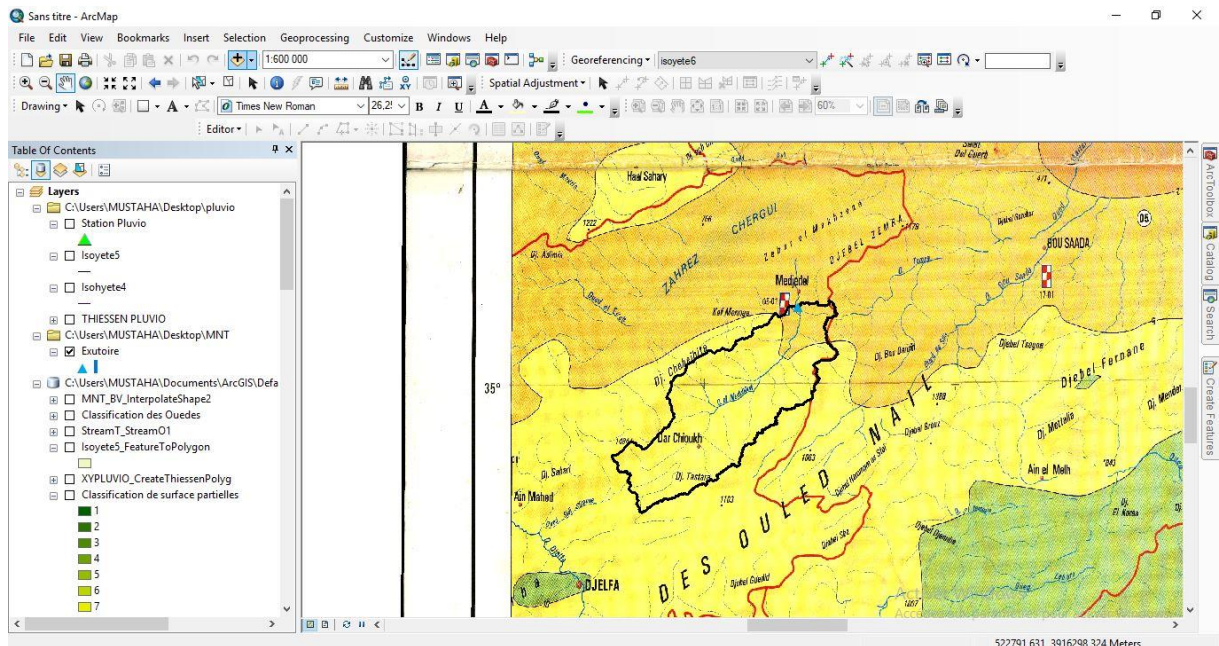


Figure (II.6): une image prise de l'Arc Gis

II.3.1. Les caractéristiques géométriques :

-Avec L'utilisation de logiciel ARC-GIS sur les six cartes d'état-major à l'échelle 1/50.000 on a trouvé :

- La surface du bassin est :
 $S = 645,33 \text{ km}^2$
- Le périmètre du bassin est :
 $P = 159,72 \text{ Km}$
- La longueur du thalweg principal est :
 $L_p = 62 \text{ km}$

II.3.2. Caractéristiques hydro morphologiques :

II.3.2.1. Indice de compacité de Gravelius (K_c) ou Indice de forme :

On définit la configuration géométrique d'un bassin versant par un coefficient de compacité de Gravelius (K_c), qui se traduit par le rapport entre le périmètre du bassin et la circonférence du cercle ayant la même superficie de ce bassin. Il est défini par la formule ci-après :

$$K_c = \frac{P}{P_c} = \frac{P}{2\pi R} ; R = \sqrt{\frac{S}{\pi}} \quad P_c = 2\pi R = 2\pi \sqrt{\frac{S}{\pi}}$$

$$K_c = \frac{P}{2\pi \sqrt{\frac{S}{\pi}}} = \frac{P}{2\sqrt{\pi S}} = 0,28 \frac{P}{\sqrt{S}}$$

$$K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{S}} = 1,75 \quad \text{Où :}$$

- K_c : Coefficient de compacité de Gravelius,
- P : Périmètre du bassin versant (km),
- S : Surface du bassin versant (km^2).

Si $K_C \leq 1,128 \Rightarrow$ bassin ramassé

Si $K_C > 1,128 \Rightarrow$ bassin allongé

Selon la valeur de K_C est = 1,75, Donc le bassin versant a une forme allongé.

II.3.2.3. Le rectangle équivalent :

Le périmètre et la surface du rectangle sont respectivement :

$$P = 2*(L + l) \quad \text{et} \quad S = L*l \quad \rightarrow (1)$$

La formule de coefficient de compacité de Gravelius,

$$K_C = 0,28 \frac{P}{\sqrt{S}} \quad \rightarrow (2)$$

De (1) et (2) on obtient une Equation de 2^{ème} degré admet deux solutions L_r et l_r :

$$- \text{ Longueur } (L_r) : L = \frac{K_C \sqrt{S}}{1,12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K_C} \right)^2} \right] \quad L = 70,73 \text{ Km}$$

$$- \text{ Largeur } (l_r) : l = \frac{K_C \sqrt{S}}{1,12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K_C} \right)^2} \right] \quad l = 9,12 \text{ Km}$$

Avec :

L_r : longueur du rectangle (km),

l_r : largeur du rectangle (km),

II.3.3. Caractéristiques du relief :

Le relief est un facteur essentiel, il détermine en grande partie l'aptitude au ruissellement des terrains, l'infiltration et l'évaporation. C'est un élément très important qui caractérise le comportement hydrologique d'un bassin

II.3.3.1. La courbe hypsométrique : c'est une courbe qui caractérise le relief du bassin versant à une grande influence sur les écoulements et la réception de la pluviosité elle permet de nous donner une idée sur les pentes du bassin et leur répartition en altitude. Cette courbe est obtenue en portant :

- En abscisse : le pourcentage des surfaces cumulées du bassin versant.
- En ordonnée : l'altitude considérée

Tableau (II.1): Calcul des surfaces cumulées

Tranche	Altitude (H) (m)	Altitude Moyenne(m)	Surface partielle (Km ²)	Surface Cumulée (km ²)	% Surface Cumulée
1	869-900	885	0,04	0,04	0,0061
2	900-950	925	0,49	0,53	0,0821
3	950-1000	975	1,3	1,83	0,2834
4	1000-1050	1025	2,52	4,35	0,6738
5	1050-1100	1075	6,34	10,69	1,656
6	1100-1150	1125	13,91	24,6	3,8108
7	1150-1200	1175	39,28	63,88	9,8957
8	1200-1250	1225	107,38	171,26	26,5301
9	1250-1300	1275	177,37	348,63	54,0067
10	1300-1350	1325	161,3	509,93	78,994
11	1350-1400	1375	94,51	604,44	93,6346
12	1400-1450	1425	25,32	629,76	97,5570
13	1450-1500	1475	13,68	643,44	99,6762
14	1500-1536	1518	2,09	645,53	100

Classification de surface partielle : qui je l'ai fait à l'aide de logiciel Arc Gis

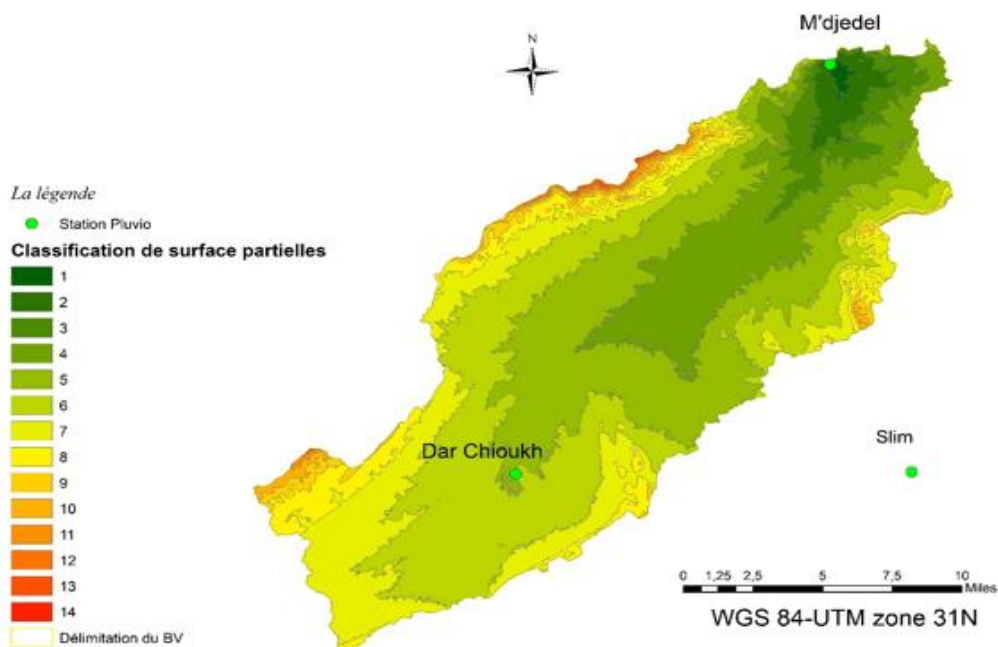


Figure (II.7) : Classification de surface partielle par L'Arc Gis

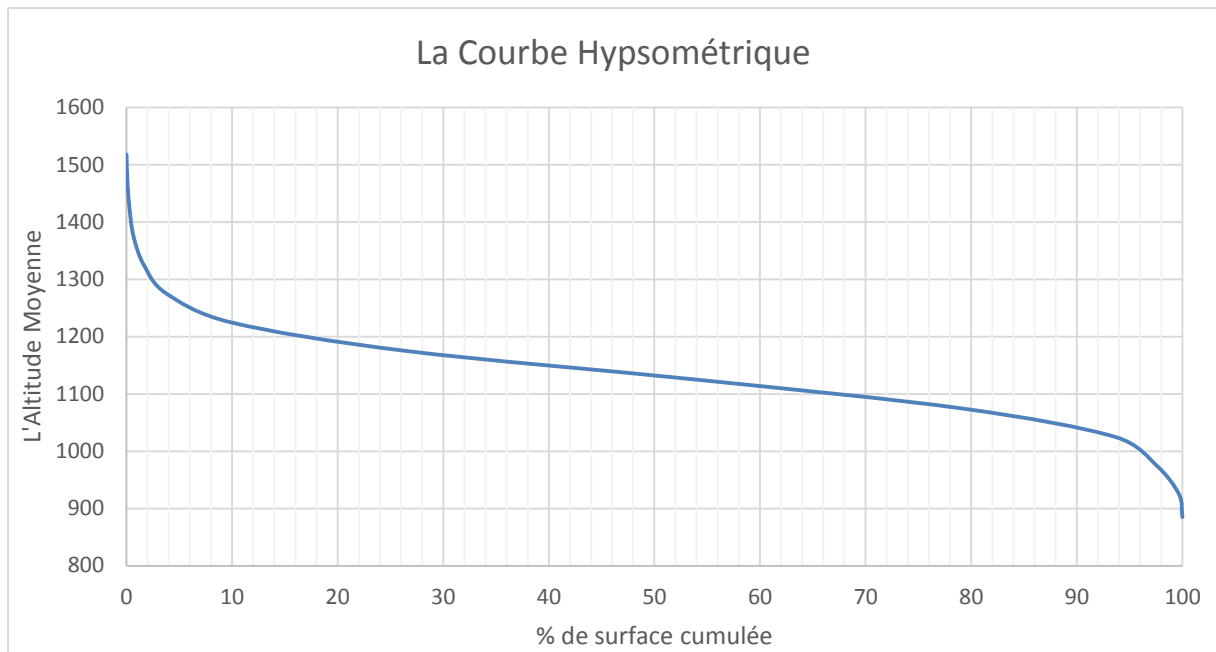


Figure (II.8): la courbe hypsométrique

D'après la courbe hypsométrique le bassin versant est mature (en équilibre)

II.3.3.2. Altitudes caractéristiques du bassin de M'djedel :

a) L'altitude maximale et minimale :

Elles sont obtenues directement à partir de cartes topographiques. L'altitude maximale représente le point le plus élevé du bassin tandis que l'altitude minimale considère le point le plus bas, généralement à l'exutoire.

$$H_{\max} = 1536 \text{ m NGA} \quad H_{\min} = 869 \text{ m NGA}$$

b) L'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 :

$$H_{\text{moy}} = \sum_{i=1}^n \frac{S_i \cdot H_i}{S}$$

Avec :

H_{moy} : altitude moyenne du bassin [m] ;

S_i : la surface comprise entre deux courbes de niveau [km^2] ;

H_i : altitude moyenne entre deux courbes de niveau [m] ;

S : superficie totale du bassin versant [km^2].

Tableau (II.2): Détermination de l'altitude moyenne

Tranche	Altitude (m)	H _i (m)	S _i (km ²)
1	869-900	885	0,04
2	900-950	925	0,49
3	950-1000	975	1,3
4	1000-1050	1025	2,52
5	1050-1100	1075	6,34
6	1100-1150	1125	13,91
7	1150-1200	1175	39,28
8	1200-1250	1225	107,38
9	1250-1300	1275	177,37
10	1300-1350	1325	161,3
11	1350-1400	1375	94,51
12	1400-1450	1425	25,32
13	1450-1500	1475	13,68
14	1500-1536	1518	2,09

Donc :

$$H_{\text{moy}} = \frac{715528,37}{645,33} = 1108 \text{ m NGA}$$

c) L'altitude médiane

C'est l'altitude lue au point d'abscisse 50 % de la surface totale du bassin versant, sur la courbe hypsométrique.

Pour le BV M'djedel : $H_{50\%} = 1069 \text{ m}$

Donc, la pente moyenne du bassin versant est irrégulière, car les altitudes moyenne et médiane se sont écartées de 39 m.

$$H_{\text{moy}} - H_{50\%} = 1108 - 1069 = 39 \text{ m}$$

Tableau (II.3): Altitudes caractéristiques du bassin versant de M'djedel

Bassin versant	Altitude Maximale (m)	Altitude minimale (m)	Altitude 50% (m)	Altitude Moyenne (m)	H _{5%}	H _{95%}
M'djedel	1536	869	1069	1108	1266	1016

II.3.3.3. Les indices de pentes :

a) L'indice de pente globale I_g :

Il s'exprime par la formule suivante :

$$I_g = \frac{D}{Lr} = \frac{H5\% - H95\%}{Lr}$$

Avec :

D : la dénivelée entre l'altitude a 95 % et 5% de la courbe hypsométrique

L : la longueur du rectangle équivalent. $Lr = 70,73 \text{ km} = 70730 \text{ m}$

$$\Rightarrow I_g = 0,355 \%$$

b) Indices de pente de Roche : I_p

Il s'exprime par la formule suivante :

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum_i^n \sqrt{S_i} \times D_i$$

L : longueur de rectangle équivalent (m)

A_i : surface partielle (%) comprise entre 2 courbes de niveau consécutives H_i et H_{i+1}

D_i : La distance entre deux courbes de niveau

Tableau (II.4): Détermination de la pente Roche I_p

Tranche	Surface partielle	% surface partielle	D_i
1	0,04	0,0062	31
2	0,49	0,07593	50
3	1,3	0,20145	50
4	2,52	0,3905	50
5	6,34	0,98244	50
6	13,91	2,15549	50
7	39,28	6,08681	50
8	107,38	16,6395	50
9	177,37	27,4852	50
10	161,3	24,995	50
11	94,51	14,6452	50
12	25,32	3,92357	50
13	13,68	2,11985	50
14	2,09	0,32387	50

Donc : $I_p = 0,99 \%$

c) Indice de pente Moyenne I_m :

Il s'exprime par la formule suivante :

$$I_m = \frac{\Delta}{L} = \frac{H_{max} - H_{min}}{L_r} =$$

L_r : Longueur de rectangle $L_r = 70,73 \text{ km} = 70730 \text{ m}$

Avec :

H_{max} : Altitude max (m) = 1536 m

H_{min} : Altitude min (m) = 869 m

$\Rightarrow I_m = 0,94 \%$

II.3.3.4. Dénivelée spécifique (Densité) D_s :

Dénivelée spécifique permet d'utiliser la classification de L.O.R.S.T.O.M qui permet définir les différentes types de relief du bassin versant quelque soient la superficie

Il s'exprime par la formule suivante :

$$D_s = I_g \sqrt{S}$$

Avec :

I_g : indice de pente global

S : la surface du B.V

$D_s = I_g \sqrt{S} = 0,0035 \sqrt{645.53}$

$D_s = 0,08980 \text{ Km} = 89.80 \text{ m}$

Tableau (II.5): classification de O.R.S.T.O.M (type du relief) [7]

	Type de relief	Valeur de D_s
R1	Relief très faible	$D_s < 10 \text{ m}$
R2	Relief faible	$10 \text{ m} < D_s < 25 \text{ m}$
R3	Relief assez faible	$25 \text{ m} < D_s < 50 \text{ m}$
R4	Relief modéré	$50 \text{ m} < D_s < 100 \text{ m}$
R5	Relief assez fort	$100 \text{ m} < D_s < 250 \text{ m}$
R6	Relief fort	$0250 \text{ m} < D_s < 500 \text{ m}$
R7	Relief très fort	$500 \text{ m} < D_s$

D'après la classification d'O.R.S.T.O.M notre bassin versant possède un relief modéré.

Le réseau hydrographique du BV : qui je l'ai fait à l'aide de logiciel Arc Gis

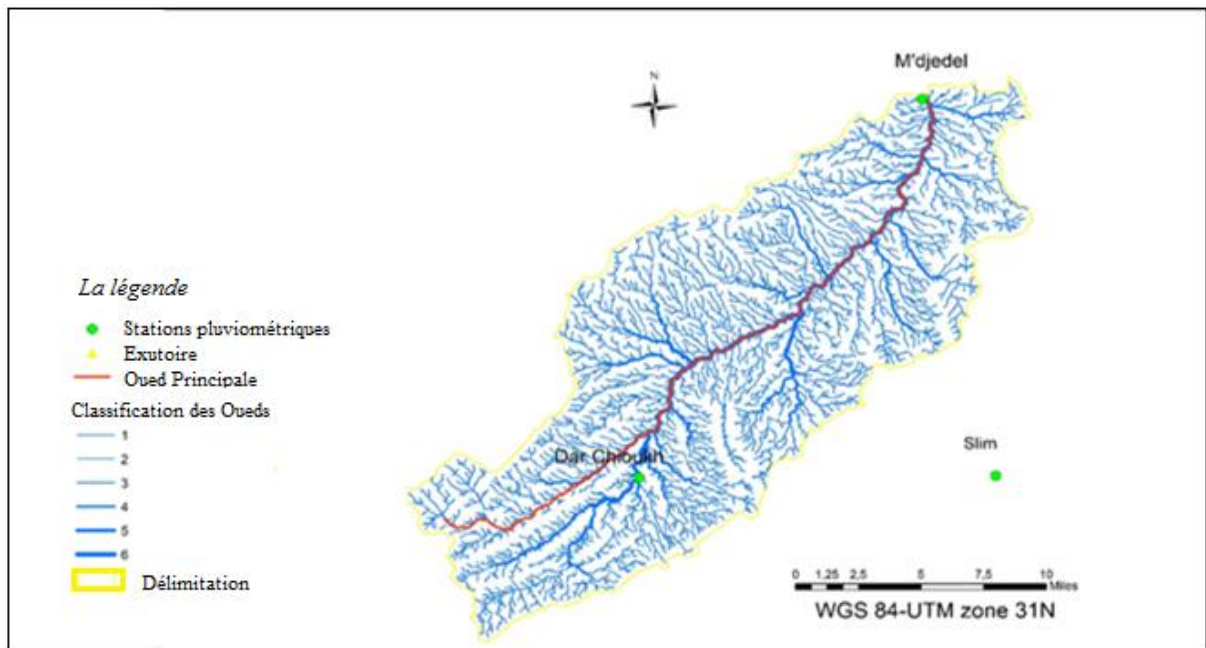


Figure (II.9): Le réseau hydrographique du bassin versant de M'djedel

II.3.4. Caractéristiques du réseau hydrographique :

II.3.4.1. La longueur des thalwegs des différents ordres :

$$\sum Li = 1780 \text{ km}$$

II.3.4.2. Densité de drainage : D_d

C'est le rapport entre la longueur totale du réseau hydrographique et la superficie du bassin versant ; elle permet de montrer si le chevelu hydrographique du bassin versant est dense ou lâche.

$$D_d = \frac{\sum Li}{S} \rightarrow D_d = 2.75 \text{ km/km}^2$$

$\sum Li$: la longueur des thalwegs des différents ordres (km)

S : la surface du bassin versant (km²)

II.3.4.2. Temps de concentration :

C'est la durée nécessaire à une goutte d'eau pour parcourir le chemin hydrographique entre le point le plus éloigné du bassin versant et l'exutoire.

Il s'exprime par la formule suivante :

✓ La formule de GIANDOTTI :

$$T_c = \frac{1,5L + 4\sqrt{S}}{0,8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}}$$

$$T_c = 15.73 \text{ heures}$$

✓ La formule ALGERIENNE :

$$T_c = 0.0055 S + 0.1657 L + 0.0078 (H_{\text{moy}} - H_{\text{min}}) + 0.821$$

$$T_c = 16.5 \text{ heures}$$

✓ La formule de l'ANRH:

$$T_c = 3 \left(\frac{SL}{(10 \times Im)^{1.5}} \right)^{0,25}$$

$$T_c = 18.31 \text{ heures}$$

Tableau (II.6): Résumé des résultats de temps de concentration

La Formule	La valeur (heures)
GIANDOTTI	15.73
ALGERIENNE	16.5
l'ANRH	18.31

On a pris $T_c = 16.5$ heures (la valeur de la formule ALGERIENNE) comme elle est la valeur moyenne.

II.3.4.3. La Vitesse moyenne de ruissèlement :

Il s'exprime par la formule suivante :

$$V_t = \frac{L}{T_c}$$

$$V_t = \frac{62}{16,5} = 3,75 \text{ km/h}$$

Avec :

L : Longueur du thalweg principale = 62 km

T_c : Temps de concentration

Tableau (II.7): Les Caractéristiques du bassin versant

DESIGNATION		SYMBOLE	UNITE	VALEURS
Superficie		S	Km ²	645,33
Périmètre		P	Km	159
Longueur du thalweg principale		L	Km	62
Indice de compacité		L	Km	1,75
Rectangle équivalent	Longueur	L _r	Km	70,73
	Largeur	l	Km	9,12
Altitude	Maximale	H _{max}	M	1536
	Minimale	H _{min}	M	869
	Moyenne	H _{moy}	M	1108
	Médiane	H _{50%}	M	1069
Indice de pente globale		I _g	%	0,35
Indice de pente roche		I _p	%	0,99
Indice de pente moyenne		I _m	%	0,94
Pente moyenne de thalweg principale		I _{mp}	%	1,07
Densité de drainage		D _d	Km/Km ²	2.75
Densité spécifique		D _s	M	89.80
Temps de concentration		T _c	heures	16.5
Vitesse de ruissellement		V _r	Km/h	3.75

II.4 Climatologie

II.4.1.Introduction :

L'objectif de l'étude climatologique est de fournir des données concernant le climat, données nécessaires pour la conception du barrage et de ses ouvrages annexes

Compte tenu du manque de stations climatologiques dans la zone du projet, on a recours aux observations faites à la station climatologique de Djelfa située à l'Ouest de M'djedel et la station de M'Sila, qui se trouve au Nord Est de la zone d'étude.[1]

Tableau (II.8): Caractéristiques des stations références

Nom de station	Altitude	Période
Djelfa	1144 m	1967-1986
M'Sila	441 m	1967-1986

Les données de températures dans la zone d'étude sont essentiellement fonction de l'altitude. Le poste de Djelfa à la fois proche géographiquement et avec une altitude (1144) voisine de celle du bassin versant de l'oued M'djedel (1060). Aussi les données à Djelfa caractérisent bien la température sur le bassin

II.4.2. La Température de l'air :

Tableau (II.9): Répartition mensuelle des températures de la wilaya de Djelfa pour la période de 1967-1986 (T°) [3]

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Jui	Juill	Aout	Année
Max (°C)	27,4	20	14,1	11	10	12	14,7	18	22	29	34	32	20,4
Moy (°C)	20,1	14	8,6	5,2	4,4	6	8,2	12	16	22	26	25	14
Min (°C)	13,4	8,1	3,5	1,5	-0,2	1,6	2,4	5,4	9	15	18	18	7,8

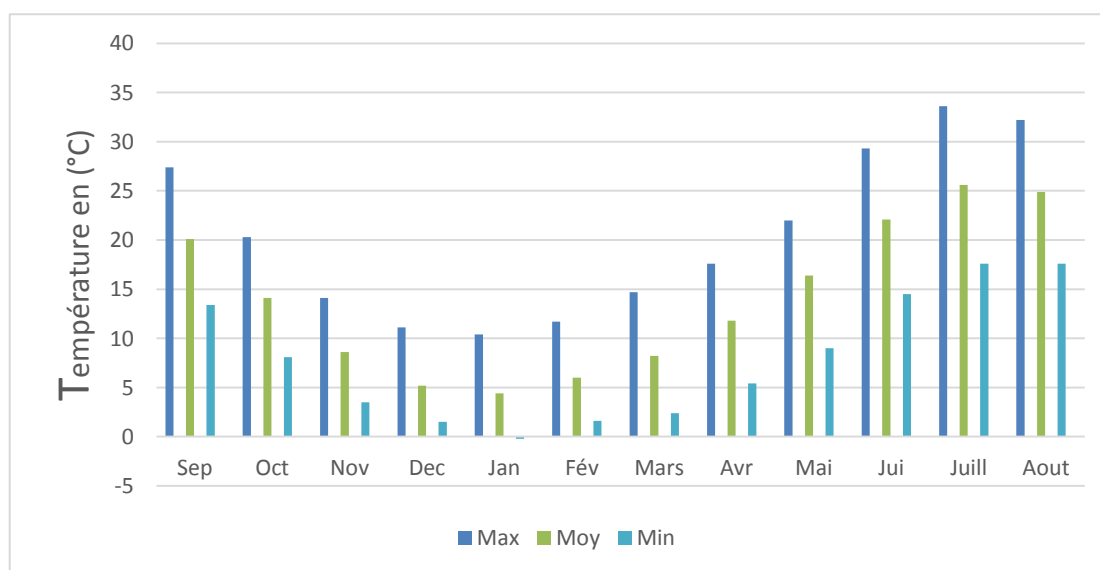


Figure (II.10): Variation mensuelle de températures - Station de Djelfa

La température maximale : 34 °C en mois de juillet

La température minimale : -0.2 °C en mois de janvier

II.4.3. La vitesse du vent

Les valeurs de la vitesse du vent enregistrées au niveau de la station de BOU SAADA pour la période 1991/2000, ainsi que leur direction sont présentées dans de tableau suivant

Tableau (II.10): Répartition mensuelle des températures moyennes[3]

Direction du vent	Nord	Nord-Est	Nord-Ouest	Sud	Sud-Est	Sud-Ouest	Ouest	Est
Pourcentage	13,0	5,3	4,1	3,5	4,9	3,8	10,3	13,3
Vitesse moy (m/s)	5,1	3,8	3,4	4,1	4,6	4,6	5,1	5,4



Figure (II.11): Situation géographique de Bou Saada

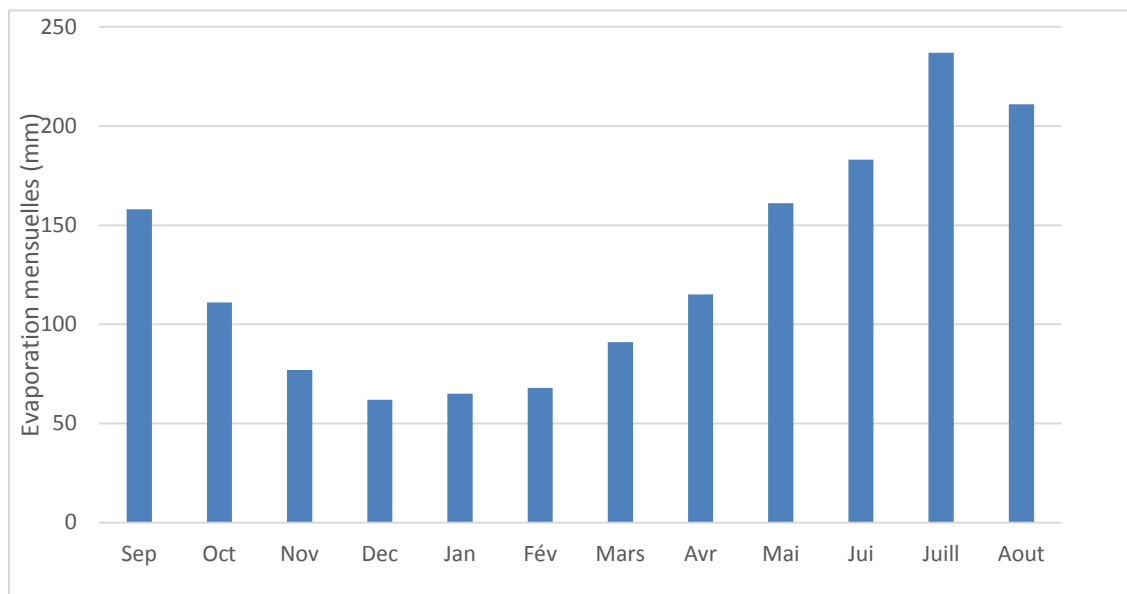
Les vents dominants sont de Nord – Nord-Ouest avec des vitesses moyennes de 5.1 et 5.4 m/s

II.4.4. Evaporation :

Les valeurs de l'évaporation enregistrées au niveau de la station de BOU SAADA pour la période 1991/2000, sont présentées dans de tableau suivant :

Tableau (II.11): Répartition mensuelle des évaporations mensuelles [3]

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
E_s (mm)	158	111	77	62	65	68	91	115	161	183	237	211	1538
%	10,3	7,2	5	4	4,2	4,4	5,9	7,5	10,5	11,9	15,4	13,7	100

**Figure (II.12):** Variation mensuelle de l'évaporation - plan d'eau Barrage M'Djelde

L'évaporation est maximale en mois de Juillet parce que la température est maximale et minimale en mois de Décembre et elle varie entre 4 et 211 mm.

II.5. Conclusion:

D'après les résultats de l'étude des caractéristiques morphologiques du réseau hydrographique et conditions climatiques du bassin versant de M'djedel, on trouve que :

- Le coefficient de Gravillius a montré que le bassin versant est de forme allongé.
- Le dénivelée spécifique montre que le relief est assez faible, donc on assistera à un écoulement assez faible avec un temps de concentration $T_c = 16.5$ heures, et une vitesse de ruissellement $V_r = 3.75$ km/h.

CHAPITRE III : ETUDE
DES PRECIPITAIONS ET
DES APPORTS

III.1. Etude des précipitations :

III.1.1. Introduction :

Le terme précipitations regroupe toutes les eaux météoriques qui arrivent au sol sous quelque forme que ce soit.

L'étude de la pluviométrie dans une région permet de déterminer la pluie moyenne annuelle sur le bassin versant et le choix de la station pluviométrique représentative qui servira pour l'étude fréquentielle et l'étude des crues.

III.1.2. Analyse des données pluviométriques :

Les données pluviométriques disponibles dans la région sont fournies par l'Agence National des Ressources Hydrauliques (ANRH)

Les stations pluviométriques existant dans et autour du bassin versant de M'djedel sont au nombre de cinq (05), une station localisé à l'intérieur, deux au Nord, une en Est et une au sud du bassin [4]

Tableau (III.1): Les caractéristiques de ces stations observées sont représentées[1]

Station	Code	Coordonnées		Cotes Z(m, NGA)	Période d'observation	Nombre d'années disponibles
		X	Y			
		(Km)	(Km)			
Djelfa	17/02/2008	551.000	153.000	1160	1945-1998	110
M'Djedel	17/05/2001	590.100	203.600	875	1973-1998	23
Dar Chioukh	17/02/2003	572.000	178.000	1100	1970-2004	27
Slim	05/17/2003	594.900	178.200	1070	1966-2005	37
Ksob barrage	05/10/2005			580	1945-2000	

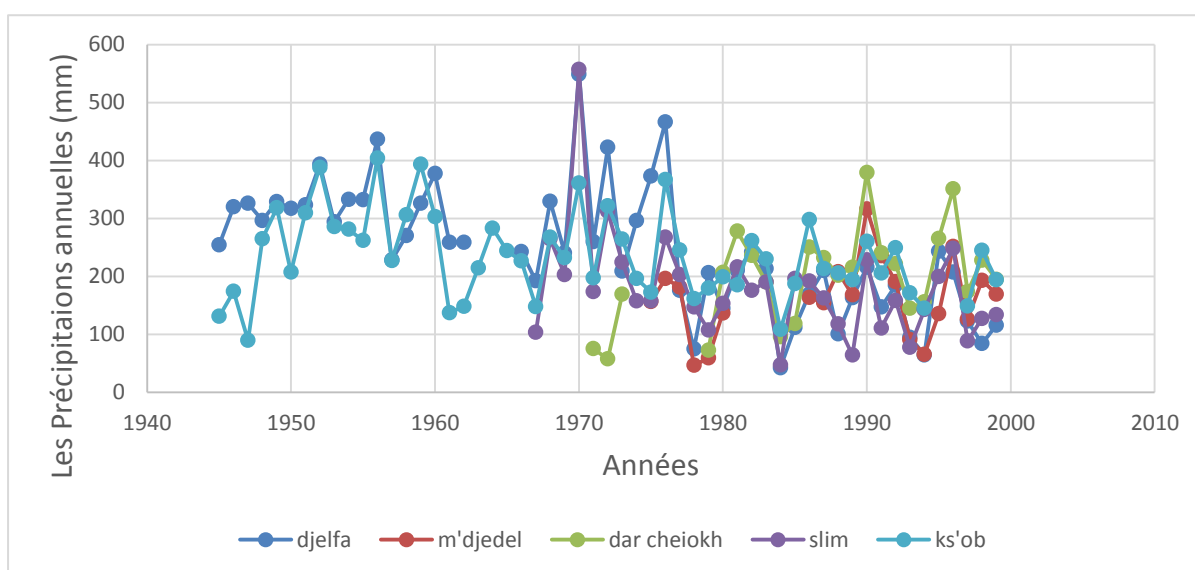


Figure (III.1) : Série chronologiques de pluies annuelles [4]

Le graphe met en évidence quatre cycles ou périodes :

- 1- La première période, de 1940 à 1954, caractérisant les stations de Djelfa et Ksob, est une période assez humide.
- 2- La seconde période, de 1955 à 1966, est une période de pluviométrie moyenne.
- 3- La troisième période, de 1967 à 1975, caractérise un cycle pluviométrique relativement humide et à forte variabilité interannuelle.
- 4- Enfin, la période de 1976 à ce jour, représente un cycle à faible pluviosité avec quelques années très sèches.

Pour les séries pluviométriques des stations voir ANNEX(I.5)

III.1.3. Critique et homogénéisation des données pluviométriques :

Les erreurs dans les séries de mesures pluviométriques modifient le caractère aléatoire des phénomènes et les conditions de leur avènement. Si ces conditions changent cela veut dire que les données mesurées ne proviennent pas de la même population et que la série de mesures n'est pas homogène ; ceci est dû à plusieurs facteurs, dont :

- ✓ Pluviomètre mal placé ou carrément défectueux
- ✓ Lecteurs peu consciencieux
- ✓ Déplacement des stations d'observations
- ✓ Perte d'eau pendant le transvasement

Pour vérifier l'homogénéité de chaque station on a utilisé le test de Wilcoxon

III.1.3.1. Test de Wilcoxon :

Le principe :

- Soit une série d'observation de longueur N à partir de laquelle on tire deux échantillons X et Y : N_1 et N_2 sont respectivement les tailles de ces échantillons, avec $N = N_1 + N_2$ et $N_1 \leq N_2$
- On classe ensuite les valeurs de notre série par ordre croissant.
- On calcule ensuite la somme de W_x des rangs des éléments du premier échantillon dans la série commune $W_x = \sum Rang x$ [6]

Wilcoxon a montré que, dans le cas où les deux échantillons X et Y constituent une série homogène, la quantité W_x , est comprise entre deux bornes W_{max} et W_{min}

$$W_{min} = \frac{(N_1 + N_2 + 1)N_1 - 1}{2} - \beta \sqrt{\frac{N_1 N_2 (N_1 + N_2 + 1)}{12}}$$

$$W_{max} = (N_1 + N_2 + 1)N_1 - W_{min}$$

Avec :

$$\beta = 1,96$$

Nous allons utiliser le test de Wilcoxon pour vérifier l'homogénéité des données pluviométriques de chaque station. On a travaillé sur la station de Dar Chioukh dans le tableau (III.2) et pour les autres séries des stations voir ANNEX (I).

Tableau (III.2): Série de pluies annuelles de station de Dar Chioukh

Année	P (mm)	Année	P (mm)
1971	72,7	1986	155,9
1972	206,6	1987	265,5
1973	277,8	1988	350,8
1974	236,0	1989	173,4
1975	190,2	1990	228,0
1976	95,6	1991	194,8
1977	118,2	1992	212,0
1978	250,4	1993	379,0
1979	232,3	1994	67,0
1980	201,8	1995	204,0
1981	215,6	1996	251,0
1982	379,2	1997	114,0
1983	240,4	1998	102
1984	221,4	1999	89
1985	144,8	2000	47

Tableau (III.3): Application de la méthode de Wilcoxon

X	Y	rang	X, Y	l'origine
75,21	250,4	1	57,41	x
57,41	232,3	2	72,71	x
169,21	201,8	3	75,21	X
72,71	215,6	4	95,61	X
206,61	379,2	5	118,21	X
277,81	240,4	6	144,8	Y
236,01	221,4	7	155,9	Y
190,21	144,8	8	169,21	X
95,61	155,9	9	173,4	Y
118,21	265,5	10	190,21	X
	350,8	11	194,8	Y
	173,4	12	201,8	Y
	228	13	206,61	X
	194,8	14	215,6	Y
		15	221,4	Y
		16	228	Y
		17	232,3	Y
		18	236,01	X
		19	240,4	Y

		20	250,4	Y
		21	265,5	Y
		22	277,81	X
		23	350,8	Y
		24	379,2	Y

Tableau (III.4): Résultat d'application de la méthode de Wilcoxon

N_1	10
N_2	14
$\sum Rangs$	86
W_{min}	85,366
W_{max}	164,634

On a :

$$W_{min} < \sum Rangs < W_{max}$$

Donc : La série est homogène

Après le teste de Wilcoxon on a trouvé que :

- Les stations homogènes : M'djedel, Dar chioukh, Slim, Ksob
- La Station non-homogène : de Djelfa est non-homogène

III.1.3.2. La méthode des doubles cumules (doubles masses) :

Elle permet de détecter la non-homogénéité d'une série de mesures et de la corriger. Cette méthode consiste a comparer les pluies cumulées d'une station 1, a propos de laquelle on a éprouvé des toutes quant a son homogénéité, avec les pluies de cumulées d'une station B dont les mesures dont jugées homogènes.

Comme on a trouvé d'après le test de Wilcoxon que la station de Djelfa est non-homogène, a l'aide de la méthode de doublé cumule on a la corrigé avec l'utilisation de la station de Ksob (station homogène)

Tableau (III.5): D'application de la méthode de double cumule entre la staion de Djelfa et Ksob

Années	Station de Djelfa	Djelfa cumul	Station de Ksob	Cumul Ksob	Djelfa Corrigée	Cumul Djelfa corrigée
1999	83,9	83,9	244,6	244,6	83,9	83,9
1998	122,5	206,4	148,6	393,2	122,5	206,4
1997	64,3	270,7	144,7	537,9	64,3	270,7
1996	94,7	365,4	171,5	709,4	94,7	365,4
1993	184,5	549,9	249,3	958,7	184,5	549,9
1992	147	696,9	205,9	1164,6	147	696,9
1991	215,8	912,7	260,3	1424,9	215,8	912,7
1990	162,9	1075,6	194,3	1619,2	162,9	1075,6
1989	100,4	1176	205,9	1825,1	100,4	1176
1988	210,3	1386,3	213,5	2038,6	210,3	1386,3
1987	169,4	1555,7	298	2336,6	169,4	1555,7
1986	111,5	1667,2	187,4	2524	111,5	1667,2

1985	42,3	1709,5	108,4	2632,4	42,3	1709,5
1984	213,2	1922,7	230,1	2862,5	213,2	1922,7
1983	242,3	2165	261,5	3124	242,3	2165
1982	210,1	2375,1	185,3	3309,3	210,1	2375,1
1981	144,8	2519,9	199	3508,3	144,8	2519,9
1980	210,1	2730	179,6	3687,9	210,1	2730
1979	74,6	2804,6	161,5	3849,4	44,76	2774,76
1978	175,9	2980,5	245,2	4094,6	105,54	2880,3
1977	466,5	3447	367,1	4461,7	279,9	3160,2
1976	373,2	3820,2	172,5	4634,2	223,92	3384,12
1975	208,8	4029	264	4898,2	125,28	3509,4
1973	422,7	4451,7	321,4	5219,6	253,62	3763,02
1972	259,9	4711,6	197,5	5417,1	155,94	3918,96
1971	548,8	5260,4	360,9	5778	329,28	4248,24
1970	240,5	5500,9	232,1	6010,1	144,3	4392,54
1969	316	5816,9	267,4	6277,5	189,6	4582,14
1968	192,3	6009,2	147,9	6425,4	115,38	4697,52
1967	242,9	6252,1	226,6	6652	145,74	4843,26
1966	258,4	6510,5	148,2	6800,2	155,04	4998,3
1965	258,8	6769,3	136,9	6937,1	155,28	5153,58
1964	377,3	7146,6	302,9	7240	226,38	5379,96

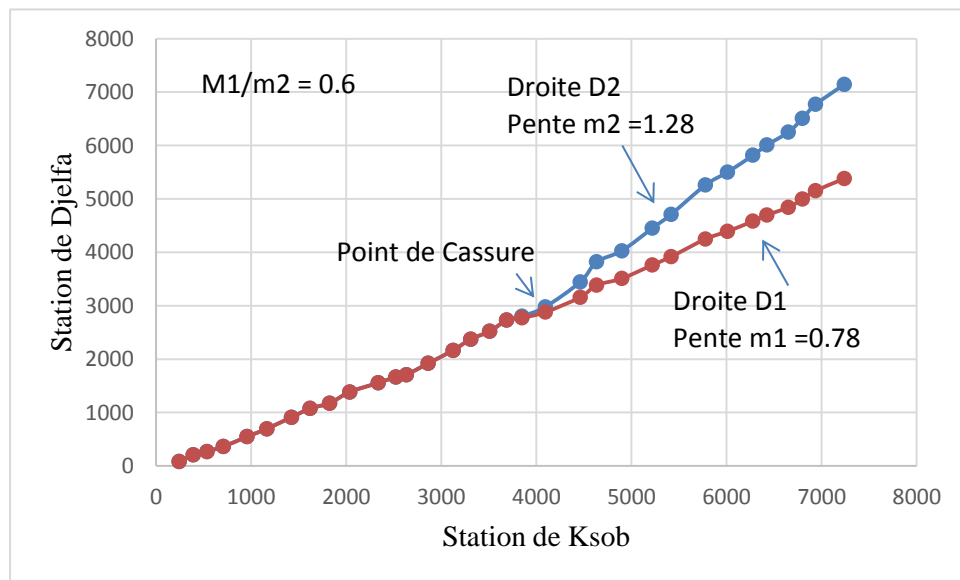


Figure (III.2): Double cumule avant la correction

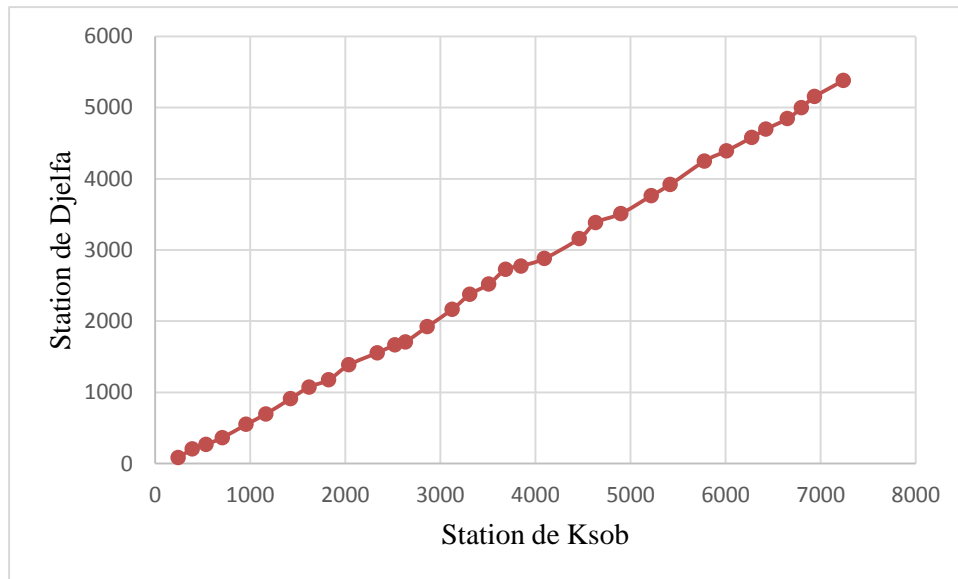


Figure (III.3): Double cumule après la correction

III.1.3.3 Comblement des séries pluviométriques :

Les séries pluviométriques dans des stations présentent des lacunes à l'échelle annuelle et mensuelle ; nous nous proposons de combler les vides annuels.

Pour le comblement on utilise la méthode de la régression linéaire. Cette méthode consiste à estimer les valeurs manquantes d'une série pluviométrique lacunaire à partir des observations d'une autre station (homogène). Pour cette méthode soit efficace, il faut que le coefficient de corrélation entre les deux séries soit élevé ($r > 0,70$). La mesure de corrélation entre deux variables X et Y peut être obtenue à partir du coefficient de corrélation

Le coefficient de corrélation :

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})(y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^2}}$$

La droite de régression :

On va essayer d'établir l'équation de la liaison linéaire existant entre les deux variables x et y. La droite qui s'ajuste le mieux aux observations s'appelle la droite de régression Cette droite est un outil de prévision. On pourra estimer ou prévoir, à l'aide de cette équation, les valeurs d'une variable à partir des valeurs prises par l'autre variable

Soit un échantillon de n couples d'observations (x_i, y_i) et soit l'équation de la droite :

$$Y = b + a.x$$

Où :

- ✓ b = Ordonnée l'origine
- ✓ a = pente de la droite

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})(y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}}$$

Tableau (III.6): corrélation simple à l'échelle annuelle entre les stations.

Station 1	Station 2	Nombre	Coefficient 'a'	Coefficient 'b'	Coefficient 'r'
M'djedel	Dar Chioukh	20	0,9982	47,211	0,85
M'djedel	Slim	22	0,4236	75,36	0,416
M'djedel	Djelfa	20	0,22	126,39	0,299
M'djedel	Ksob	16	0,4778	140,63	0,53
Djelfa	Dar Chioukh	24	0,1348	173,68	0,129
Djelfa	Slim	34	0,665	40,607	0,807
Djelfa	Ksob	49	0,4298	128,24	0,626
Slim	Dar Chioukh	26	0,2399	102,22	0,279
Slim	Ksob	28	0,4981	134,11	0,774
Dar Chioukh	Ksob	21	0,1869	177,8	0,693

La régression linéaire entre les stations :

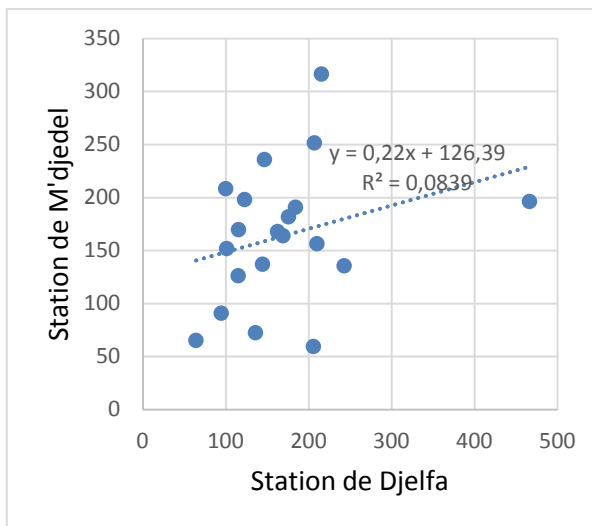


Figure (III.4): Régression linéaire entre la station de M'djedel et Djelfa

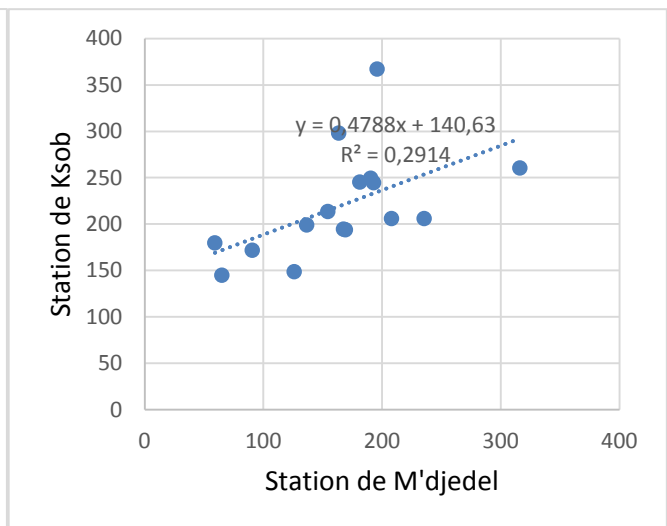


Figure (III.5): Régression linéaire entre la station de Ksob et M'djedel

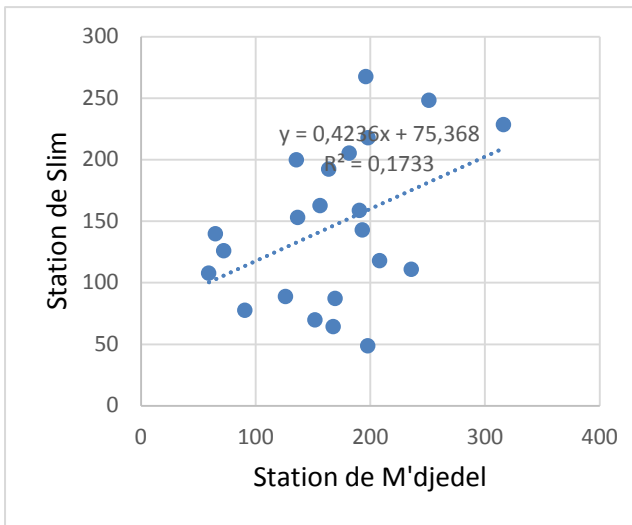


Figure (III.6): Régression linéaire entre la station de M'djedel et Slim

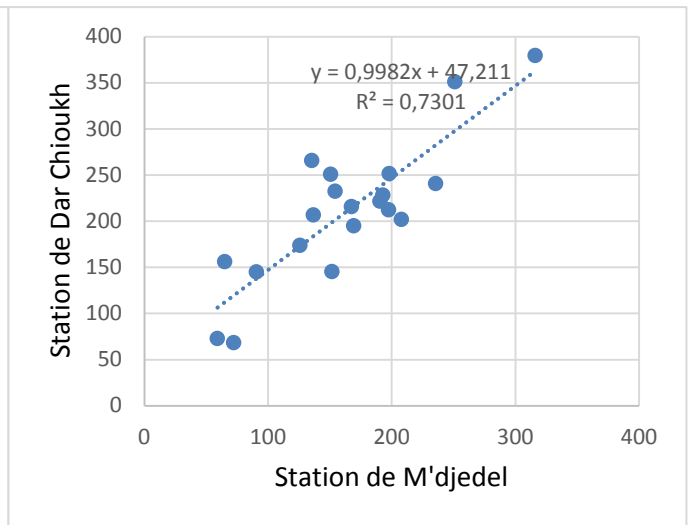


Figure (III.7): Régression linéaire entre la station de Dar Chioukh et M'djedel

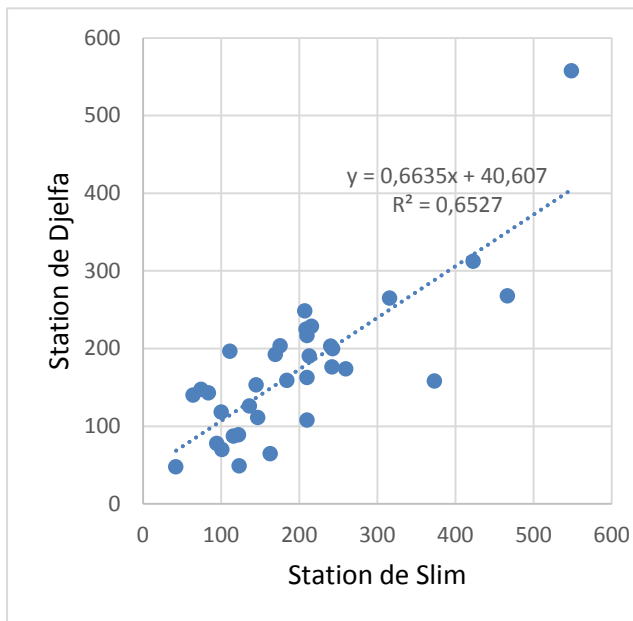


Figure (III.8): Régression linéaire entre la station de M'djedel et Slim

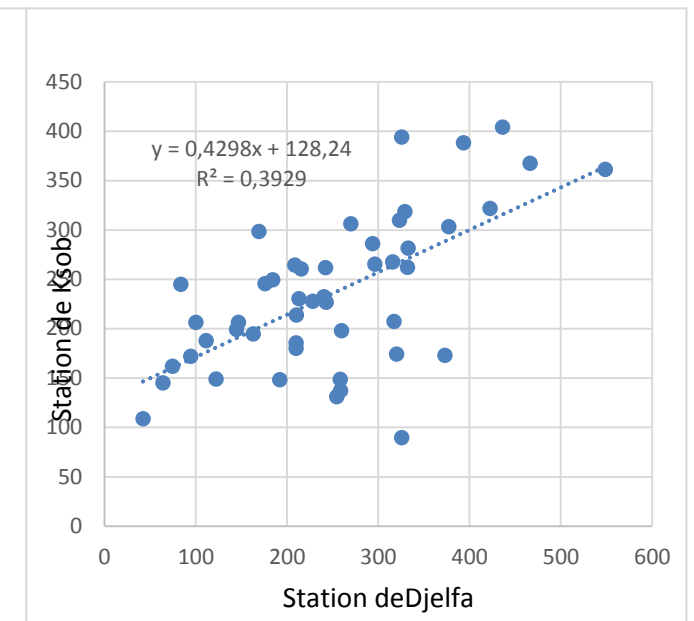


Figure (III.9): Régression linéaire entre la station de Dar Chioukh et M'djedel

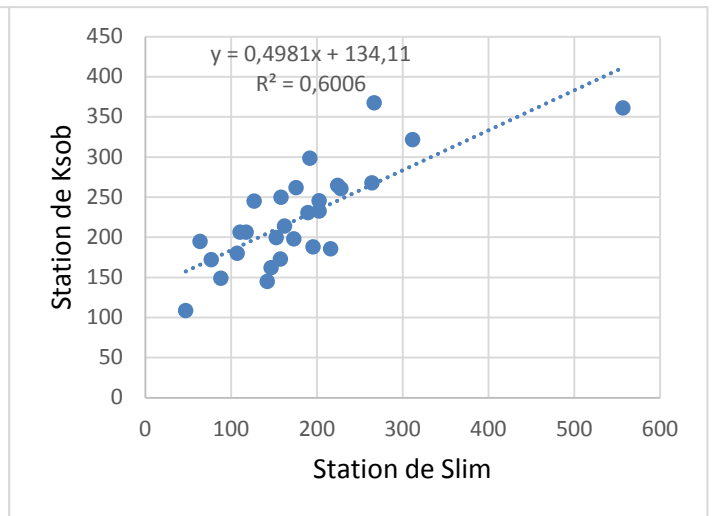
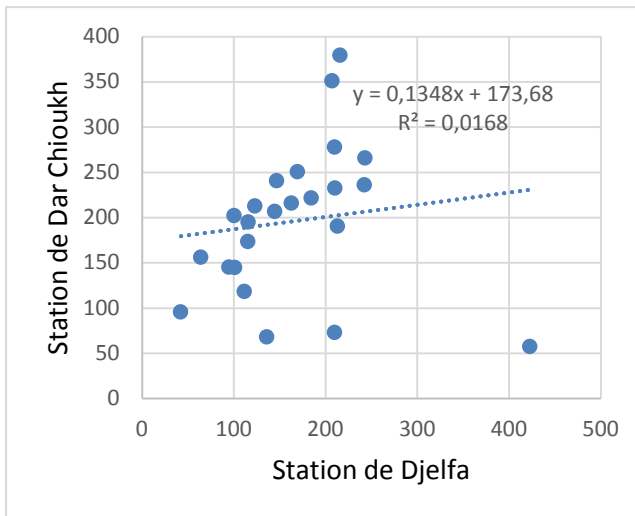


Figure (III.10): Régression linéaire entre la station de Djelfa et Dar Chioukh

Figure (III.11): Régression linéaire entre la station Slim et Ksob

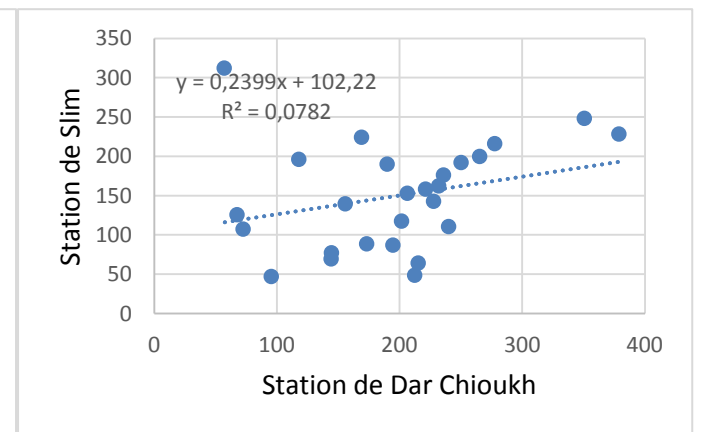
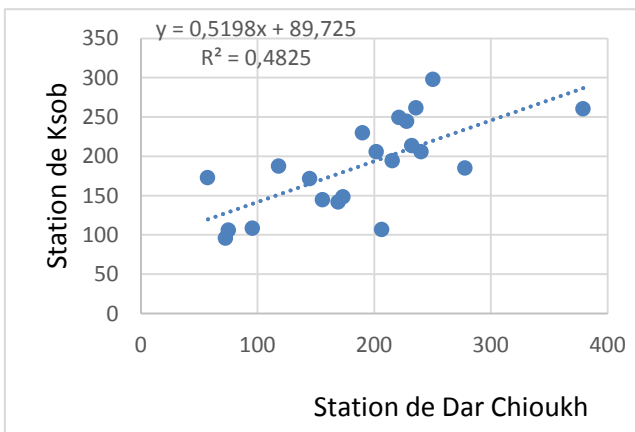


Figure (III.12): Régression linéaire entre La station de Dar chioukh et Ksob

Figure (III.13): Régression linéaire entre la station Dar Chioukh et Slim

Figures (III.4-13) : Régression linéaire entre les stations.

Le comblement des lacunes des autres séries des stations voire ANNEX(I.6)

III.1.4. Evaluation de la pluie moyenne :

III.1.4.1. La moyenne arithmétique :

C'est la méthode la plus simple, elle consiste à calculer la moyenne arithmétique des valeurs obtenues des stations étudiées et s'applique uniquement si les stations sont bien réparties

$$P_{moy} = \sum Pi/3 \Rightarrow P_{moy} = \frac{175+224+195}{3} = 198 \text{ mm}$$

Tableau (III.7): Application de la méthode de moyenne arithmétique au calcul de la pluie moyenne interannuelle.

Station	M'djedel	Dar Chioukh	Slim
P _{moy}	175	224	195

III.1.4.2. La méthode de Thiessen:

C'est l'une des méthodes les plus rapides et les plus utilisées, elle consiste à tracer les médiatrices des triangles formés par les différents pluviographes ou pluviomètres. Les surfaces d'influence de ces derniers sont mesurées à l'aide du planimètre (en utilisant le logiciel ARC Gis). Pour notre bassin, la pluviométrie moyenne est donnée par :

$$P_{moy} = \sum \frac{Pi * Si}{St}$$

P_{moy} = 206 mm

Application de la méthode de Thiessen : qui je l'ai fait a l'aide de logiciel Arc Gis

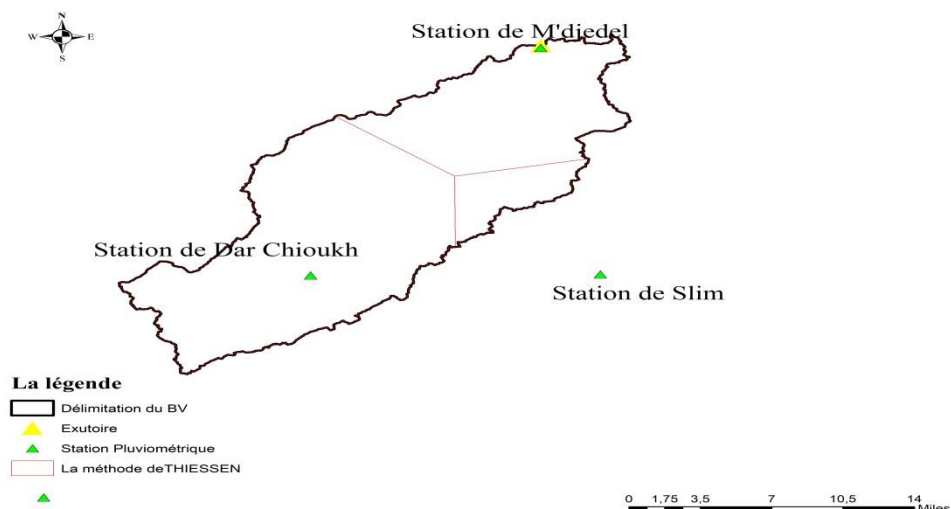


Figure (III.14) : Application de la méthode de Thiessen Sur Arc Gis

III.1.4.3. La Station représentative :

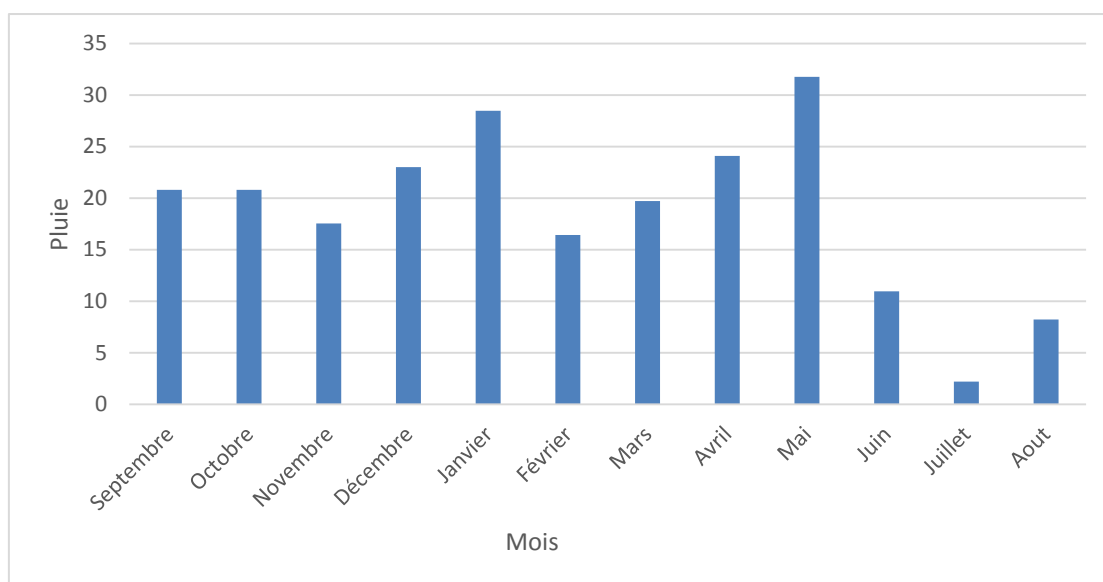
La station de Dar Chioukh c'est La station disponible au voisinage du bassin et la plus proches du site est présentée

Tableau (III.8): Résumé de résultat des pluies annuelles

La méthode	Pluie moyenne annuelle (mm)
La moyenne arithmétique	198
Thiessen	206
Station représentative	224

Tableau (III.9): Répartition mensuelle des précipitations

Mois	P (mm)	P (%)
Septembre	20,8	9,3
Octobre	20,8	9,3
Novembre	17,5	7,8
Décembre	23	10,3
Janvier	28,5	12,7
Février	16,4	7,3
Mars	19,7	8,8
Avril	24,1	10,7
Mai	32	14,2
Juin	11	4,9
Juillet	2	1
Aout	8	3,6

**Figure (III.15):** Répartition mensuelle des précipitations

III.2. Les précipitations maximales journalières : PJ max :

L'étude consiste à faire un ajustement pour la série de données des précipitations maximales journalières

L'ajustement de la série des pluies maximales journalières est effectué par deux méthodes à l'aide du logiciel HYFRAN, et la méthode manuelle (par excel)

Les résultats de l'ajustement sont les suivantes :

III.2.1. La méthode manuelle :

Pour notre étude on passe par les étapes suivantes :

- Classer la série des précipitations par ordre croissant
- Calcul de la fréquence expérimentale
- Calcul des caractéristiques empiriques de la série de donnée
- Ajuster graphiquement de la loi choisie

La série de PJ max voir l'ANNEX(I.7)

Tableau (III.10): Les caractéristiques de la série

Caractéristiques	Formules	Valeurs
La somme des $P_{\max, j}$ en (mm)	$\sum_{i=1}^{N=38} X_i$	35339,11
la moyenne des $P_{\max, j}$ en (mm)	$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n=38} X_i}{n}$	29,043
L'écart type « σ_x » ; Pour $n > 30$ ans	$\sigma_x = \left[\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{38} (X_i - \bar{X})^2}{38}} \right]$	8,016
Coefficient de variation « Cv » :	$C_v = \frac{\sigma}{\bar{X}}$	0,276

Choix de la loi d'ajustement.

Comme il existe plusieurs méthodes d'ajustement des séries pluviométriques, l'efficacité d'une méthode d'estimation dépend de la loi de probabilité, de la taille de l'échantillon et de certaines caractéristiques de l'échantillon.

La lois d'ajustement choisie est :

- la loi de GUMBEL

Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GUMBEL :

La fonction de répartition de la loi de Gumbel s'exprime de la manière suivante :

$$F(x) = \exp\left(-\exp\left(-\frac{x-a}{b}\right)\right)$$

Avec : la variable réduite suivante. $u = \frac{x-a}{b}$

La distribution s'écrit alors comme suit : $F(x) = \exp(-\exp(-u))$ Et $u = -\ln(-\ln(F(x)))$
L'avantage d'utiliser la variable réduite est que l'expression d'un quantile est alors linéaire.

$$X = a + bu$$

Avec :

u : variable réduite de GUMBEL

x : précipitation maximale journalière (mm)

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

- classer les valeurs des précipitations par ordre croissant avec attribution d'un rang 1, 2, 3, ..., n.

- calculer pour chaque valeur de précipitation la fréquence expérimentale par la formule de HAZEN.

$$F(x) = \frac{m-0.5}{n}$$

m : rang de précipitation

n : nombre d'observations(39)

- calculer la variable réduite de GUMBEL donnée par la formule suivante :

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

-calculer les paramètres d'ajustement « a » et « b »

- représenter graphiquement les couples (x_i, u_i)

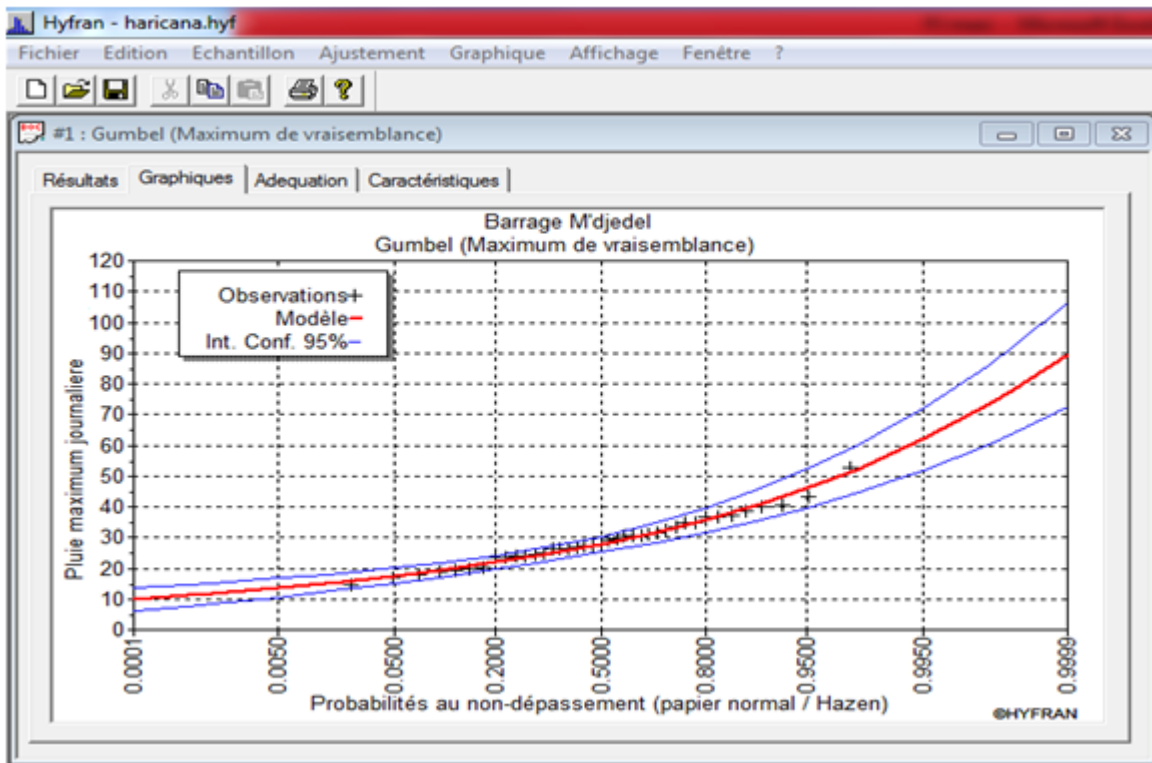
Les résultats de l'ajustement par la loi de « GUMBEL » sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau (III.12): Résultat de l'ajustement de $P_{\max, j}$ à la loi de GUMBEL

T (période de retour) ans	F (Fréquence)	$P_{\max, j}$ (mm)
1000	0.999	69.09
500	0.998	64.70
200	0.995	58.90
100	0.99	54.51
50	0.98	50.09
20	0.95	44.21
10	0.9	39,66

III.2.2. A l'aide de logiciel1 Hyfran :

Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GUMBEL :



Figure(III.17): l'ajustement de $P_{max,j}$ avec loi de GUMBEL

Tableau (III.14): Résultat de l'ajustement de $P_{max,j}$ à la loi de GUMBEL

T	q	XT	Ecart-type	Intervalle de confiance
10000.0	0.9999	89.3	8.60	72.5 - 106
2000.0	0.9995	78.1	7.18	64.1 - 92.2
1000.0	0.9990	73.3	6.58	60.4 - 86.2
200.0	0.9950	62.1	5.17	52.0 - 72.2
100.0	0.9900	57.2	4.57	48.3 - 66.2
50.0	0.9800	52.4	3.97	44.6 - 60.2
20.0	0.9500	45.9	3.19	39.6 - 52.2
10.0	0.9000	40.9	2.60	35.8 - 46.0
5.0	0.8000	35.7	2.02	31.7 - 39.6
3.0	0.6667	31.5	1.60	28.4 - 34.7
2.0	0.5000	27.8	1.30	25.2 - 30.3
1.4286	0.3000	23.9	1.13	21.7 - 26.1

Paramètres estimés	
u :	25.2243
alpha :	6.96174
Niveau de confiance	
95 %	

q = Probabilité au non-dépassement Autre période de retour f.d.p.

Résultat :

- On trouve que les ajustements de deux méthodes (manuelle et à l'aide de l'Hyfran) ont les mêmes valeurs à peu près.
- On observe que les valeurs d'ajustement de GUMBEL sont tous dans l'intervalle de confiance.

III.3. Etude des Apports liquides :

Les écoulements seront calculés à l'aide des formules empiriques à cause du manque des mesures hydrométriques sur le talweg principale.

III.3.1. Apport liquide moyen :

Pour l'estimation de l'écoulement liquide moyens du thalweg de M'Djedel on utilise les formules suivantes : [8]

III.3.1.1. les formules empiriques :

a) La Formule de l'A.N.R.H :

Elle s'exprime par :

$$A_0 = 0.513 \cdot P_{\text{moy}}^{2.386} \cdot D_d^{0.5} \cdot S^{0.842}$$

Avec :

P_{moy} : Pluie moyenne annuelle m

S : Superficie du bassin versant Km^2

D_d : Densité de drainage 2.87 Km/Km^2

Donc : $A_0 = 3.64 \text{ Hm}^3$

b) La Formule de DERY 1

Elle s'exprime par :

$$A_0 = 0.915 \cdot P^{2.684} \cdot S^{0.842}$$

Avec :

P : Pluie moyenne annuelle (mm).

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

Donc : $A_0 = 3.82 \text{ Hm}^3$

c) La Formule de MEDINGEER:

Elle s'exprime par :

$$Le = 1,024 (P_{\text{moy}} - 0,26)^2$$

Avec :

Le : lame d'eau écoulée (mm).

P : Pluie moyenne annuelle (m).

Le = 10,25 mm et : $Le = \frac{A_0}{S}$

Donc : $A_0 = 6.61 \text{ Hm}^3$

d) La Formule de SAMIE :

Elle s'exprime par :

$$Le = P_0^2 (293 - 2,2 \sqrt{S})$$

Avec :

Le : lame d'eau écoulée (mm).

P : Pluie moyenne annuelle (m).

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

$Le = 11,89 \text{ mm}$ et : $Le = \frac{A_0}{S}$

Donc : $A_0 = 7,68 \text{ Hm}^3$

Tableau (III.15): Résumé des résultats des Apports liquides moyens

Les FORMULE	L'Apport liquide Moyen (Hm ³)
L'ANRH	3,64
DERY 1	3,82
MEDINGER	6,61
SAMIE	7,68

Remarque :

Vu les résultats des différentes méthodes qui varient d'une méthode à une autre. On a choisit celle qui est la plus grande valeur (La formule de SAMIE)

III.3.2. 1' Estimation fréquentielle des apports :

Les apports fréquentiels ou de période de retour donnée sont nécessaires pour le dimensionnement de la cuvette et de la digue de l'ouvrage.

L'ajustement des apports annuels :

a) L'ajustement des apports annuels à la loi de Normal :

L'ajustement à la loi Normal de la série hydrométrique moyenne est fait à l'aide du logiciel HYFRAN.

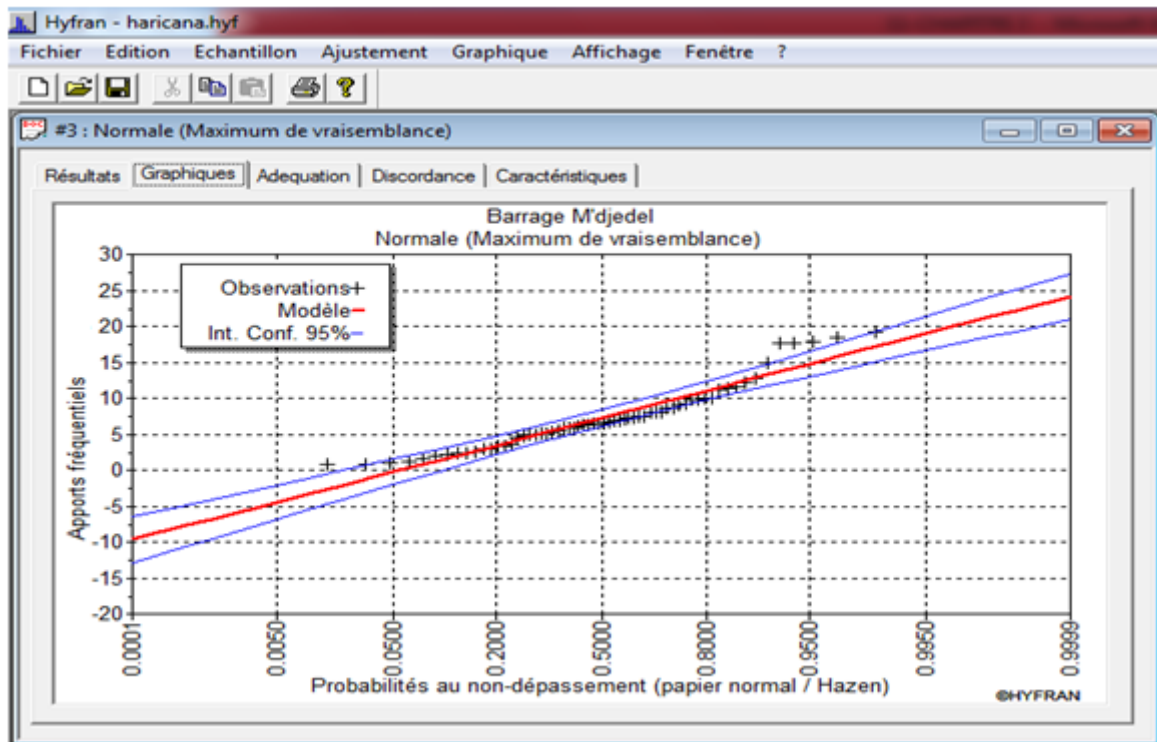
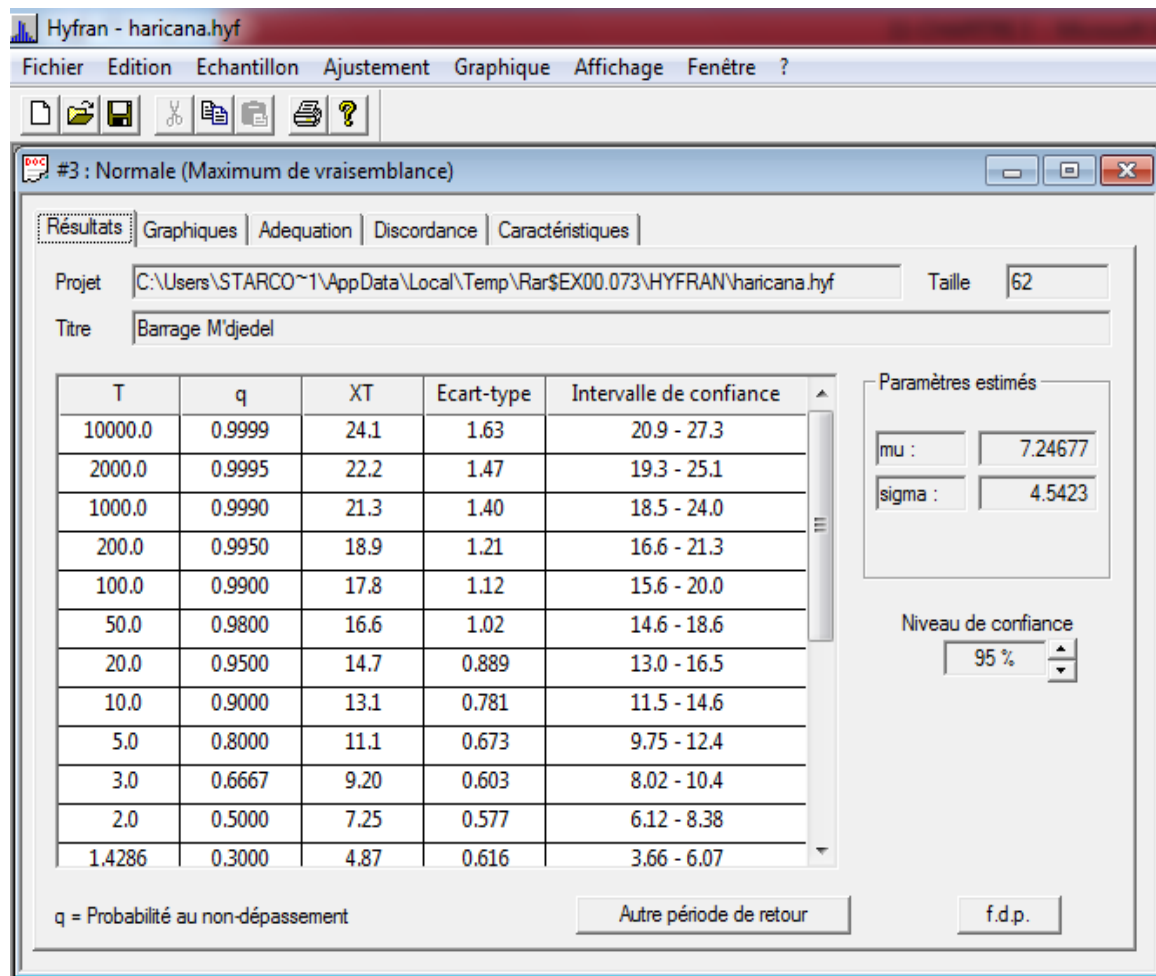


Figure (III.18): Ajustement des apports à la loi de loi-normale

Tableau (III.16): Les valeurs des apports fréquentiel pour différentes périodes de retours

b) L'ajustement des apports annuels à la loi de Gumbel :

L'ajustement à la loi de Gumbel de la série hydrométrique moyenne est fait à l'aide du logiciel HYFRAN.

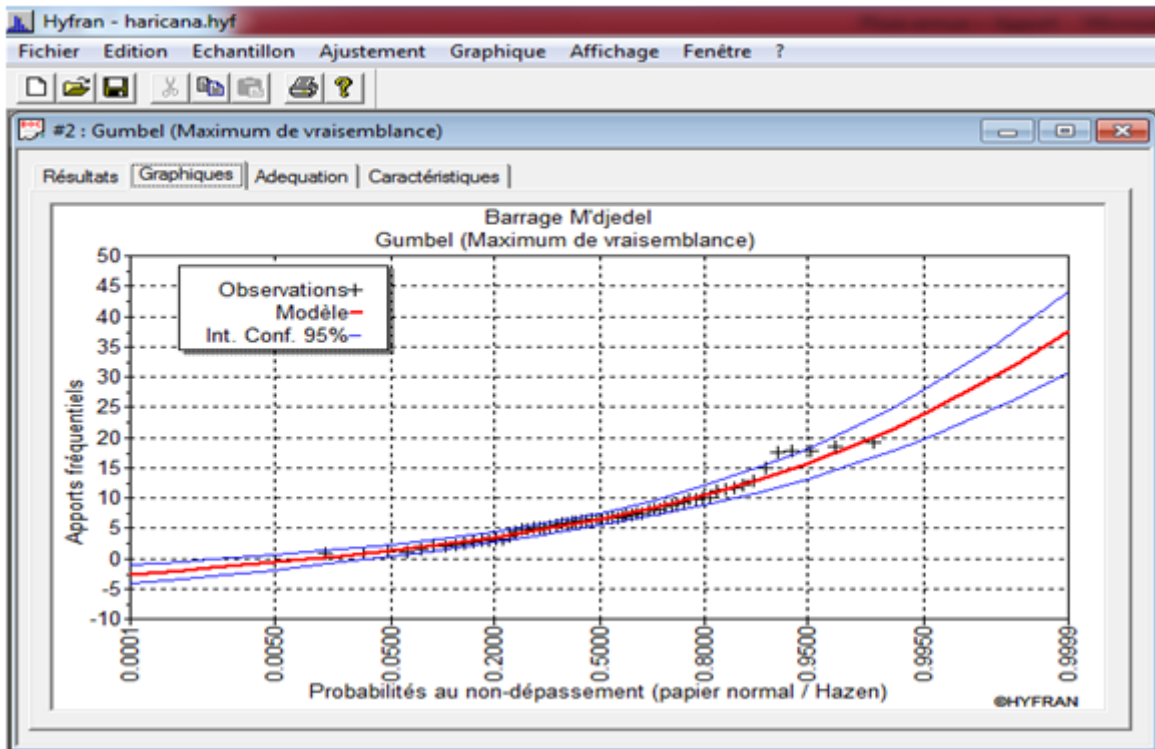


Figure (III.19): Ajustement des apports à la loi de loi-Gumbel

Tableau (III.17): Les valeurs des apports fréquentiel pour différentes périodes de retours.

T	q	XT	Ecart-type	Intervalle de confiance
10000.0	0.9999	37.5	3.41	30.8 - 44.2
2000.0	0.9995	31.9	2.85	26.3 - 37.5
1000.0	0.9990	29.4	2.61	24.3 - 34.5
200.0	0.9950	23.8	2.06	19.7 - 27.8
100.0	0.9900	21.3	1.82	17.8 - 24.9
50.0	0.9800	18.9	1.58	15.8 - 22.0
20.0	0.9500	15.6	1.27	13.1 - 18.1
10.0	0.9000	13.1	1.04	11.1 - 15.1
5.0	0.8000	10.5	0.806	8.87 - 12.0
3.0	0.6667	8.36	0.641	7.10 - 9.61
2.0	0.5000	6.48	0.522	5.45 - 7.50
1.4286	0.3000	4.54	0.452	3.65 - 5.42

q = Probabilité au non-dépassement

Autre période de retour

f.d.p.

Paramètres estimés

μ : 5.18918

alpha : 3.509

Niveau de confiance : 95 %

- On prend L'ajustement à la loi de GUMBEL parcequ'on observe que la plus part des valeurs d'ajustement de GUMBEL sont dans l'intervalle de confiance.

III.3.2.1. Répartition mensuelle de l'apport moyen annuel:

La répartition mensuelle de l'apport moyen annuel suit la même répartition mensuelle des précipitations ; on a donc :

$$A = 7,68 \text{ Hm}^3$$

Tableau (III.18): la répartition mensuelle des Apports

Mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUIL	AOUT
A(Hm ³)	0.714	0.714	0.60	0.79	0.978	0.56	0.67	0.82	1.09	0.37	0.07	0.282
% A	9.3	9.3	7.8	10.3	12.7	7.3	8.85	10.7	14.2	4.9	0.98	3.67

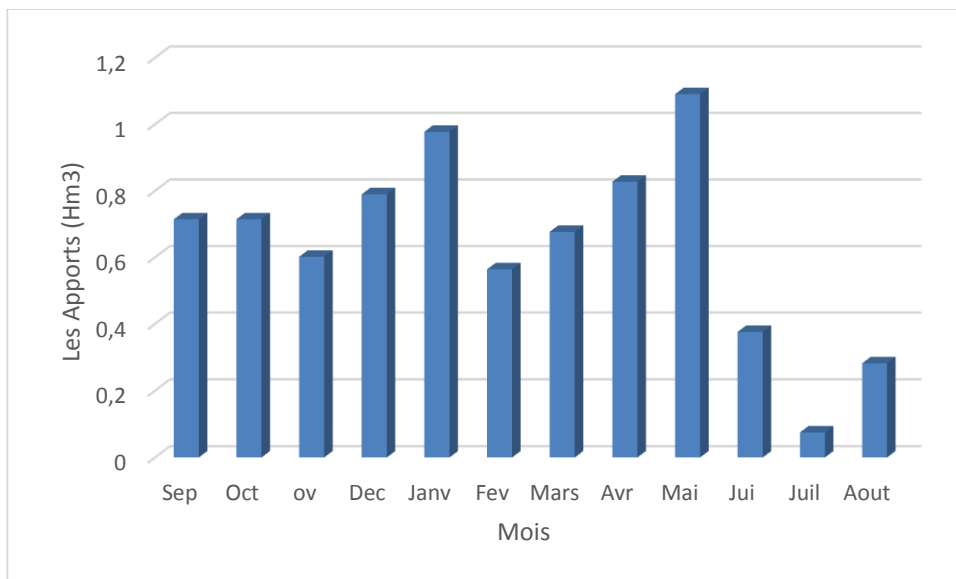


Figure (III.20): Répartition mensuelle de l'apport liquide moyen

III.4. Le Transport solide :

Le transport solide dans un cours d'eau constitue la seconde phase de l'érosion. La dynamique des matériaux arrachés du sol et transportés par l'écoulement dépend essentiellement de la vitesse d'écoulement et de la granulométrie.

L'eau trouve la puissance nécessaire pour ce transport dans la perte de la charge qu'elle subit. Le champ d'exploitation de vitesse varie tout au long du profil de l'oued de l'amont en aval.

L'eau met en jeu deux types de mécanismes : le charriage et la suspension qui sont les principaux types de transport solide.

III.4.1. Les Formules empiriques : [1, 5]

Formule de SOGREAH :

Pour l'est d'Algérie, la formule s'exprime par :

$$T_s = 92 \cdot L_0^{0.21}$$

Avec :

T_s : le transport solide en (t/Km²/an).

L_0 : la lame écoulée en (mm).

Donc :

$$T_s = 152.857 \text{ (t/Km}^2\text{/an)}$$

III.5. Calcul du volume mort :

Le volume mort est un volume constant qui ne participe pas à la régularisation des débits [8]

Le volume est donné par la formule suivante : (**Méthode liée à l'érosion spécifique**) :

Le volume est donné par la formule suivante :

$$V_m = \frac{T_s \cdot T \cdot S}{\gamma_s}$$

AVEC :

T : Durée de vie du barrage (50 ans);

γ_s : Poids spécifique des sédiments (1,6 t/m³);

S : Surface du bassin versant 645.53 Km²

D'où :

$$V_m = 3.08 \text{ Hm}^3$$

III.6. Conclusion :

D'après l'étude des apports on constate que :

- La précipitation moyenne interannuelle est de l'ordre de 224 mm.
- La lame d'eau moyenne écoulée dans le bassin versant de M'Djedel est de l'ordre de 11.89 mm.
- L'écoulement moyen interannuel est de l'ordre de 7.68 Mm³.
- Le volume mort est 2 Mm³.

**CHAPITRE IV : ETUDE
DE LA
REGULARISATION**

IV. Régularisation :

VI.1. Introduction :

Le but de la régularisation est de déterminer la capacité optimum de la retenue de barrage qui permet de rendre réguliers les débits de l'oued M'djedel afin de satisfaire les besoins en eau d'AEP et d'irrigation avec le moindre risque de défaillance possible.

Il existe deux types de régularisation sont utilisés:

- La régularisation saisonnière.
- La régularisation interannuelle.

➤ On va étudier les deux types de régularisation

Les paramètres indispensables ou calcul de la régularisation sont :

- La répartition mensuelle de l'apport ($A \text{ Hm}^3$).
- La répartition mensuelle des besoins en eau (AEP et Irrigation)
- La répartition mensuelle des pertes par évaporations et infiltrations.
- Les courbes caractéristiques de la retenue.

VI.2. Les paramètres indispensables ou calcul de la régularisation :

VI.2.1. La répartition mensuelle de l'apport ($A \text{ Hm}^3$):

Nous avons pris le même pourcentage de répartition mensuelle des précipitations

Tableau (IV.1): la répartition mensuelle des Apports

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
$A \text{ (Hm}^3\text{)}$	0.714	0.714	0.60	0.79	0.978	0.56	0.67	0.82	1.09	0.37	0.07	0.282
% A	9.3	9.3	7.8	10.3	12.7	7.3	8.85	10.7	14.2	4.9	0.98	3.67

VI.2.2. La répartition mensuelle des besoins en eau (l'AEP et l'Irrigation)

Les répartitions mensuelles sont obtenues auprès de l'ANBT

Tableau (IV.2): les Répartitions mensuelles des besoins [1]

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Dem AEP (Hm^3)	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.45	0.45	0.45	0.45
Dem IRR (Hm^3)	0,19	0,54	0.4	0.4	0.4	0.4	0.44	0.51	0.65	0.72	0.78	0.73
U (IRR+AEP) (Hm^3)	0,59	0,94	0,8	0,8	0,8	0,8	0,84	0,91	1,1	1,17	1,23	1,18

VI.2.3. Courbes caractéristiques de la retenue :

Les caractéristiques (hauteur-surface-volume) du réservoir ont été estimées pour différentes altitudes à partir du levé topographique de la cuvette. La cote minimale de la cuvette est 871 m et une cote maximale de 910 m.

L'approximation des volumes a été faite selon l'expression :

$$\Delta V_i = \frac{S_i + S_{i+1}}{2} \Delta H$$

S_i : surface du plan d'eau correspondant à la courbe de niveau H_i en km^2

S_{i+1} : surface du plan d'eau correspondant à la courbe de niveau H_{i+1} en km^2

ΔH : Différence d'altitude entre les deux courbes de niveau successives

ΔV_i : Volume élémentaire compris entre deux courbes de niveau successives (Hm^3)

Tableau (IV.3): Caractéristiques topographiques et volumétriques de la retenue

Cote (m)	S (Km ²)	S _{moy}	ΔH (m)	V (Hm3)	V cum (Hm3)
871	0	0,025	5	0,124	0
876	0,049				0,124
881	0,136	0,093	5	0,464	0,588
		0,216	5	1,082	1,670
886	0,297	0,427	5	2,133	3,803
		0,775	5	3,875	7,678
891	0,557	1,29	5	6,452	14,13
		1,96	5	9,799	23,929
906	2,332	2,637		10,548	34,477
910	2,942				

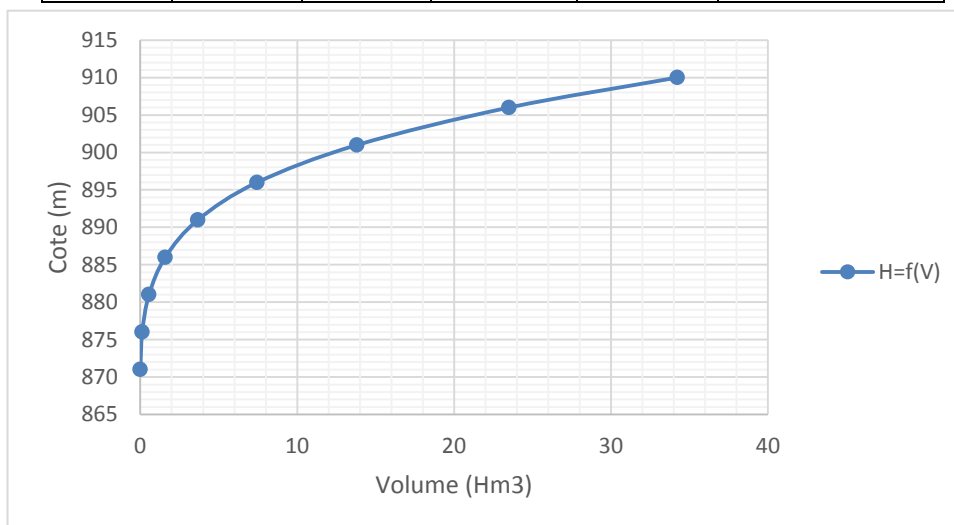


Figure (IV.1): Courbe Capacité-Hauteur

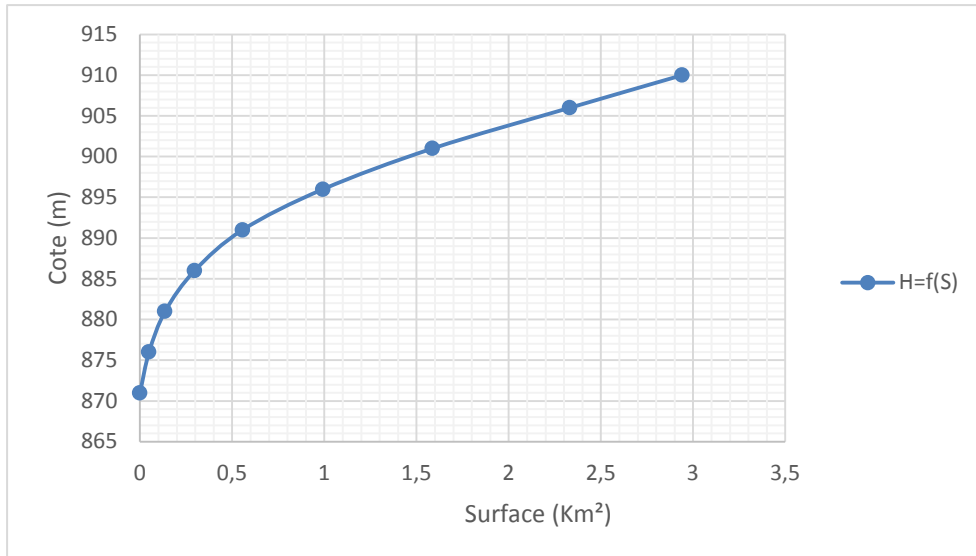


Figure (IV.2): Courbe Hauteur-Surface

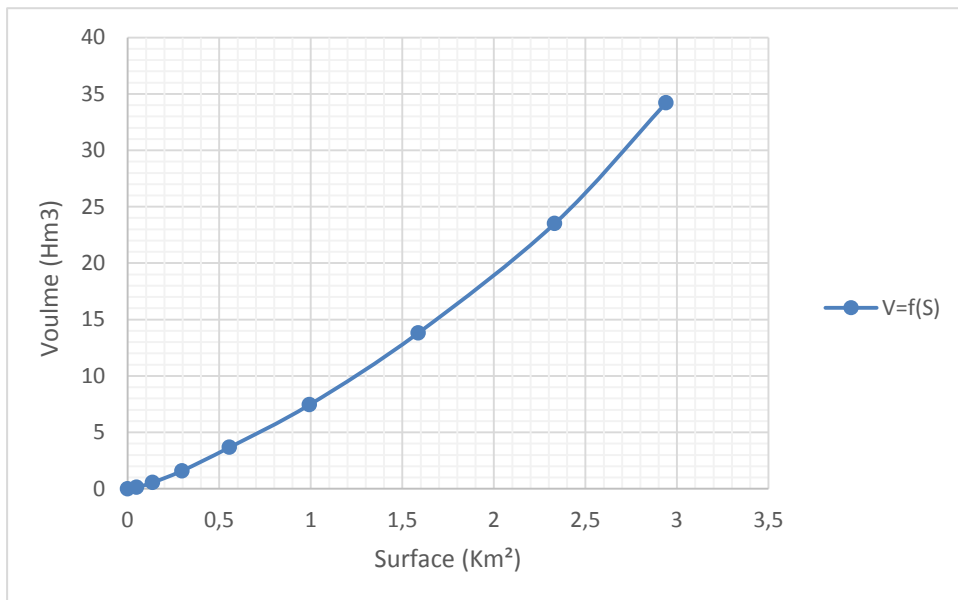


Figure (IV.3): Courbe Capacité-Surface

VI.3. Calcul du volume utile :

Pour calculer le volume utile de la retenue on a besoin de :

- ❖ L'apport annuel A
- ❖ La consommation totale.
- ❖ Le volume mort de la retenue.

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

➤ **Procédé de calcul:**

- Détermination des périodes excédentaires et déficitaires sur un cycle hydrologique.
- Calcul des volumes excédentaires et déficitaires " V_s " et " V_d ".
- Détermination du type de fonctionnement de la retenue et calcul du volume utile.

Les résultats de calcul le volume utile sont donnés dans les tableaux suivants :

Tableau (IV.4): Les mois excédentaires :

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M
A (Apport) (Hm³)	0.714	0.714	0.60	0.79	0.978	0.56	0.67	0.82	1.09
U (IRR+AEP) (Hm³)	0,59	0,94	0,8	0,8	0,8	0,8	0,84	0,91	1,1
A-U (Hm³)	0,12	0,17	0,2	0,39	0,577	0,16	0,23	0,32	0,4

Tableau (IV.5): Les mois déficitaires :

Mois	J	J	A
A (Apport) (Hm³)	0.37	0.07	0.282
U (IRR+AEP) (Hm³)	1,17	1,23	1,18
A-U (Hm³)	-0,3	-0,71	-0,46

Tableau (IV.6): Calcul des volumes excédentaires et déficitaires " V_s " et " V_d ".

$\sum V_s$ (Hm ³)	$\sum V_d$ (Hm ³)
2,601	1,5

Donc: la retenue fonctionne à un seul temps.

$$V_s > V_d \quad \text{D'où} : V_u = V_d$$

Alors :

$$V_u = 1.5 \text{ Hm}^3$$

VI.4. La Régularisation saisonnière sans tenir compte des pertes:**VI.4.1. Calcule Le volume de la retenue normale V_{NNR} :**

$$V_{NNR} = V_u + V_m$$

D'où :

$$V_{NNR} = 4.58 \text{ Hm}^3$$

La capacité utile détermine le niveau de remplissage possible de la retenue dans les conditions normale d'exploitation c'est-à-dire la cote au niveau normale de la retenue NNR

L'alternance de la période de remplissage ou de restitution s'appelle temps de fonctionnement, à ce dernier s'ajoutent les consignes d'exploitation qui sont au nombre de deux :

- **1^{ère} Consigne d'exploitation :**

Elle consiste à remplir le barrage jusqu'au niveau normale de la retenue (NNR) lors des crues et à restituer après. L'excédent d'eau est déversé par l'évacuateur de surface.

- On se fixe le niveau de remplissage initial et on détermine le remplissage final pour chaque mois en tenant compte du NNR et du niveau du volume mort NVM que l'en doit pas dépasser.

- **2^{ème} Consigne d'exploitation :**

Cette consigne consiste à faire évacuer les eaux excédentaires à travers l'évacuateur de fond. Remplir et ensuite restituer au consommateur.

Tableau (IV.7): Régularisation saisonnière sans tenir compte des pertes en (Hm³).

Mois	App	U	A-U	1 ère consigne d'exploitation			2 ème consigne d'exploitation		
				Vi	Vi	S	Vi	Vf	S
Septembre	0,714	0,592	0,122		3.08				
				3,202	3,202	0	1.978	3.08	1.101
Octobre	0,714	0,544	0,17						
				3,372	3,372	0	2,1	2,1	-
Novembre	0,602	0,4	0,202						
				3,574	3,574	0	2,271	2,271	-
Décembre	0,79	0,4	0,39						
				3,963	3,963	0	2,472	2,472	-
Janvier	0,978	0,4	0,578						
				4,541	4,541	0	2,862	2,862	-
Février	0,564	0,4	0,164						
				4,705	4,58	0,125	3,439	3,439	-
Mars	0,677	0,448	0,229						
				4,808	4,58	0,228	3,603	3,603	-
Avril	0,827	0,512	0,315						
				4,895	4,58	0,315	3,832	3,832	-
Mai	1,09	0,658	0,432						
				5,012	4,58	0,432	4,147	4,147	-
Juin	0,376	0,722	-0,346						
				4,233	4,233	0	4,592	4,58	-
Juillet	0,075	0,786	-0,711						
				3,523	3,523	0	4,246	4,246	-
Aout	0,282	0,738	-0,456						
				3.08	3.08	0	3,536	3,536	-

VI.5. La Régularisation saisonnière (en tenant compte des pertes):

Les pertes dans la retenue sont à deux sortes :

- ◆ Pertes par évaporation.
- ◆ Pertes par infiltration.

VI.5.1. Pertes par évaporation :

On a: $V_{ep} = E_s \cdot S_{moy}$

V_{ep} : volume perdu à cause de l'évaporation.

E_s : Evaporation mensuelle (m).

S_{moy} : Surface du plan d'eau correspond au volume moyen (V_{moy}).

V_{moy} : volume moyen. $\left[V_{moy} = \frac{V_{f,i} + V_{f,i+1}}{2} \right]$

$V_{f,i}$ et $V_{f,i+1}$: les volumes de la retenue de deux mois successifs.

VI.5.2. Pertes par infiltration:

Le volume mensuel des pertes par infiltration est donné par :

$$V_{inf} = \frac{\delta \cdot V_{moy}}{100}$$

V_{inf} : volume perdu à cause de l'infiltration.

δ : Coefficient qui dépendant des conditions hydrogéologiques de la cuvette déterminer d'après le tableau

V_{moy} : volume moyen.

Tableau (IV.8): valeurs de δ en fonction des conditions hydrogéologiques

Nature	Hauteur d'infiltration pendant une année (cm)	δ
Sol à faible perméabilité	0 à 50	0,5 à 1,0
Sol à perméable moyenne	50 à 100	1 à 1,5
Sol a forte perméabilité	>100 à 200	>1,5 à 3,0

En notre cas : $\delta=1.25$

Le calcul des pertes est représenté dans le tableau suivant :

Tableau (IV.9): Les volumes des pertes dans la retenue :

Mois	S_{moy} (km ²)	Ev (mm)	V_{ev} (Hm ³)	V_{moy} (Hm ³)	V_{inf} (Hm ³)	Pertes (Hm ³)
Septembre	0,341	158	0,054	2,061	0,026	0,080
Octobre	0,355	111	0,039	2,208	0,028	0,067
Novembre	0,370	77	0,029	2,394	0,030	0,058
Décembre	0,400	62	0,025	2,689	0,034	0,058
Janvier	0,445	65	0,029	3,173	0,040	0,069
Février	0,448	68	0,030	3,481	0,044	0,074
Mars	0,448	91	0,041	3,500	0,044	0,085
Avril	0,448	115	0,052	3,500	0,044	0,095
Mai	0,448	161	0,072	3,500	0,044	0,116
Juin	0,421	183	0,077	3,327	0,042	0,119
Juillet	0,366	237	0,087	2,799	0,035	0,122
Aout	0,388	211	0,082	2,215	0,028	0,110

Tableau (IV.10): La Régularisation saisonnière (en tenant compte des pertes) :

Mois	A	U	Pertes	A- (U+P)	1ère consigne d'exploitation			2ème consigne d'exploitation		
					Vi	Vi	S	Vi	Vf	S
Septembre	0,714	0,592	0,08	0,042		3.08				
Octobre	0,714	0,544	0,067	0,103	3,122	3,122	0	2,680	3.08	0.399
Novembre	0,602	0,4	0,058	0,143	3,226	3,226	0	2,722	2,722	-
Décembre	0,79	0,4	0,058	0,331	3,369	3,369	0	2,826	2,826	-
Janvier	0,978	0,4	0,069	0,508	3,700	3,700	0	2,969	2,969	-
Février	0,564	0,4	0,074	0,089	4,209	4,209	0	3,300	3,300	-
Mars	0,677	0,448	0,085	0,144	4,299	4,299	0	3,809	3,809	-
Avril	0,827	0,512	0,095	0,219	4,443	4,443	0	3,899	3,899	-
Mai	1,09	0,658	0,116	0,316	4,663	4,58	0.083	4,04	4,04	-
Juin	0,376	0,722	0,119	-0,384	4,896	4,58	0,316	4,26	4,26	-
Juillet	0,075	0,786	0,122	-0,702	4,195	4,195	0	4,62	4,58	-
Aout	0,282	0,738	0,109	-0,455	3,492	3,492	0	4,23	4,23	-
					3.08	3.08	0	3,53	3,53	-

VI.7. La Régularisation interannuel :

La régularisation interannuelle a pour but de satisfaire la consommation durant plusieurs années.

Pour effectuer cette étude, on a choisi la méthode de Kritsky-Menkel

VI.7.1. Calcul du volume utile interannuel sans tenir compte des pertes :

Cette méthode basée sur les caractéristiques de l'échantillon. Elle consiste à déterminer le déficit pendant des années sèches. Donc il faut disposer d'une série des débits moyens annuels

On a : $V_{u_{int}} = V_{an} + V_{int\ an}$

Avec :

- $V_{u_{int}}$: volume utile inter annuelle
- V_{an} : volume annuelle ($V_{an} = V_{u\ an} = 1.5 \text{ Hm}^3$)
- $V_{int\ an}$: volume inter annuelle

Le volume interannuel dont la relation :

$$V_{int\ an} = \beta_{plur} \cdot A$$

A_0 : Apport moyenne inter annuelle ($A_0 = 7.24 \text{ Hm}^3$)

β_{plur} : composante interannuel

$$\beta_{plur} = [(\alpha - K_{p\%}) \cdot n]$$

Avec :

- n : Numéro de rang
- α : Coefficient de régularisation on prend $\alpha = 0.9$
- $K_{p\%}$: Coefficient de l'hydraulicité

$$K_{p\%} = F_{p\%} \cdot C_v^{(n)} + 1$$

Avec :

C_v : Coefficient de variation

$F_{p\%}$: la probabilité en fonction de $P_{\%}$ et C_s

$$C_v^{(n)} = \frac{C_v}{\sqrt{n}} ; C_s^{(n)} = \frac{C_s}{\sqrt{n}}$$

On prend : $\beta_{plur} = \max [(\alpha - K_{p\%}) \cdot n]$

D'après le tableau de calcul dans l'ANNEXE .on trouve :

$$\beta_{plur} = 0.723$$

Alors : Le volume inter annuelle :

$$V_{int\ an} = \beta_{plur} \cdot A$$

$$V_{int\ an} = 5.23 \text{ Hm}^3$$

➤ **Donc** : Le volume utile inter annuelle

$$V_{u_{int}} = V_{an} + V_{int\ an}$$

$$V_{u_{int}} = 6.73 \text{ Hm}^3$$

VI.7. Conclusion :

Après l'étude de la régularisation on a obtenue :

- La capacité totale du barrage : $V_{\text{NNR}} = 9.81 \text{ Mm}^3$
- La cote au niveau normal de la retenue est $\text{NNR} = 898 \text{ m.NGA}$
- La cote au niveau du volume mort : $\text{NVM} = 889.5 \text{ m.NGA}$

CHAPITRE V : ETUDE DES CRUES

V. L'Etude des crues:

V.1. Introduction :

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

L'estimation des crues révèle une grande importance pour la sécurité de l'ouvrage à implanter.

Les paramètres définissant une crue sont:

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

Pour la détermination du débit de pointe probable de la crue des différentes périodes de retour, différentes formules empiriques ont été sélectionnées pour le calcul, par manque d'observation.

V.2. Les Formules empiriques pour la détermination de la crue: [6]

a) Formule de MALLET-GAUTHIER :

Elle s'exprime par :

$$Q_{\max, f\%} = 2K \log(1+20.P_{\text{moy}}) \cdot \frac{S}{\sqrt{L}} \sqrt{1+4 \log T - \log S}$$

$Q_{\max, f\%}$: Débit maximum pour une fréquence donnée (m³/s).

P_{moy} : Pluie moyenne annuelle ($P_{\text{moy}} = 224$ mm).

S : Superficie du bassin versant ($S = 645$ Km²).

L : Longueur du talweg principal ($L = 62$ Km).

K : Constante dépendant des caractéristiques du bassin : K (1-3)

On prend $K = 2$.

T : Période de retour (an).

Tableau (V.1): Débit maximum de crue pour différents périodes de retour
(Formule de MALLET-GAUTHIER)

Période de retour T (ans)	10	20	50	100	1000	10000
$Q_{\max, f\%}$ (m ³ /s)	358,265	445,996	540,542	602,28	772,744	911,87

b) Formule de POSSENTI:

Elle s'exprime par :

$$Q_{\max, f\%} = \frac{\mu * P_{\max j\%} * S}{Lp}$$

$Q_{\max, f\%}$: Débit maximum pour une fréquence donnée (m^3/s).

$P_{j\max}$: Pluie maximale journalière correspondante à la période de retour donnée.

μ : Coefficient compris entre 700 – 800 ; On prend $\mu = 750$.

S : Superficie du bassin versant ($S = 645Km^2$).

L : Longueur du talweg principal ($L = 62Km$).

On obtient les résultats ci-après le tableau suivant:

Tableau (V.2): Débit maximum de crue pour différents périodes de retour
(Formule de POSSENT)

période de retour T (ans)	10	20	50	100	1000	10000
Fréquence (%)	0,9	0,95	0,98	0,99	0,999	0,9999
$P_{j\max}$ (mm)	39,663	44,212	50,1	54,512	69,091	83,644
$Q_{\max f\%}$ (m^3/s)	309,47	344,96	390,899	425,324	539,074	652,624

c) Formule de Giandotti :

Elle s'exprime par :

$$Q_{\max, f\%} = 160 \times P_{j\max} \times S \times \frac{(H_{\max} - H_{\min})^{\frac{1}{2}}}{4 \times S^{\frac{1}{2}} + 1,5 \times L}$$

$Q_{\max, f\%}$: Débit maximum pour une fréquence donnée (m^3/s).

$P_{j\max}$: Pluie maximale journalière correspondante à la période de retour donnée.

S : Superficie du bassin versant ($S = 645Km^2$).

L : Longueur du talweg principal ($L = 62Km$).

H_{\max} : la hauteur maximal ($H_{\max} = 1536m$)

H_{\min} : la hauteur minimal ($H_{\min} = 869m$)

Tableau (V.3): Débit maximum de crue pour différents périodes de retour
(Formule de Giandotti)

période de retour T (ans)	10	20	50	100	1000	10000
Fréquence (%)	0,9	0,95	0,98	0,99	0,999	0,9999
$P_{j\max}$ (%)(mm)	39,663	44,212	50,1	54,512	69,091	83,644
$Q_{\max f\%}$ (m^3/s)	325,202	362,496	410,771	446,945	566,478	685,8

V.3. Hydrogramme de crue :**La Détermination des Hydrogramme de crues probables par la méthode de Sokolovski :**

L'Hydrogramme de crue est une identité de la crue, il nous détermine ses caractéristiques principales qui sont:

- ❖ Le volume.
- ❖ La durée.
- ❖ Le débit maximum (débit de pointe).

Pour le tracer de l'Hydrogramme de crue, on doit suivre la méthode de Sokolovski qui le divise en deux parties non symétriques, calculées à partir des temps de montée et de la décrue.

V.3.1. Pour le temps de montée:

Il s'exprime par :

$$Q_{\text{montée}} = Q_{\text{max}} \left(\frac{T}{T_m} \right)^2$$

Q_{max} : Débit maximum pour une fréquence donnée (m³/s).

T_m : Temps de montée. ($T_m = T_c$ (Temps de concentration))

V.3.2. Pour le temps de décrue:

Il s'exprime par :

$$Q_{\text{déc.}} = Q_{\text{max}} \left(\frac{T_d - T}{T_d} \right)^3$$

Q_{max} : Débit maximum pour une fréquence donnée (m³/s).

T_d : Temps de démontée

Avec: $T_d = \delta T_c$ (Sokolovski)

δ : Coefficient dépendant des caractéristiques du bassin versant ,il est pris en général compris entre (2 — 4) , celui-ci est fonction du cours d'eau (longueur), de la perméabilité et du boisement du bassin ,on prend $\delta= 2$.

Les résultats de calcul des débits de la crue pour les différentes périodes de retour

Remarque :

Le temps de concentration on a déjà calculé (Chapitre II) et on a pris

$T_c = 16,5$

Tableau (V.4): débits fréquents pour la construction l'hydrogramme de crue**La Phase de la montée :**

t (heures)	Q_{\max} (T=10) (m3/s)	Q_{\max} (T=100) (m3/s)	Q_{\max} (T=1000) (m3/s)
0	0	0	0
2	5,264	8,849	11,353
4	21,055	35,396	45,414
6	47,373	79,64	102,18
8	84,219	141,583	181,654
10	131,592	221,223	283,835
12	189,493	318,561	408,722
14	257,921	433,597	556,316
16	336,876	566,331	726,617
16,5	358,26	602,28	772,74

Tableau (V.5): débits fréquents pour la construction l'hydrogramme de crue**La Phase de la démontée:**

t (heures)	Q_{\max} (T=10) (m3/s)	Q_{\max} (T=100) (m3/s)	Q_{\max} (T=1000) (m3/s)
0	358,26	602,28	772,74
2	296,99	499,277	640,585
4	243,137	408,743	524,428
6	196,222	329,874	423,236
8	155,767	261,865	335,979
10	121,294	203,911	261,622
12	92,324	155,208	199,136
14	68,378	114,952	147,487
16	48,978	82,339	105,642
18	33,646	56,563	72,571
20	21,902	36,82	47,241
22	13,269	22,307	28,62
24	7,267	12,218	15,675
26	3,419	5,748	7,375
28	1,246	2,095	2,688
30	0,269	0,453	0,581
32	0,01	0,017	0,022
33	0	0	0

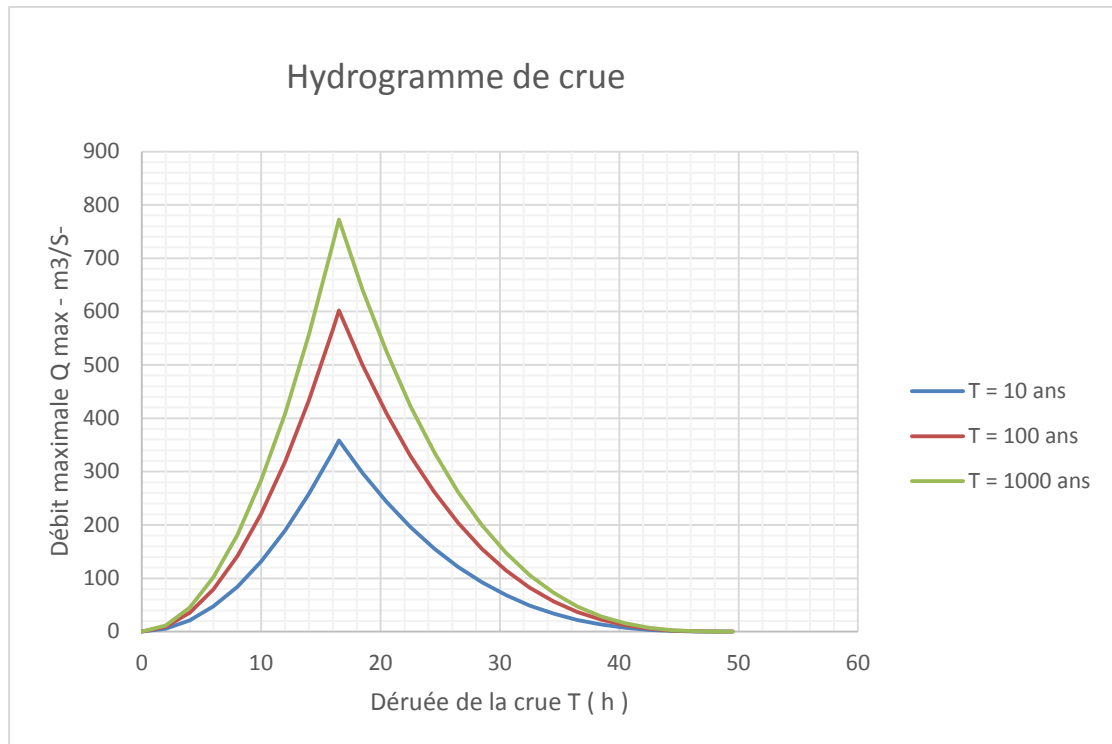


Figure (V.1): Hydrogrammes des crues

V.4. Choix de la crue du projet

Le choix de la crue du projet est très important. Elle influe directement sur le débit à évacuer donc sur la taille de l'évacuateur donc sur le dimensionnement des ouvrages (la hauteur du barrage).

Pour le choix de la crue du projet, nous nous rapportons aux recommandations du Comité Australien des Grands Barrages Pour le cas de notre étude, les connaissances hydrologiques paraissent moyennes et que le risque en aval est faible [5]

Tableau (V.6): recommandations du Comité Australien des Grands Barrages

Catégorie des dommages	Crue de projet recommandé
Elevés : - perte de vie - dommages considérables	1/100000 à 1/10000
Importants : - pas de pertes de vies - dommages importants	1/10000 à 1/1000
Faibles : - pas de perte de vies - dommages légers	1/1000 à 1/100

Alors nous optons pour une crue de projet de fréquence de l'ordre de 0,001. Le débit de la crue du projet de l'aménagement de l'oued de M'Djedel pour un temps de retour de $T = 1000$ ans. Donc le débit maximale probable est de l'ordre de :

$$Q_{\max} = 772,740 \text{ m}^3/\text{s}$$

V.5. Laminage des crues :

Le laminage d'une crue correspond à la réduction du débit de pointe de son hydrogramme. Il se fait à travers un réservoir. Lorsqu'une onde de crue entre dans un réservoir muni d'un système de vidange, le débit sortant produit un hydrogramme ayant une pointe décalée dans le temps et plus faible que celle de l'hydrogramme d'entrée.

V.5.1 Laminage de la crue de projet par la méthode de KOTCHERINE

La méthode de Kotchirine base sur les principes suivants :

- L'hydrogramme de crue est considéré comme un triangle ou un trapèze,
- Les débits transitent par l'évacuateur de crue se déversent selon une fonction linéaire,
- Le laminage commence avec le remplissage de la cuvette au niveau normal de la retenue (NNR).
- Les pertes par infiltration et évaporation sont considérées comme nulles au moment de la crue.

V.1.1. Estimation du débit de la crue laminée

$$V_F = V_C \left(1 - \frac{q}{Q}\right)$$

Avec :

- V_F : le volume de charge sur le déversoir déduit par la courbe capacité hauteur (m^3)
- V_C : le volume de la crue correspondant au Q (m^3)
- Q : le débit de la crue en (m^3/s)
- q : le débit laminé (m^3/s)

De cette relation déduit le débit de crue laminée :

$$q = Q \left(1 - \frac{V_F}{V_C}\right)$$

Cette relation montre une réduction du débit de pointe de la crue au fur et à mesure que le niveau d'eau augmente dans la cuvette.

V.1.2. Estimation de la charge au-dessus du déversoir

Le débit de crue transitant par l'évacuateur de crue se calcule pour différentes charges (H), et différentes largeurs du seuil déversant (b) de l'évacuateur de crues par la relation :

$$q = m \times b \times \sqrt{2g \times H^{\frac{3}{2}}}$$

Avec :

- m : coefficient de débit, dépendant notamment de l'épaisseur du déversoir par rapport à la charge H_0 , et de la forme de la crête du déversoir, pour notre cas il est constant et égal à 0,49
- g : l'accélération de pesanteur; [$g = 9,81\text{m}^2/\text{s}$]
- b : la largeur de déversoir [m]
- H_0 : la charge sur le déversoir.

Procédé de calcul

- on donne différentes valeurs des lames d'eau $H = 0.2 ; 0,4 ; \dots ; 4$.
- puis on définit la cote $PHE = NNR+H = 897+H$
- A l'aide de la courbe capacité-hauteur, on détermine le volume V_{PHE} relatif à chaque PHE. (NPHE : Niveau des Plus Hautes Eaux)
- On définit aussi le volume en charge pour chaque lame tel que :

$$V_F = V_{PHE} - V_{NNR} = V_{PHE} - 9.81$$
- Et enfin, définir le volume de la crue pour l'hydrogramme de crue ayant une forme triangulaire.

Les données de départs pour la méthode de KOTCHERINE sont données dans le tableau :

Des itérations de différentes largeurs (b) donnent des courbes qui peuvent s'entrecroiser avec celle de $Q_{\max,p\%}$. Ce sont ces points de croisement qui permettent de définir le débit de crue laminé correspondant à la largeur donnée, les résultats de calcul pour le laminage de la crue de projet par la méthode de KOTCHERINE sont donnés dans les tableaux :

Tableau (V.7): Les données de départ pour la méthode de KOTCHERINE

H_0 (m)	PHE (m)	V_{PHE} (Hm ³)	V_F (Hm ³)	q (m ³ /s)	b (m)
0,2	898,2	10,430	0,620	684,949	3528,318
0,4	898,4	10,751	0,941	682,246	1242,525
0,6	898,6	11,072	1,262	679,542	673,665
0,8	898,8	11,393	1,583	676,839	435,818
1	899	11,714	1,904	674,136	310,600
1,2	899,2	12,035	2,225	671,432	235,334
1,4	899,4	12,357	2,547	668,729	186,000
1,6	899,6	12,678	2,868	666,026	151,623
1,8	899,8	12,999	3,189	663,322	126,552
2	900	13,320	3,510	660,619	107,612
2,2	900,2	13,641	3,831	657,915	92,895
2,4	900,4	13,962	4,152	655,212	81,193
2,6	900,6	14,283	4,473	652,509	71,710
2,8	900,8	14,605	4,795	649,805	63,900
3	901	14,926	5,116	647,102	57,378
3,2	901,2	15,247	5,437	644,399	51,866
3,4	901,4	15,568	5,758	641,695	47,159
3,6	901,6	15,889	6,079	638,992	43,102

Tableau (V.8): Débits déversant en fonction de H_0 b et le volume de la crue

b (m)	60	65	70	75
H_0 (m)	q(60) (m ³ /s)	q(65) (m ³ /s)	q(70) (m ³ /s)	q(75) (m ³ /s)
0,2	11,648	12,618	13,589	14,560
0,4	32,945	35,690	38,436	41,181
0,6	60,523	65,567	70,611	75,654
0,8	93,182	100,947	108,712	116,477
1	130,226	141,078	151,930	162,782
1,2	171,186	185,452	199,717	213,983
1,4	215,719	233,696	251,672	269,649
1,6	263,558	285,522	307,485	329,448
1,8	314,489	340,697	366,904	393,111
2	368,334	399,029	429,723	460,418
2,2	424,943	460,355	495,767	531,179
2,4	484,188	524,537	564,886	605,235
2,6	545,955	591,451	636,948	682,444
2,8	610,146	660,992	711,837	762,683
3	676,673	733,062	789,452	845,841

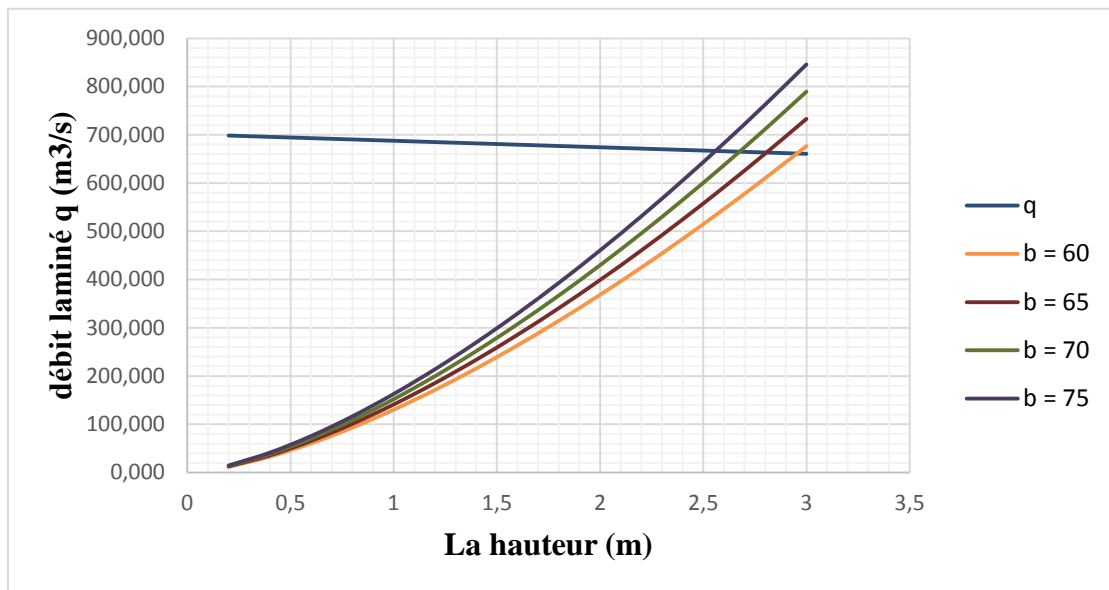


Figure (V.2): Laminage de la crue de projet pour différentes largeur du déversoir

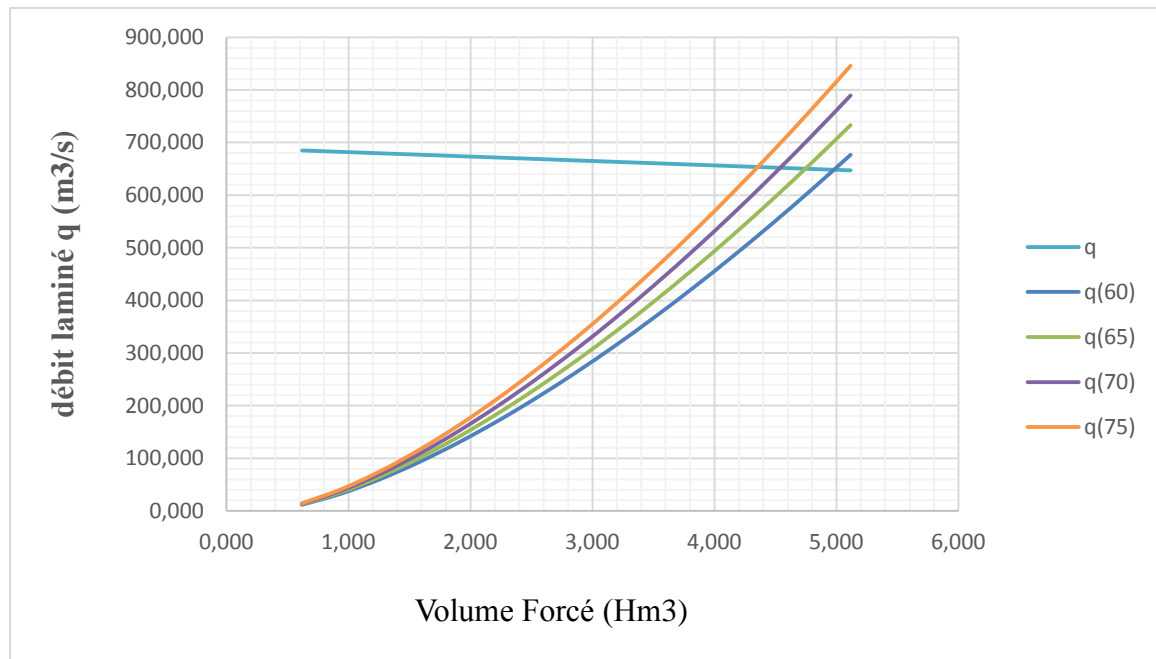


Figure (V.3): Courbes $V=F(q)$ avec différentes largeurs du déversoir

On opte pour une largeur de déversoir de $b = 60$ m, correspondant à un débit laminé $q = 660 \text{ m}^3/\text{s}$ une charge de 2.95 m et un volume forcé de 5 Hm^3 .

V.6. Conclusion :

L'étude effectuée dans ce chapitre nous a permis de constater que :

- Le débit de crue du projet obtenue pour un temps de retour de 1000 ans est $772.74 \text{ m}^3/\text{s}$.
- le débit de pointe de la crue laminée (q) est estimé à une valeur de $660 \text{ m}^3/\text{s}$
- La largeur du déversoir (b) est $b = 60$ m
- la hauteur de volume déversée, $H_0 = 3,6$ m, qui donne un volume forcé, $V_F = 4.5 \text{ Hm}^3$.

CHAPITRE VI : PRE-
DIMENSIONNEMENT
DU BARRAGE

VI.1. Introduction :

Un barrage est un ouvrage d'art construit en travers d'un cours d'eau et destiné à en réguler son débit et/ou à stocker de l'eau et pour le contrôle des crues.

VI.2. Divers types de barrages

VI.2.1 Les barrages en remblai :

Les barrages en terre présentent notamment l'avantage de pouvoir reposer sur des fondations de médiocre qualité, c'est-à-dire compressibles. Tous les barrages en terre peuvent être considérés comme des barrage-poids, c'est-à-dire qu'ils résistent à la pression de l'eau par leur propre poids. C'est ce qui explique leur section de forme trapézoïdale. On

En trouve de trois types :

- homogène,
- à noyau,
- à masque.

VI.2.1.1. Barrage homogène

Un barrage en terre est dit homogène lorsqu'il est constitué d'un même matériau à dominante argileuse, relativement imperméable. Selon les ouvrages, la pente des talus sera plus ou moins forte, en fonction notamment des caractéristiques du matériau employé.

VI.2.1.2. Barrage à noyau

Dans un barrage à noyau, les fonctions de résistance et d'étanchéité sont en quelque sorte séparées. La résistance est assurée par les recharges placées sur les flancs de l'ouvrage, et l'imperméabilité par le noyau central.

Le noyau au centre de l'ouvrage va être constitué de la terre la plus imperméable possible. Il sera tenu de part et d'autre par des recharges composées, selon les cas, de terre plus perméable, d'alluvions ou d'énrochements.

VI.2.1.3. Barrage à masque

Il peut aussi exister des sites où aucune terre n'est disponible, mais seulement des énrochements. Ceux-ci sont alors employés pour réaliser le corps du barrage, tandis que l'étanchéité est assurée par un masque de béton, ciment ou béton bitumineux posé sur l'ouvrage lui-même, côté amont.

VI.2.1.4. Barrage en énrochement :

Un barrage en énrochement est essentiellement un « grand tas de gros cailloux ». Comme ce dernier n'est pas imperméable par lui-même, il faut lui adjoindre un organe d'étanchéité qui constitue la partie la plus délicate de l'ouvrage

VI.2.2. Les Barrages en béton :

L'avantage du béton est notamment d'autoriser la construction des ouvrages plus résistants.

Il en existe deux principaux types :

- les barrages poids,
- les barrages voûte.
- les barrages conterfort

VI.2.2.1. Barrage poids

Comme son nom l'indique, ce type de barrage oppose son poids à l'eau pour la retenir. En fonction des propriétés de résistance du matériau, la forme triangulaire à l'aval de l'ouvrage s'est peu à peu imposée.

VI.2.2.2. Barrage voûte

Le barrage voûte représente l'ultime aboutissement de l'utilisation des propriétés du béton en termes de résistance. Il permet des économies de volume d'au moins 30 % par rapport à un barrage-poids.

VI.2.2.3. Barrages à contrefort

C'est un grand mur en béton qui s'appuie sur des contreforts en laissant des évidements, économisant ainsi du béton. Les contreforts, relativement minces, conduisent les efforts jusqu'aux fondations.. Ce mode de construction se subdivise en sous-catégories; contreforts à têtes arrondies à masque amont, à voûtes multiples.

VI.3. Le type du barrage M'djedel :

Le Barrage M'djedel c'est un barrage en remblai composé principalement d'une recharge amont en alluvions et d'une recharge aval en enrochement. L'organe d'étanchéité est assuré par une géomembrane en pvc.

VI.4. La hauteur du barrage H_B :

Elle est donnée par la relation :

$$H_b = h_{nnr} + h_d + R + S_c$$

Avec:

h_{nnr} : Hauteur au niveau normal de la retenue (m)

h_d : Hauteur d'eau correspond au volume forcé en (m)

R : Revanche du barrage en (m)

S_c : La Sécurité [0,5 – 3] (m)

Tableau (IV.11): Résumé des valeurs

Paramètres	Les Valeurs (m)
h_{nnr}	27
h_d	2,95
S	2

VI.4.1. La revanche : R

Formule de STEVENSON GAILLARD :

$$R = 0.75 \cdot H + \frac{v^2}{2g}$$

Avec :

$$H_v = 0,5 + 0,33 \sqrt{F}$$

$$V_v = 1,5 + 2 H$$

H_v : La hauteur des vagues (m)

V_v : la vitesse des vagues (m)

F : largeur du plan d'eau suivant laquelle le vent souffle fréquemment et direction du barrage appelée Fetch. (3,72)

A.N :

La hauteur de la vague : $H_v = 0.5 + 0.33 \sqrt{3,72}$

$$H_v = 1.16 \text{ m}$$

La vitesse de la vague : $V_v = 1.5 + 2 \cdot (1.16)$

$$V_v = 3.83 \text{ m/s}$$

La Revanche : $R = 0,75 \times 1,16 + \frac{3,83^2}{2 \times 9,81}$

$$R = 0,65 \text{ m}$$

Donc :

La hauteur du barrage : H_b

$$H_b = h_{nnt} + h_d + R + S$$

$$H_b = 27 + 2.95 + 0.65 + 2$$

$$H_b = 32.60 \text{ m}$$

VI.5. Largeur en crête :

Formule de KNAPEN T :

$$b_{cr} = 1.65 \cdot \sqrt{H_b}$$

b_{cr} : Largeur de crête (m)

H_b : la hauteur du barrage (m)

A.N

$$b_{cr} = 1,65 \sqrt{31,45}$$

$$b_{cr} = 9,25 \text{ m}$$

VI.6. Largeur du fond :

$$B = (m_1 + m_2) H_b + b_{cr} + b_e$$

Avec :

B : Largeur du fond

H_b : la hauteur du barrage (m)

b_e : le bermes

m_1, m_2 : Fruit de talus ($H_b > 20 \text{ m}$ Donc, $m_1 = 2.5, m_2 = 3$)

A.N :

$$B = (2.5 + 3) 31.45 + 9.25 + 6$$

$$B = 188.25 \text{ m}$$

VI.7. Conclusion :

L'étude effectuée dans ce chapitre nous a permis de constater que :

- Le Barrage M'djedel c'est un barrage en remblai en enrochement.
- La hauteur du barrage $H_b = 32.60 \text{ m}$.
- La largeur de crête, $b_{cr} = 9,25 \text{ m}$.
- La largeur du fond, $B = 188.25 \text{ m}$.

Conclusion :

Le travail réalisé dans ce projet, porte sur l'étude hydrologique du barrage de M'djedel wilaya de M'sila. 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 pré-dimensionnement du barrage. A travers l'étude hydrologique nous avons obtenus et déduit les spécificités suivantes :

- Le coefficient de Gravillius a montré que le bassin versant est de forme allongé et le dénivelé spécifique montre que le relief est assez faible, donc on assistera à un écoulement assez faible
- La précipitation moyenne interannuelle est 224 mm et l'écoulement moyen interannuel est de l'ordre de 7.68 Mm^3 et aussi un volume mort de 2 Mm^3 .
- La capacité totale du barrage $V_{\text{NNR}} = 9.81 \text{ Mm}^3$
- Le débit de crue du projet obtenue pour un temps de retour de 1000 ans est $772.74 \text{ m}^3/\text{s}$.
- La largeur de déversoir de $b = 60 \text{ m}$, correspondant à un débit laminé $q = 660 \text{ m}^3/\text{s}$ une charge de 2.95 m et un volume forcé de 4.5 Hm^3 .
- La hauteur du barrage est 32.60 m avec une largeur de crête de 9,25 m. et de 182.25 m de largeur du fond.

Enfin, Ce stage 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 :

- [1] Les Données hydrologiques, Agence Nationale des Barrages et Transfert.
- [2] Les Données géologiques, Agence Nationale des Barrages et Transfert.
- [3] Office National de la Météorologie.
- [4] Agence Nationale des Ressources hydrauliques.
- [5] **BOUSSEKINE.S et AFFANE Rima**, Etude de faisabilité d'un barrage sur l'Oued MESTAOUA Wilaya de Biskra, Mémoire fin d'étude, Université Abderrahmane MIRA de Bejaia.
- [6] Livre d'Initiation A L'HYDROLOGIE DE SURFACE, **Sari AHMED**.
- [7] Livre d'ELEMENTS D'HYDROLOGIE DE SURFACE, **J.P. LABORDE**.
- [8] Livre Manuel pratique d'hydrologie **B. TOUAIBIA**.

ANNEX I

Test de WILCOXON :

Station : M'djedel

Tableau 1

X	Y	rang	X,Y	l'origine
156,71	208,1	1	46,31	x
196,11	167,8	2	59,21	x
181,61	316,3	3	65,1	y
46,31	235,7	4	90,8	y
59,21	190,7	5	126,1	y
136,81	90,8	6	135,5	y
163,71	65,1	7	136,81	x
154,41	135,5	8	154,41	x
	251,3	9	156,71	x
	126,1	10	163,71	x
	193,1	11	167,8	y
	169,4	12	169,4	y
		13	181,61	x
		14	190,7	y
		15	193,1	y
		16	196,11	x
		17	208,1	y
		18	235,7	y
		19	251,3	y
		20	316,3	y

N1	8
N2	12
$\sum Rangs$	66
W_{min}	48
W_{max}	73

On a :

$$W_{min} < \sum Rangs < W_{max}$$

Donc : La série est homogène

ANNEX I

Station : Djelfa

Tableau 2

X	Y	rang	X,Y	l'origine
254,51	259,9	1	42,3	y
320,21	422,7	2	64,3	y
325,91	208,8	3	74,6	y
296,41	296,5	4	83,9	y
329,11	373,2	5	94,7	y
317,21	466,5	6	100,4	y
323,31	175,9	7	111,5	y
393,31	74,6	8	115,8	y
294,01	206,1	9	122,5	y
332,81	144,8	10	144,8	y
332,21	210,1	11	147	y
436,41	242,3	12	162,9	y
228,11	213,2	13	169,4	y
270,01	42,3	14	175,9	y
325,81	111,5	15	184,5	y
377,31	169,4	16	192,31	y
258,81	210,3	17	206,1	y
258,41	100,4	18	207,2	y
242,91	162,9	19	208,8	y
192,31	215,8	20	210,1	y
329,51	147	21	210,3	y
240,51	184,5	22	213,2	y
548,81	94,7	23	215,8	y
	64,3	24	228,11	x
	243,1	25	240,51	x
	207,2	26	242,3	y
	122,5	27	242,91	x
	83,9	28	243,1	y
	115,8	29	254,51	x
		30	258,41	x
		31	258,81	x
		32	259,9	y
		33	270,01	x
		34	294,01	x
		35	296,41	x
		36	296,5	y
		37	317,21	x
		38	320,21	x
		39	323,31	x
		40	325,81	x

ANNEX I

		41	325,91	x
		42	329,11	x
		43	329,51	x
		44	332,21	x
		45	332,81	x
		46	373,2	y
		47	377,31	x
		48	393,31	x
		49	422,7	y
		50	436,41	x
		51	466,5	y
		52	548,81	x

N1	23
N2	29
$\sum Rangs$	834
W_{min}	533
W_{max}	685

On a :

$$\sum Rangs > W_{max}$$

Donc : La série est non- homogène

Station : Slim

Tableau 3

X	Y	rang	X,Y	l'origine
103,21	176	1	47,2	Y
264,61	190	2	64,1	Y
202,91	47,2	3	77,3	Y
557,11	196	4	88,4	Y
173,41	192	5	103,21	X
312,01	162,5	6	107,41	X
224,41	117,7	7	110,7	Y
157,41	64,1	8	117,7	Y
157,81	228,2	9	127,3	Y
267,31	110,7	10	133,9	Y
203,11	158,4	11	142,5	Y
147,11	77,3	12	147,11	X
107,41	142,5	13	152,91	X
152,91	199,6	14	157,41	X
216,21	248,1	15	157,81	X
	88,4	16	158,4	Y
	127,3	17	162,5	Y

ANNEX I

	133,9	18	173,41	X
		19	176	Y
		20	190	Y
		21	192	Y
		22	196	Y
		23	199,6	Y
		24	202,91	X
		25	203,11	X
		26	216,21	X
		27	224,41	X
		28	228,2	Y
		29	248,1	Y
		30	264,61	X
		31	267,31	X
		32	312,01	X
		33	557,11	X

N1	15
N2	18
$\sum Rangs$	311
W_{min}	183
W_{max}	326

On a :

$$W_{min} < \sum Rangs < W_{max}$$

Donc : La série est homogène

Station : Ksob

Tableau 4

X	Y	rang	X,Y	l'origine
130,91	232,1	1	89,41	X
173,91	360,9	2	108,4	Y
89,41	197,5	3	130,91	X
264,91	321,4	4	136,91	X
318,31	264	5	144,7	Y
207,11	196,1	6	147,91	X
309,51	172,5	7	148,21	X
388,11	367,1	8	148,6	Y
285,71	245,2	9	161,5	Y
281,21	161,5	10	171,5	Y
261,91	179,6	11	172,5	Y
403,91	199	12	173,91	X
227,31	185,3	13	179,6	Y

ANNEX I

306,01	261,5	14	185,3	Y
393,71	230,1	15	187,4	Y
302,91	108,4	16	193,8	Y
136,91	187,4	17	194,3	Y
148,21	298	18	196,1	Y
214,71	213,5	19	197,5	Y
283,21	205,9	20	199	Y
244,21	194,3	21	205,9	Y
226,61	260,3	22	205,9	Y
147,91	205,9	23	207,11	X
267,41	249,3	24	213,5	Y
	171,5	25	214,71	X
	144,7	26	226,61	X
	148,6	27	227,31	X
	244,6	28	230,1	Y
	193,8	29	232,1	Y
		30	244,21	Y
		31	244,6	Y
		32	245,2	Y
		33	249,3	Y
		34	260,3	Y
		35	261,5	Y
		36	261,91	X
		37	264	Y
		38	264,91	X
		39	267,41	X
		40	281,21	X
		41	283,21	X
		42	285,71	X
		43	298	Y
		44	302,91	X
		45	306,01	X
		46	309,51	X
		47	318,31	X
		48	321,4	Y
		49	360,9	Y
		50	367,1	Y
		51	388,11	X
		52	393,71	X
		53	403,91	X

ANNEX I

N1	24
N2	29
$\Sigma Rangs$	756
W_{min}	511
W_{max}	784

On a :

$$W_{min} < \Sigma Rangs < W_{max}$$

Donc : La série est homogène

ANNEX I

Les Séries pluviométriques de chaque station :

Tableau 5 : Les Séries pluviométriques de chaque station

Années	S.Djelfa	S.M'djedel	S.Dar Chioukh	S.Slim	S.Ksob	Années	S.Djelfa	S.M'djedel	S.Dar Chioukh	S.Slim	S.Ksob
1945	254,5				130,9	1975	373,2	156,7		157,8	172,5
1946	320,2				173,9	1976	466,5	196,1		267,3	367,1
1947	325,9				89,4	1977	175,9	181,6		203,1	245,2
1948	296,4				264,9	1978	74,6	46,3		147,1	161,5
1949	329,1				318,3	1979	206,1	59,2	72,7	107,4	179,6
1950	317,2				207,1	1980	144,8	136,8	206,6	152,9	199,0
1951	323,3				309,5	1981	210,1		277,8	216,2	185,3
1952	393,3				388,1	1982	242,3		236,0	176,0	261,5
1953	294				285,7	1983	213,2		190,2	190,0	230,1
1954	332,8				281,2	1984	42,3		95,6	47,2	108,4
1955	332,2				261,9	1985	111,5		118,2	196,0	187,4
1956	436,4				403,9	1986	169,4	163,7	250,4	192,0	298,0
1957	228,1				227,3	1987	210,3	154,4	232,3	162,5	213,5
1958	270				306	1988	100,4	208,1	201,8	117,7	205,9
1959	325,8				393,7	1989	162,9	167,8	215,6	64,1	194,3
1960	377,3				302,9	1990	215,8	316,3	379,2	228,2	260,3
1961	258,8				136,9	1991	147,0	235,7	240,4	110,7	205,9
1962	258,4				148,2	1992	184,5	190,7	221,4	158,4	249,3
1963					214,7	1993	94,7	90,8	144,8	77,3	171,5
1964					283,2	1994	64,3	65,1	155,9	142,5	144,7

ANNEX I

1965				244,2	1995	243,1	135,5	265,5	199,6	
1966	242,9			226,6	1996	207,2	251,3	350,8	248,1	
1967	192,3		103,2	147,9	1997	122,5	126,1	173,4	88,4	148,6
1968	329,5		264,6	267,4	1998	83,9	193,1	228,0	127,3	244,6
1969	240,5		202,9	232,1	1999	115,8	169,4	194,8	133,9	193,8
1970	548,8		557,1	360,9	2000		197,0	212,0		
1971	259,9		173,4	197,5	2001		151,0	144,0		
1972	422,7		312,0	321,4	2002		72,0	67,0		
1973	208,8		224,4	264,0	2003			204,0		
1974	296,5		157,4	196,1	2004		198,0	251,0		
					2005		117,0	114,0		

ANNEX I

Le Comblement des lacunes :

Tableau 6 : Le comblement des lacunes :

Année	Station Djelfa	Station M'djedel	Station Dar Chioukh	Station Slim	Station Ksob
1945	254,5	107,5	134,0	208,6	130,9
1946	320,2	137,1	174,0	251,9	173,9
1947	325,9	79,3	96,0	255,7	89,4
1948	296,4	206,6	268,0	236,2	264,9
1949	329,1	236,2	308,0	257,8	318,3
1950	317,2	160,7	206,0	250,0	207,1
1951	323,3	231,1	301,0	254,0	309,5
1952	393,3	285,0	374,0	300,2	388,1
1953	294,0	214,7	278,9	234,6	285,7
1954	332,8	211,6	274,8	260,2	281,2
1955	332,2	198,4	256,9	259,9	261,9
1956	436,4	295,9	388,6	328,6	403,9
1957	228,1	174,6	224,7	191,1	227,3
1958	270,0	228,7	297,8	218,8	306,0
1959	325,8	288,9	379,2	255,6	393,7
1960	377,3	226,5	294,9	289,6	302,9
1961	258,8	112,5	140,9	211,4	136,9
1962	258,4	120,3	151,3	211,1	148,2
1963	190,9	166,0	213,1	168,6	214,7
1964	269,8	213,0	276,6	250,8	283,2
1965	224,9	186,2	240,4	204,0	244,2
1966	242,9	174,1	224,1	182,9	226,6
1967	192,3	120,1	151,1	103,2	147,9
1968	329,5	202,1	262,0	264,6	267,4
1969	240,5	177,9	229,2	202,9	232,1
1970	548,8	266,4	348,7	557,1	360,9
1971	259,9	154,1	197,1	173,4	197,5
1972	422,7	239,2	312,1	312,0	321,4
1973	208,8	199,8	258,8	224,4	264,0
1974	296,5	153,2	195,8	157,4	196,1
1975	373,2	156,7	202,0	157,8	172,5
1976	466,5	196,1	242,0	267,3	367,1
1977	175,9	181,6	227,0	203,1	245,2
1978	74,6	46,3	92,0	147,1	161,5
1979	206,1	59,2	72,7	107,4	179,6

ANNEX I

1980	144,8	136,8	206,6	152,9	199,0
1981	210,1	212,0	277,8	216,2	185,3
1982	242,3	182,0	236,0	176,0	261,5
1983	213,2	148,0	190,2	190,0	230,1
1984	42,3	79,0	95,6	47,2	108,4
1985	111,5	95,0	118,2	196,0	187,4
1986	169,4	163,7	250,4	192,0	298,0
1987	210,3	154,4	232,3	162,5	213,5
1988	100,4	208,1	201,8	117,7	205,9
1989	162,9	167,8	215,6	64,1	194,3
1990	215,8	316,3	379,2	228,2	260,3
1991	147,0	235,7	240,4	110,7	205,9
1992	184,5	190,7	221,4	158,4	249,3
1993	94,7	90,8	144,8	77,3	171,5
1994	64,3	65,1	155,9	142,5	144,7
1995	243,1	135,5	265,5	199,6	225,1
1996	207,2	251,3	350,8	248,1	268,6
1997	122,5	126,1	173,4	88,4	148,6
1998	83,9	193,1	228,0	127,3	244,6
1999	115,8	169,4	194,8	133,9	193,8
2000	171,1	197,0	212,0	148,0	197,8
2001	131,1	151,0	144,0	106,4	163,1
2002	85,9	72,0	67,0	59,2	123,9
2003	166,4	204,0	204,0	143,1	193,7
2004	194,0	198,0	251,0	171,9	217,7
2005	113,5	117,0	114,0	88,0	147,8

ANNEX I

Série de PJ max :

Tableau 7 : Série de PJ max :

Année	Pj max (mm)
1968	30,6
1969	34,7
1970	52,7
1971	37,2
1972	30,7
1973	29,7
1974	29,1
1975	23,8
1976	24,3
1977	23,8
1978	28,0
1979	17,7
1980	30,6
1981	27,1
1982	43,5
1983	27,1
1984	14,5
1985	19,8
1986	40,4
1987	33,2
1988	26,9
1989	36,5
1990	31,3
1991	39,9
1992	38,5
1993	26,4
1994	19,5
1995	20,1
1996	31,0
1997	17,0
1998	26,2
1999	26,2
2000	36,7
2001	24,8
2002	35,0
2003	32,5
2004	23,7
2005	23,3
2006	18,7