



Faculté de Technologie  
Département d'Hydraulique  
*Laboratoire de Recherche en Hydraulique Appliquée et Environnement (LRHAE)*

## MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par :

**DEHIMI Abdelghani**

**MAARIG Sohbi**

En vue de l'obtention du diplôme de **MASTER en Hydraulique**

Option : **Ouvrages et Aménagements Hydraulique**

**INTITULE:**

# **DIMENSIONNEMENT HYDROLOGIQUE DU BARRAGE FOUM EL GHERZA A SIDI OKBA (W.BISKRA)**

Soutenu le 27 /06 / 2018 devant le jury composé de :

- Président : **Mr.A/ BRAKENI**
- Promoteur : **Mr.M/ LADJEL**
- Examineur : **Mr.A/ ALLOUACHE**
- Co-promoteur : **Mimeche Omar (doctorant)**

## *Remerciements*

*En premier lieu, nous remercions DIEU tout puissant de nous avoir donné le courage, la volonté et la patience afin de réaliser ce modeste travail et le mener à terme.*

*Nous adressons nos remerciements particulièrement à notre promoteur pour son orientation et sa disponibilité durant tout ce temps de travail*

*On remercie également tous les enseignants du département d'hydraulique qui ont contribué à notre formation*

*Nous tenons aussi à remercier les membres de jury qui ont bien voulu nous faire l'honneur de juger notre travail*

*Nous remercions chaleureusement toutes personnes ayant contribué de prêt ou de loin à la réalisation de ce modeste travail*

*ABDELGHANI-SOHBI*

## *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail en signe*

*de respect et de reconnaissance a :*

*Ma chère mère et mon père pour leur*

*Sacrifices et leur soutien à fin*

*D'atteindre mes objectifs*

❖ *Mes sœurs Hasiba , Amel, Naima, Rebiha.*

❖ *Mes frères rédha, fouad , bilel, mouloude, oussama ,  
omar .*

❖ *Mon cher binôme et toute sa famille*

❖ *La famille dehimi, laalaoui*

*A tous mes amis sans oublier personne.*

*Abdelghani*

## *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail en signe*

*de respect et de reconnaissance a :*

*Ma chère mère et mon père pour leur*

*Sacrifices et leur soutien à fin*

*D'atteindre mes objectifs*

- ❖ *Mes sœurs Naima, Rebiha, Aida, Hanane, Ahlem.*
- ❖ *Mes frères rédha, fouad , Imad, Azzedine, Fayçel,  
omar, Naim, Nasro, hichem, cherif .*
- ❖ *Mon cher binôme et toute sa famille*
- ❖ *La famille maarig, ben khaled.*

*A tous mes amis sans oublier personne.*

*Sohbi*

# SOMMAIRE

Introduction générale .....	1
-----------------------------	---

## **Chapitre I      présentation physique du bassin versant et collecte des données et dimensionnement du barrage**

I. Introduction.....	3
I.1.Présentation du barrage de Foug-El-Gherza.....	3
I.2 Description de l'ouvrage.....	4
I.2.1 La digue .....	4
I.2.1.a La voûte .....	4
I.2.1.b La culée rive gauche.....	5
I.2.1.c L'évacuateur de crue.....	6
d. La prise d'eau et la vidange .....	7
I.2.1.e Construction et clavage de la voûte.....	7
I.3 Situation géographique de barrage Foug El Gherza .....	8
I.4 Choix de l'axe du barrage .....	9
I.5 .Historique de la construction du Barrage de Foug-El-Gherza.....	10
I.6 Caractéristiques du barrage de Foug El Gherza.....	11
I.7. Morphométrie du bassin versant.....	12
I.7.1. Indice morphologique (ladjel).....	12
I.8. Caractéristiques des altitudes (le relief) .....	12
I.8.1 Courbe hypsométrique .....	13
I.8.2. Temps de concentration .....	14
I.9.Equipement du Bassin Versant .....	14
I.10.1. Exploitation des eaux du barrage de Foug El Gherza .....	15
I.10.2. Équipement hydro pluviométrique du barrage de Foug El Gherza .....	16
I.10.3. Les caractéristiques géologiques de la cuvette du barrage .....	17
I.10.4.Tectonique du barrage Foug El Gherza .....	17
I.10.5. Fondation du barrage .....	17
I.10.6.Couvert végétal .....	17
I.11.Conclusion .....	20

## **Chapitre II      Analyse des données et étude des crues**

II. Introduction .....	21
II.1.Analyse des données pluviométriques et hydrologique .....	21
II.1.1. Comblement des séries .....	21
II.1.1.1. Homogénéisation des pluies journalières maximales.....	21
II.1.2. variation des pluies avec l'altitude .....	23
II.1.3.Etude des écoulements l'oued El Abiod.....	24

II.1.3.1. Ecoulement moyenne interannuelle.....	25
II.1.3.2. Répartition mensuelle de l'écoulement liquide moyen.....	25
II.1.3.3. Analyse fréquentielle.....	26
II.2. Etude des crues pluviale.....	31
II.2.1. Estimation du temps de concentration.....	32
II.2.2. Pluie courte durée.....	35
II.2.2.1. Caractéristiques pluviométriques.....	35
II.2.2.2. Estimation des pluies de courtes durées.....	36
II.2.3. Estimation de la lame d'écoulement.....	37
II.2.3.2. Calcul de la lame écoulée et le volume de l'écoulement.....	39
II.2.4. projection de l'hydrogramme de crue.....	40
II.2.4.1. Estimation de la durée du ruissellement.....	40
II.2.4.2. Estimation du temps de base de la crue.....	40
II.2.4.3. Estimation du débit maximum de la crue pluviale.....	41
II.2.5. Le tracé de l'hydrogramme de crue.....	46
II.3 Conclusion.....	50

### **Chapitre III                      Etude de la régularisation de l'écoulement**

III.1. Introduction.....	51
III.2. Etude de régularisation de l'écoulement.....	51
III.2.1. Courbes Altitude-Capacité-Surface.....	51
III.2.2. Estimation des restitutions.....	54
III.2.3. Garantie de satisfaction des besoins.....	55
III.2.4. Choix de type de la régularisation.....	56
III.3. Régularisation interannuel.....	56
III.3.1. Principe de la méthode de modélisation statistique de Monte-Carlo.....	56
III.3.2. Estimation du volume utile du barrage en tenant compte des pertes.....	57
III.3.2.1. Estimation du coefficient de restitution.....	57
III.3.2.2. Modélisation d'une longue série des écoulements.....	57
III.3.2.3. Analyse statistique des déficits cumulés.....	58
III.3.2.4. Détermination du volume utile.....	59
III.4. Estimation de l'écoulement solide.....	61
III.5. Détermination du Niveau Normal de la retenue.....	63
III.6. Conclusion.....	64

### **Chapitre IV                      Simulation de l'aménagement des crues**

IV.1. Introduction.....	65
IV.2. Choix de la crue du projet.....	65

IV.3. Le choix de la largeur du déversoir.....	65
IV.4. Les caractéristiques de l'hydrogramme laminé.....	69
IV.5. Conclusion.....	73
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>74</b>

# Liste des tableaux

<i>Tableau I.1 : Récapitulatifs des caractéristiques morphologiques du bassin versant.....</i>	<i>11</i>
<i>Tableau I.2 :Variation de surface en fonction de l'altitude.....</i>	<i>13</i>
<i>Tableau I.3 : : Caractérisation des stations pluviométriques et hydrométrique.....</i>	<i>15</i>
<i>Tableau (II.1) : caractéristique de la station hydrométrique de oued labiod.....</i>	<i>25</i>
<i>Tableau (II.2) : répartition mensuelle de l'écoulement liquide moyen.....</i>	<i>25</i>
<i>Tableau (II.3) : Les résultats obtenus pour Cv et Cs.....</i>	<i>28</i>
<i>Tableau (II.4) : Les résultats obtenus pour Cv et Cs.....</i>	<i>29</i>
<i>Tableau (II.5) : Les résultats obtenus pour Cv et Cs.....</i>	<i>30</i>
<i>Tableau (II.6) : Les valeurs de l'écoulement liquide pour les fréquences usuelles.....</i>	<i>31</i>
<i>Tableau (II.7) : temps de concentration estimée par des différentes formules.....</i>	<i>34</i>
<i>Tableau (II.8) : Les résultats de calcul du temps de concentration par la formule de Ladjel.....</i>	<i>35</i>
<i>Tableau(II.9) :les caractéristiques pluviométrique de la région d'étude .....</i>	<i>36</i>
<i>Tableau (II.10) : calcule de la pluie courte durée à une fréquence P. ....</i>	<i>37</i>
<i>Tableau (II.11) : Caractéristique de l'écoulement de la région .....</i>	<i>37</i>
<i>Tableau (II.12) : les résultats pour le calcul du coefficient d'écoulement .....</i>	<i>38</i>
<i>Tableau (II.13) : les résultats de calcul du lame écoulée et volume d'eau écoulée .....</i>	<i>39</i>
<i>Tableau (II.14): résultats de calcul du temps de ruissellement. ....</i>	<i>40</i>
<i>Tableau (II.15): récapitulation du calcul de temps de base de la crue. ....</i>	<i>41</i>
<i>Tableau (II.16) : les résultats de calcul du débit maximal de la crue .....</i>	<i>44</i>
<i>Tableau (II.17) : les résultats de la correction de garantie .....</i>	<i>45</i>
<i>Tableau (II.18) : les résultats finals des débits maximas.....</i>	<i>45</i>
<i>Tableau III.1 : Altitude-Capacité-Surface.....</i>	<i>52</i>
<i>Tableau III.2: Le taux menssuels de l irrigation .....</i>	<i>54</i>
<i>Tableau(III.3) : Illustrations des étapes de détermination de la série des cumules des déficits.....</i>	<i>58</i>
<i>Tableau (IV.1) : Largeurs du déversoire proposé pour le choix.....</i>	<i>68</i>
<i>Tableau (IV.2) : résultats de calcul les caractéristiques de l'hydrogramme laminé.....</i>	<i>71</i>

## Liste des figures

Figure I.1 : <i>Situation géographique du barrage de Foum-el-Gherza Biskra, Algérie, 1/100000</i> .....	3
Figure I.2 : <i>Photo du Barrage de Foum-el-Gherza, Biskra, (Chekroud, 2008)</i> .....	4
Figure I.3 : <i>Vue en plan (CGB, 2004)</i> .....	5
Figure I.4 : <i>Coupe-type de la voûte (CGB, 2004)</i> .....	5
Figure I.5 : <i>Elévation amont (CGB, 2004)</i> .....	5
Figure I.6 : <i>Culée rive gauche (CGB, 2004)</i> .....	6
Figure I.7 : <i>Bassin de réception (CGB)</i> .....	7
Figure I.8 : <i>La retenue du barrage de Foum El Gherza</i> .....	8
Figure I.9. <i>Carte de situation des stations pluviométriques du bassin versant d'oued Abiodh</i> .....	10
Figure I.10 : <i>Image Google Earth de la retenue du barrage de Foum El Gherza (Biskra)</i> .....	11
Figure I.11: <i>Courbe hypsométrique du bassin versant l'Oued El Abiod</i> .....	14
Figure I.12 : <i>Carte géologique aux environs du Foum El Gherza Biskra Algérie</i> .....	18
Figure I.13. <i>Carte du réseau hydrographique d'Oued Abiodh (d'après Kasmiouri, 2007)</i> .....	19
Figure (II.1) : <i>Corrélation simple entre les précipitations maximales journalières foum el gherza-équivalent</i> .....	22
Figure (II.2) : <i>Corrélation simple entre les précipitations maximales journalières Medina -équivalent</i> .....	22
Figure (II.3) : <i>Corrélation simple entre les précipitations maximales journalières T'kout - équivalent</i> .....	23
Figure (II.4): <i>le plan d'eau de barrage Foum El Gherza</i> .....	23
Figure (II.5) : <i>Pluies annuelles sur l'ensemble des stations pluviométriques</i> .....	24
Figure (II.6) : <i>Répartition mensuelle des écoulements liquides</i> .....	26
Figure (II.7) : <i>Courbe des fréquences empiriques des écoulements</i> .....	27
Figure (II.8) : <i>hydrogramme de la crue d'une fréquence P=0.1%</i> .....	48
Figure (II.9) : <i>hydrogramme de la crue d'une fréquence P=1%</i> .....	49
Figure (III.1): <i>la courbe altitude-capacité</i> .....	53
Figure (III.2): <i>la courbe altitude-surface</i> .....	53
Figure (III.3): <i>Taux mensuels de l'irrigation</i> .....	54

Figure (III.4): <i>Le canal d'irrigation du barrage de Foum El Gherza et conduite forcé</i> .....	55
Figure (III.5) : <i>courbe empirique des fréquences</i> .....	59
Figure (III.6) : <i>Détermination de Niveau du volume mort</i> .....	62
Figure (III.8) : <i>courbe (Altitude-Volumes), <math>H = f(V)</math></i> .....	63
Figure (IV.1) : <i>courbe (Altitude-Volumes), <math>V = f(H)</math></i> .....	67
Figure (IV.2) : <i>dépendance de la charge en fonction de la largeur de l'évacuateur de crues</i> .....	69
Figure (IV.3) : <i>hydrogramme laminé à la fréquence <math>P=1\%</math></i> .....	72

# Liste des symboles

$S_i$  : Surface comprise entre deux courbes de niveau ( $\text{km}^2$ )

$H_i$  : Altitude moyenne entre deux courbes (m)

$H_{\max}$  : L'altitude maximale du cours d'eau principal (m)

$H_{\text{moy}}$  : Altitude moyenne du bassin versant (m)

$S$  : Superficie en  $\text{Km}^2$

$P$  : Périmètre en Km

$L_{\text{ce}}$  : Longueur du talweg principal en Km

$D$  : Dénivelée

$I_c$  : Pente moyenne du cours d'eau en ‰

$\bar{P}$  : La pluie moyenne en (mm)

$\bar{E}$  : Écoulement moyen inter annuel (mm)

$P(\%)$  : Fréquence empirique de l'échantillon.

$m$  : Rang de la variable dans la série classée.

$n$  : Nombre d'année d'observation.

$C_v$  : Le coefficient de variation

$C_s$  : Le coefficient d'asymétrie

$k_i$  : Module d'écoulement comme le rapport

$E_p \%$  : Écoulement fréquentielle d'une fréquence donnée en  $Mm^3$

$k_p \%$  : Coefficient de la bonne hydraulicité où coefficient modulaire de l'écoulement.

$F_{p\%}$  : Variable de Foster-Rebkine dépend du coefficient de variation et le coefficient

$t_c$  : Le temps de concentration (h)

$v_c$  : La vitesse de concentration de la phase maximale de la crue (Km/h)

$H_{moy}$  : L'altitude moyenne du bassin versant (m).

$H_{min}$  : L'altitude minimale du bassin versant (m).

$\overline{P_{max,j}}$  : Lame de pluie journalière d'une fréquence  $P\%$  (mm).

$U_{p\%}$  : Constante de Gauss qui correspond à une fréquence donnée.

$P_{j,P\%}$  : Lame de pluie journalière d'une fréquence  $P\%$  (mm)

$\alpha_{t_c,p\%}$ : Le coefficient d'écoulement.

$P_{t_c,p\%}$  : Lame d'une pluie de courte durée au temps de concentration (mm)

$C_{p\%}$  : est un coefficient d'écoulement estimé sur la base des études régionale, elle est

$C_{50\%}$  : Le coefficient climatique moyen d'écoulement.

$a$  : Le coefficient climatique qui caractérise le ruissellement.

$U_{p\%}$  : La constante de Gauss qui correspond à une fréquence  $P\%$ .

$P_{t_c,p\%}$  : Lame d'une pluie de courte durée (mm).

$\alpha_{t_c,p\%}$  : Le coefficient d'écoulement

$V_p$  : Le volume de la lame écoulée ( $m^3$ )

$T_0$  : Durée de ruissellement (h)

$P_{j,p\%}$  : La lame de pluie journalière d'une fréquence  $P\%$  (mm)

$T_0$  : Durée de ruissellement (h)

$k_1$  : Coefficient tient compte du passage de la forme rectangulaire à la forme réel du

$\phi$  : Coefficient de la lame active de l'écoulement

$L_{ep} \%$  : La lame écoulée dans le bassin versant (mm)

$r$  : Coefficient de réduction de l'ordonnée maximale de ruissellement en ordonnée de

$m_b$  : Coefficient de forme de l'hydrogramme de la crue,

$T$  : Le temps de base de la crue (h)

$Q_{\max p\%}$  : Débits maximal d'une fréquence donnée

$\Delta Q_{\max}$  : La correction de garantie

$Q_m$  : Débit instantané de la montée ( $m^3 / s$ )

$Q_d$  : Débit instantané de la décrue ( $m^3 / s$ )

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

$t$  : Le temps courant (h)

$t_d$  : Le temps de décrue (h)

$T$  : le temps de la base (h)

$t_m$  : Le temps de montée (h)

$V_n$  : Volume d'eau correspondant a la courbe de niveau ( $m^3$ )

$\Delta V_n$  : Volume élémentaire compris entre deux courbes de niveaux successives ( $m^3$ ).

$\Delta H$  : Différence d'altitude entre les deux courbes de niveau successives (m)

$S_{n-1}$  : Surface du plan d'eau correspondant à la courbe de niveau  $H_{n-1}$  ( $m^2$ )

$S_n$  : Surface du plan d'eau correspondant à la courbe de niveau  $H_n$  ( $m^2$ )

$H^*$  : Dénivelée entre la première courbe de niveau

$P(\%)_{irr}$  : Garantie de satisfaction de l'irrigation [ $P(\%)_{irr}=80\%$ ]

$U_{irr}$  : Volume d'eau pour l'irrigation

$P(\%)$  : La Garantie sommaire de satisfaction des deux restitutions ; AEP et irrigation.

$P(\%)_{irr}$  : Garantie de satisfaction de l'irrigation [ $P(\%)_{irr}=80\%$ ]

$U_{irr}$  : Volume d'eau pour l'irrigation

$V_u$  : Volume utile en  $m^3$

$V_t$  : Volume mort en  $m^3$

$Q_l$  : Débit de laminage ( $m^3/s$ ).

$H_e$  : Charge hydraulique au-dessus du déversoir où la lame laminé (m).

$b_d$  : Largeur du déversoir (m)

$m$  : Coefficient du débit, avec,  $m=0.49$ .

$r_l$  : Degrés de laminage

$K_{min}$  : Coefficient minimal de la forme du l'hydrogramme de crue, avec,  $K_{min}=2$

$K$  : Coefficient de forme de l'hydrogramme de crue, avec,  $K = m'_{\gamma} + 1$

$V_c$  : Volume de la crue ( $m^3$ )

$V_l$  : Volume laminée ( $m^3$ )

$\tau$  : Taux de laminage.

$T'$  : Temps de base de l'hydrogramme laminé (h)

$t_m'$  : Temps de base de l'hydrogramme de crue (h)

$\gamma'$  : Degrés de laminage

$m$  : Coefficient de forme de l'hydrogramme de crue dans la formule de Béjaia'2000.

$\gamma$  : Coefficient qui correspond au rapport entre le temps de décrue et le temps de

$r_l$  : Degrés de laminage.

$T'$  : Temps de base de l'hydrogramme laminé (h)

$t_d'$  : Temps de décrue de hydrogramme laminé (h).

$t_m'$  : Temps de monté de l'hydrogramme laminé (h)

$m_b'$  : Coefficient de forme de l'hydrogramme de crue laminé de Bejai

$m'_s$  : Coefficient de forme de l'hydrogramme de crue dans la formule de Béjaia'2000.

$C_c$  : Indice de compressibilité

$C_g$  : Indice de compressibilité des sols peut gonflant

$W_{\text{optimale}}$  : Teneur en eau optimale

$\gamma_{\text{optimal}}$  : Densité optimale

$\delta'_c$  : Contrainte de consolidation

# **Introduction générale**

## **Introduction générale**

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

Il existe plusieurs modes d'alimentation de ces barrages dont le plus important reste les évènements pluviaux et aussi l'écoulement souterrain, la quantité d'eau reçue varie en fonction de plusieurs paramètres telle que : le régime climatique de la région, la forme et l'orientation du bassin et l'occupation du sol et la topographie. Le contexte algérien est caractérisé par un grand taux d'évaporation dû à l'intensité d'ensoleillement, ainsi que des bassins versants avec un grand taux d'érosion.

En plus de la faible quantité d'eau reçue par nos barrages à cause de la sécheresse qui a touchée le pays depuis une vingtaine d'année, cette quantité se trouve menacée par trois problèmes hydrauliques majeurs qui sont l'évaporation intense, l'envasement accéléré et les fuites d'eau qui provoque dans certaines situations des instabilités structurales des édifices.

Le barrage de Foum-el-Gherza est un cas concret où ces problèmes sont devenus dangereux et épineux, puisque d'une part on assiste chaque année à un accroissement du débit solide et la diminution de la capacité de stockage.

Dans cette étude nous avons examiné les conditions géologiques, topographiques et hydrologiques de la zone de retenue et du site d'implantation, afin de déterminer les caractéristiques morphométriques barrage.

Notre étude comprendra quatre chapitres structurée comme suit :

Dans le premier chapitre nous avons fait une présentation physique et collecte des données (cartographique, pluviométrique et climatique) du bassin versant et le dimensionnement de barrage.

Dans le deuxième chapitre nous avons élaborer une analyse des données et une étude des crues.

Le troisième chapitre est une étude de régularisation des écoulements qui vise à estimer le volume de stockage de la retenue, ainsi son niveau géographique.

On termine par une simulation du laminage afin de déterminer le débit laminé, la hauteur des plus eaux et la largeur du déversoir.

# **Chapitre I :**

**présentation physique  
du bassin versant et  
collecte des données et  
dimensionnement du  
barrage**

## Introduction

La mise en évidence des caractéristiques du bassin versant l'oued El Abiod a pour but d'appréhender avec assez de précision la réponse hydrologique vis-à-vis d'une séquence pluviométrique.

Les caractéristiques physiques et morphométriques permettent de définir l'aptitude aux écoulements dans le bassin. L'analyse des facteurs climatiques et des régimes qui leurs sont associés sera appréhendé à travers l'analyse des éléments les plus déterminants de l'écoulement.

### I.1. Présentation du barrage de Foum-El-Gherza:

Le barrage de Foum-el-Gherza est un joyau hydrotechnique situé à 20 km à l'est de la ville de Biskra (Figure I.1). Il a été réalisé durant la période 1948 -1950 sur le site le plus approprié dans la région.

Cet ouvrage d'art a permis à la région de Sidi Okba de garder sa vocation économique basée sur l'agriculture durant un demi-siècle, du fait qu'il a aidé à contrer la sécheresse qui sévit dans la région depuis une vingtaine d'années. Ce barrage a permis en outre l'extension des palmeraies.

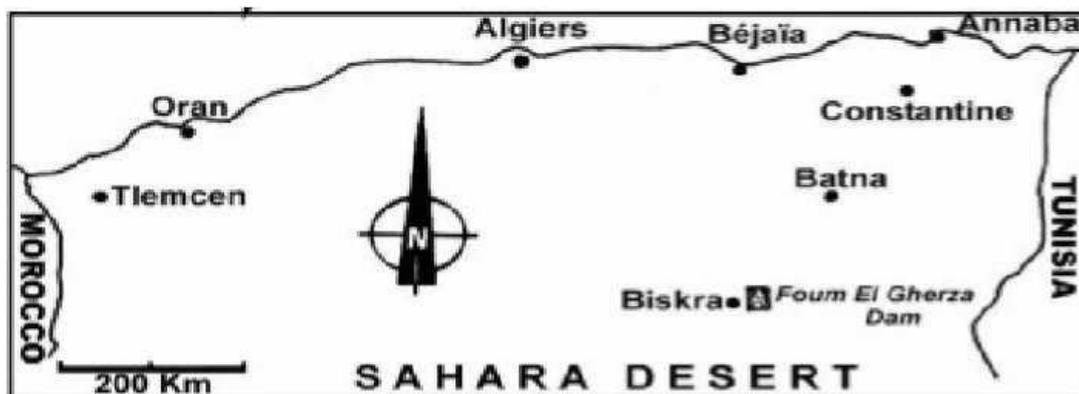


Figure I.1 : Situation géographique du barrage de Fom-el-Gherza Biskra, Algérie, 1/100000

Cette infrastructure traduit l'intelligence de l'être humain étant donné qu'elle se compose de deux parties qui sont une voûte de 126m et une culée de 60m de longueur chacune. Sa hauteur maximale atteint 73m et sa capacité initiale est de l'ordre de 47 millions de mètres cubes (S.E.G.G.T.H., 2001). La photo représente une vue de la partie voûte du barrage.



**Figure I.2 :** *Photo du Barrage de Foug-el-Gherza, Biskra, (Chekroud, 2008)*

Cet ouvrage a un très grand intérêt économique dans la région puisque il permet d'irriguer plus de 300.000 palmiers dattiers des palmeraies de Sidi Okba, Garta, Seriana et Thouda (S.E.G.G.T.H, 2001; REMINI, 2001). Cependant, il se trouve amputé chaque année d'un volume important estimé en moyenne à 5 millions de m<sup>3</sup>. Ces pertes sont dues au site d'implantation de cet ouvrage qui est composé de calcaires cristallins du maëstrichtien fissurés jusqu'à une profondeur de 80m (GOUSKOV, 1952).

## **I.2 Description de l'ouvrage :**

### **1.La digue :**

#### **a. La voûte :**

Les figures ci-après représentent respectivement la vue en plan de la voûte, sa coupe type et son élévation amont.

La voûte est constituée de 11 plots, notés A à K sur la vue en plan et l'élévation.

Les parements de la voûte sont des limaçons de Pascal, définis pour chaque cote (voir détails dans l'annexe consacrée au calcul de la voûte)

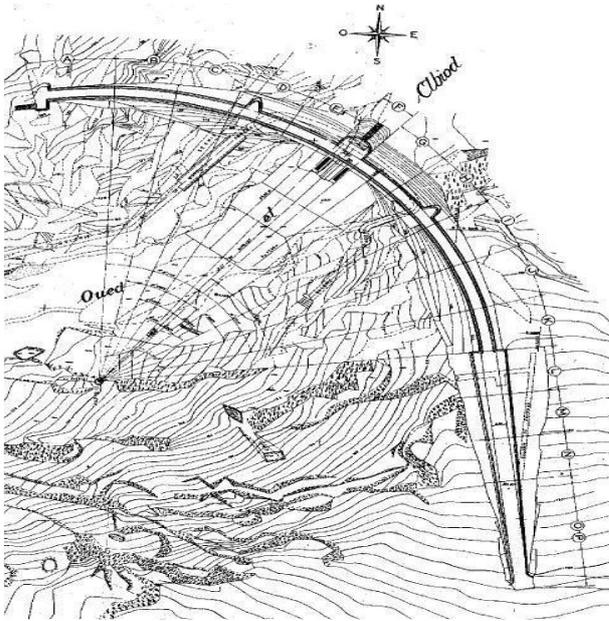


Figure I.3 : Vue en plan (CGB, 2004)

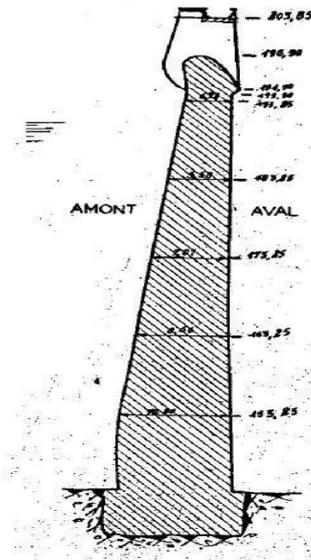


Figure I.4 : Coupe-type de la voûte (CGB, 2004)

L'épaisseur en crête est égale à 3 m. Les plots de construction sont délimités par des joints munis de boîtes de cisailement. L'étanchéité est assurée par une lame en cuivre à l'amont. Les joints sont munis de rainures à injections destinées au clavage des plots.

La voûte comporte une galerie de visite aménagée à la cote 154,75. Cette galerie est accessible depuis l'aval en rive gauche et permet d'accéder à la chambre de manoeuvre de la vanne secteur de la vidange de fond.

L'élévation met en évidence une assez forte dissymétrie de la vallée, qui a conduit à réaliser une culée en rive gauche.

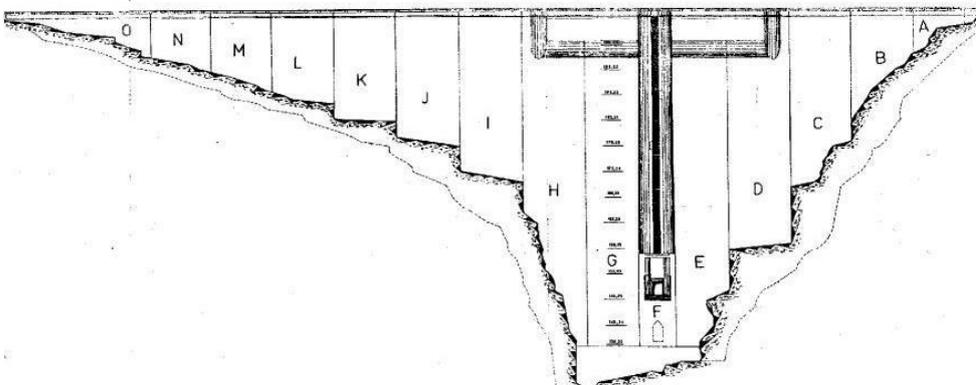


Figure I.5 : Elévation amont (CGB, 2004)

### b. La culée rive gauche:

En rive gauche, où le terrain naturel est relativement plat, la voûte s'appuie sur une culée poids constituée de 4 plots notés L à O sur la vue en plan et l'élévation

En plan, la culée est rectiligne, dans le prolongement du dernier plot de la voûte. Sa longueur totale est de 60,30 m. La hauteur maximale est de 21,60 m au-dessus des fondations.

La culée a un parement amont incliné à 0,5H/1 et un parement aval incliné à 0,25H/1 V. Elle est munie d'une galerie de visite accessible depuis le parement aval.

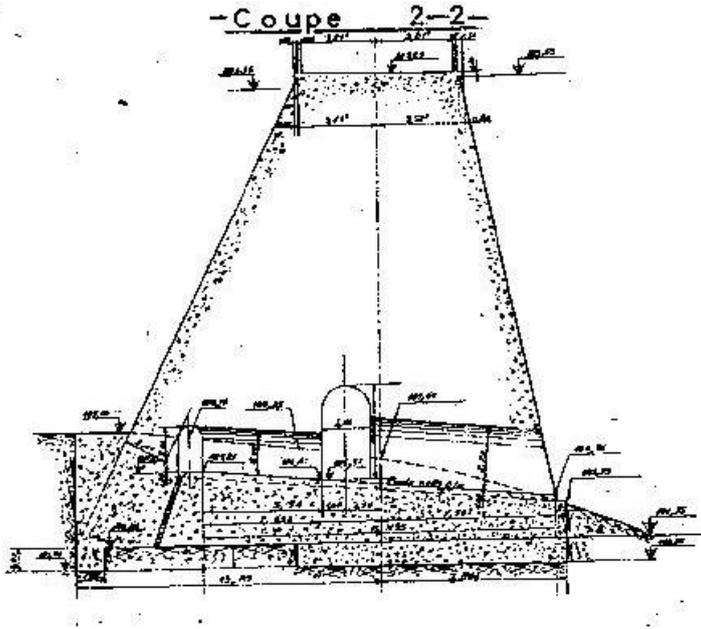


Figure I.6 : Culée rive gauche (CGB, 2004)

### c. L'évacuateur de crue:

L'évacuateur de crues est constitué de deux seuils libres de 18 m de largeur chacun. Les seuils sont calés à la cote de retenue normale, soit 198,90 NGA.

Le profil adopté est un profil Creager avec mise en dépression partielle. L'évacuateur a fait l'objet d'un modèle physique au 1/35ème réalisé par le laboratoire Neyrpic-Alger.

Les bajoyers latéraux des seuils sont munis de déflecteurs qui ont pour but de diriger le jet vers le centre de la vallée et d'éviter que celui-ci ne vienne éroder les versants rocheux.

Le fond de l'oued, en aval immédiat du déversoir, est traité en bassin de réception protégé par une dalle de béton. Cette dalle a une forme de voûte inversée, et a une épaisseur variable croissant de l'axe de l'oued vers les rives. L'épaisseur minimale, dans l'axe de l'oued, est de 1,50 m. La surface est ferrillée par un quadrillage d'aciers de 16 mm de diamètre, tous les 80 cm.

La dalle de réception n'est pas posée sur le rocher mais sur un remblai ayant sans doute servi à régulariser le fond de l'oued. La figure suivante représente cette dalle de protection.

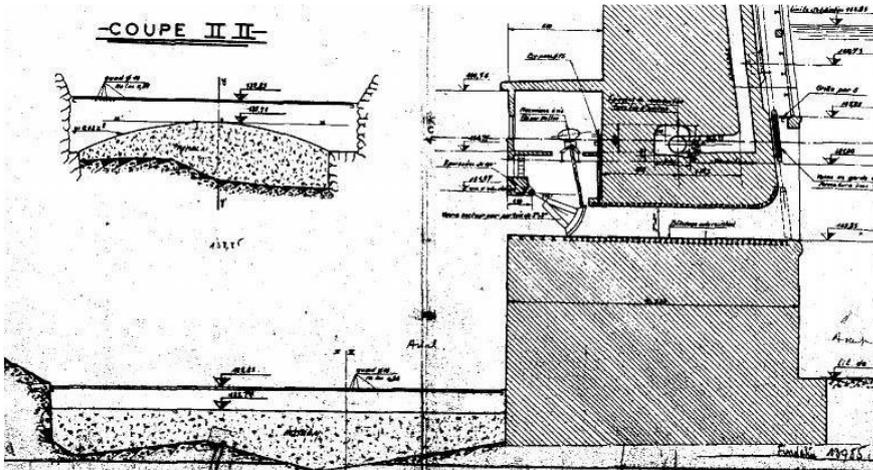


Figure I.7 : Bassin de réception (CGB)

#### d. La prise d'eau et la vidange :

La figure ci-après représente la coupe au droit de la vidange de fond et des prises d'eau étagées.

Le pertuis de vidange à une section carrée de 2 m x 2 m. Il est blindée sur toute sa longueur, soit 18,54 m.

La vanne de garde est une vanne wagon de 3,30 m x 3,30 m, obturant un pertuis de 2,60 m de largeur pour 3,15 m de hauteur.

Cette vanne est manœuvrée depuis un local situé en partie supérieure de la voûte. La vanne de réglage est une vanne secteur de 2,35 m de largeur et 2,40 m de hauteur. Elle est manœuvrée depuis une cabine située au pied aval du barrage, et accessible par la galerie de visite de la voûte.

La prise d'eau comporte trois pertuis étagés situés dans une tour semi-cylindrique accolée au plot central de la voûte. Les pertuis sont protégés par une grille régnant sur toute la hauteur de la tour de prise.

#### e. Construction et clavage de la voûte

La voûte a été construite par plots indépendants, un pertuis provisoire étant ménagé dans le plot central pour la passage des crues pendant le chantier.

Les joints des plots sont munis de deux boîtes de cisaillement régnant sur toute la hauteur du plot.

Le clavage des plots est réalisé par trois rainures d'injections primaires, injectées suivant trois compartiments dans le sens de hauteur à partir de tuyaux débouchant sur le parement aval.

### **I.3 Situation géographique de barrage Foug El Gherza :**

Le barrage de Foug-el-Gherza est un joyau hydrotechnique situé à l'est algérien, au pied du massif des Aurés à 18 Km à l'est de Biskra et à environ 400 Km au sud-est d'Alger (figure I.1).

Ce barrage est situé sur l'oued l'Abiod qui prend sa naissance au centre du massif de l'Aurés et qui est formé par la réunion de plusieurs torrents descendants.

Cet ouvrage d'art a un rôle de régulariser le régime d'Oued El-Abiodh, et pour permis à la région de Sidi Okba de garder sa vocation économique basée sur l'agriculture durant un demi-siècle, du fait qu'il a aidé à contrer la sécheresse qui sévit dans la région depuis une vingtaine d'années. Il a un très grand intérêt économique dans la région puisqu'il permet d'irriguer plus 300 000 et 250 000 palmiers dattiers des palmeraies de Sidi Okba, Garta, Seriana et Thouda. Barrage de Foug El Gherza il est destiné aussi de produire l'énergie électrique au début de sa réalisation qui a été évacuée sur le réseau de distribution de la ville de Biskra (1.500000 Kw/h en 1959) soit environ la moitié de la consommation annuelle de la ville. (ANBT).



**Figure I.8 :** *La retenue du barrage de Foug El Gherza*

Le barrage de Foug El Gherza a une capacité initiale de l'ordre de 47 Hm<sup>3</sup> et une hauteur maximale atteint 73 m. Ce barrage est de type voute à double courbure s'appuyant en Rive Gauche sur une Culée Poids, cette infrastructure est traduite par l'intelligence de l'être

humain qui étant donné l'importance de ce compose le barrage en deux parties qui sont la voûte de 126 m et la culée à environ de 60 m de longueur chacune dont les caractéristique de la voute et la culée sont les suivantes [1].

**a. La voûte:** La voute aux dimensions suivantes :

- Hauteur au dessus du terrain naturel : 65 m.
- Longueur développée de la voûte en crête : 126 m.
- Longueur développée totale : 196 m.
- Épaisseur à la base dans l'axe : 11.48 m.
- Épaisseur en crête de la voûte : 3 m.

**b. La culée rive gauche:** La culée a les dimensions suivantes :

- Longueur totale de la culée : 60,30 m.
- Hauteur maximale au-dessus des fondations : 21,60 m.

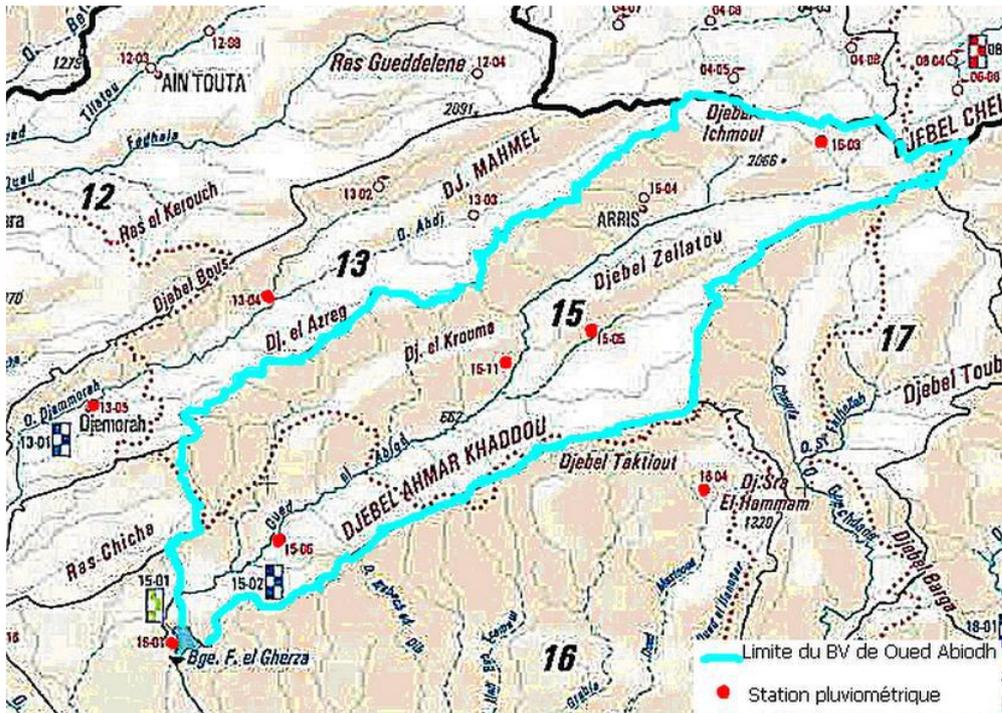
#### **I.4 Choix de l'axe du barrage :**

Le site du barrage est caractérisé par un verrou topographique très marqué à l'amont d'une zone habitée. Les rives calcaires sont particulièrement abruptes voire subverticales au droit du défilé. Sur la base de ces résultats géologiques et des conditions topographiques, l'axe le plus économique et le plus stable a comme coordonnées :

largtude :  $X = 5,9240^\circ$

latitude :  $Y = 34,852^\circ$

altitude :  $Z = 194$



**Figure I.9.** Carte de situation des stations pluviométriques du bassin versant d'oued Abiodh

### I.5 .Historique de la construction du Barrage de Foum-El-Gherza:

Le Barrage de Foum El Gherza a connu plusieurs phases d'étude et de réalisation. Les étapes de construction on connu bien des interruptions, pour des raisons aussi bien techniques, qui peut être résumées en historique comme suit. (Djeghlaf, 2005).

A l'époque en 1847 un premier barrage de dérivation à été construit en amont des gorges de Foum El-Gharza, cet ouvrage rudimentaire fut emporté par les crues et il ne reste rien de cet ouvrage, et en 1912-1918 une construction d'un barrage de 3 m de hauteur fut édifiée au milieu de la gorge.

Une étude d'avant projet est menée en 1927 l'administration commence à établir un projet de grand barrage – réservoir, c'est l'idée de construire le barrage de Foum El Gherza. Le service de la carte géologique de l'Algérie fait une étude géologique détaillée de l'emplacement du barrage en 1941, l'étude a été faite par l'ingénieur du service R. Laffite. En 1944 à 1955 des travaux ont porté sur; la série de sondage du barrage, la voûte et la culée, ainsi que les pontes sur les déversoirs. Le montage de la conduite forcée, la mise en place des déchargeurs et l'installation de la centrale hydroélectrique sont effectués en 1951. En septembre 1957 tous les travaux du barrage sont terminés.



Figure I.10 : Image Google Earth de la retenue du barrage de Foug El Gherza (Biskra)

### I.6 Caractéristiques morphologiques de bassin versant de l’oued labiod à Foug El Gherza:

Dans le tableau ci-dessous tous les résultats des calculs de caractéristiques morphologiques:

Paramètres	unités	symboles	valeurs
Longueur du thalweg principal	km	$L_P$	106
Superficie du BV	km <sup>2</sup>	S	1300
Périmètre du BV	km	P	200
Altitude maximale	m	$H_{max}$	2326
Altitude moyenne	m	$H_{moy}$	1170
Altitude minimale	m	$H_{min}$	295
Altitude 5%	m	$H_{5\%}$	1845
Altitude 95%	m	$H_{95\%}$	448
Indice de morphologique (ladjel)	--	$\varphi$	3.48
Rectangle équivalent			
Longueur	km	L	83.524
Largeur	km	l	15.56
Classe de relief suivant la classification de l’OSTROM	--	R7(relief très fort) $D_s > 500$	relief très fort

Tableau I.1. : Récapitulatifs des caractéristiques morphologiques du bassin versant

Les résultats des caractéristiques morphométriques, montrent que la densité de drainage est assez importante, de plus le coefficient de torrentialité semble assez élevé ceci est due certainement au nombre considérable de talwegs de premier ordre. Quant au temps de concentration, il semble important (long) puisque le temps qu'a mis une goutte d'eau pour arriver au point le plus éloigné de l'exutoire

Ceci, explique la complication des chenaux qui traversent les différentes structures et la forme allongée du bassin versant.

## I.7. Morphométrie du bassin versant:

Les différents paramètres morphométriques du bassin notamment, la forme, l'altitude Caractéristique, la pente et le relief, interviennent et souvent d'une façon combinée dans les modalités de l'écoulement, donc il convient de les préciser dès le début dans toute étude.

### I.7.1. Indice morphologique (ladjel):

$$\varphi = \bar{l}_{BV} \cdot \frac{B}{l_{ce}}$$

$$S_{BV} = B * l_{ce}$$

B : largeur moyen de cour d'eau .

Ou remplace la pente moyenne de bassin versant  $I_{BV}$  par la pente brut du cours d'eau  $\frac{H_{max}-H_{min}}{l_{ce}}$

Dans le cas où on dispose par les valeurs de la pente moyenne de bassin versant ladjel recommande de la remplace ce que la pente brute du cours d'eau soit :  $\bar{l}_{BV} \approx i_{BV}$ .

Ou , on a :  $\varphi = i_{BV} \cdot \frac{B}{l_{ce}}$

- B : largeur moyen de bassin versant  $\frac{S}{l_{ce}} = 15.56$
- $i_{BV} = \frac{H_{max}-H_{min}}{l_{ce}} = 18.7\%$

La valeur de l'indice est :  $\varphi = 3.48$

## I.8. Caractéristiques du relief:

L'importance des reliefs et leur articulation dans l'espace jouent un rôle essentiel dans le bilan hydrique et par conséquent dans l'aptitude aux écoulements.

L'orographie définit un gradient pluviométrique et thermique chaque bassin est caractérisé par la répartition altitudinale de son impluvium.

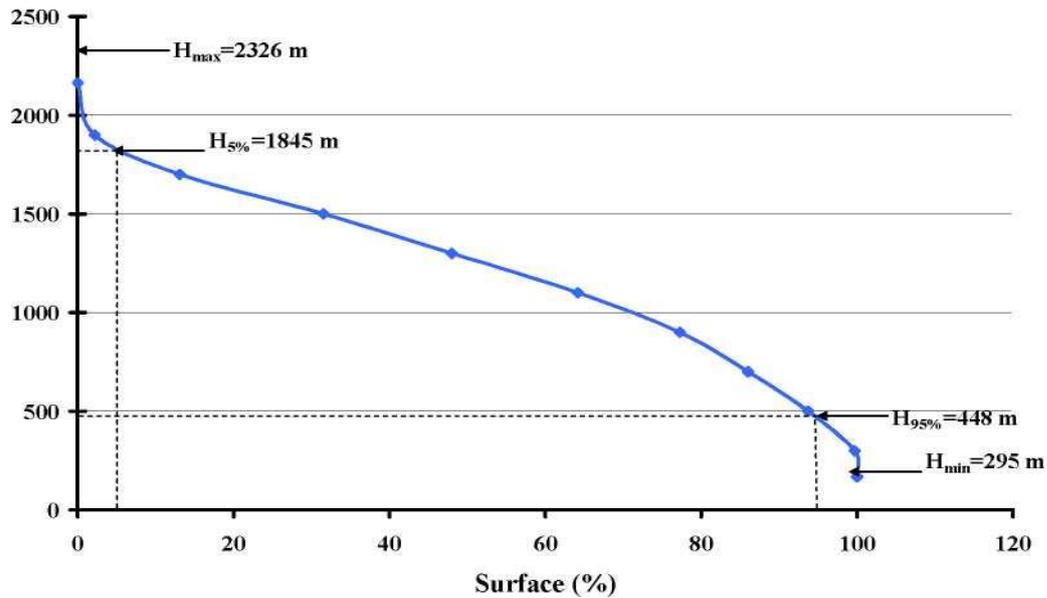
### **I.8.1 Courbe hypsométrique:**

La courbe hypsométrique fournit une vue synthétique de la pente du bassin, donc du relief. Cette courbe représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude. Elle porte en abscisse la surface (ou le pourcentage de surface) du bassin qui se trouve au-dessus (ou au-dessous) de l'altitude représentée en ordonnée. Elle exprime ainsi la superficie du bassin ou le pourcentage de superficie, au-delà d'une certaine altitude. Les courbes hypsométrique demeurent un outil pratique pour comparer plusieurs bassin entre eux ou les diverses sections d'un seul bassin. Elles peuvent en outre servir à la détermination de la pluie moyenne sur un bassin versant et donnent des indications quant au comportement hydrologique et hydraulique du bassin et de son système de drainage.

Le but recherché ici, est la détermination de la classe de relief, la hauteur moyenne, la médiane et le pourcentage des aires partielles entre les différentes courbes de niveau.

Altitude (m)	Surface (Km2)	Surface (%)	Surface Cumulée (Km2)	Surface Cumulée (%)
>2200	0.16	0.012	0.16	0.012
2200-2000	28	2.154	28.16	2.166
2000-1800	142	10.923	170.16	13.089
1800-1600	240	18.462	410.16	31.551
1600-1400	214	16.462	624.16	48.012
1400-1200	210	16.154	834.16	64.166
1200-1000	170	13.077	1004.16	77.243
1000-800	113.84	8.757	1118	86.000
800-600	100	7.692	1218	93.692
600-400	78	6.000	1296	99.692
<400	4	0.308	1300	100

**Tableau I.2.** *Variation de surface en fonction de l'altitude*



**Figure I.11:** Courbe hypsométrique du bassin versant l'Oued El Abiod.

La zone d'altitude comprise entre 1600m et 1200m correspond en majorité au bassin des hautes plaines d'Arris, les secteurs d'altitude entre 1200 à 600m où se fait la jonction de l'oued El Abiod avec ces deux principaux affluents en l'occurrence les oueds Zellatou et Theniet El Beida. La tranche d'altitude inférieure à 600m où oued El Abiod est accueilli par un affluent important oued El Atrouss. Cette répartition altitudinale de relief du bassin a une influence directe sur le régime hydrologique du bassin.

### I.9. Equipement du Bassin Versant :

Le long de l'oued El Abiod jusqu'à l'exutoire (barrage Foum El Gherza) on dénombre 04 stations pluviométriques (Médina, Tifelfel, Tkout et la station du barrage) et une station hydrométrique (Mchouneche). Le tableau ci-dessous conclut les caractéristiques des stations et les séries d'observation

**Tableau I.3:** Caractérisation des stations pluviométriques et hydrométrique

Nom de station	Code	X	Y	Z(m)
Tefelfel	061511	821.9	207.65	740
Médina	061503	846.80	231.10	1450
Tkout	061505	829	211	998
Mchouneche	061506	800.8	186.8	390
barrage	061601	9864.41	15631.09	200

### I.10.1. Exploitation des eaux du barrage de Foum El Gherza :

L'irrigation rationnelle des palmeraies a pour but d'assurer pendant toute l'année et surtout pendant l'été, les quantités d'eau nécessaires à une évolution normale des arbres et à l'élaboration d'une bonne récolte. Donc, les spécialistes sont assez imprécis sur le volume et la fréquence des arrosages. Quelque en soit, la culture du palmier dattier exige d'importantes quantités d'eau.

L'influence défavorable des facteurs climatiques font qu'au Sahara la prospérité du palmier dattier est principalement fonction des volumes d'eau disponibles pour l'arroser. En fait, l'eau d'irrigation sert à humidifier l'horizon du sol fouillé par les racines nourricières des arbres. Le palmier peut évoluer normalement entre 20 et 24% d'humidité relative du sol [1]

Les besoins en eau du palmier dattier dépendent donc :

- **De facteurs édaphiques:** (nature physique du sol donc capacité de rétention en eau, nature chimique des terres qui en général sont pauvres mais riches en sels et donc arrosages plus fréquents et copieux pour combattre la salinité).
- **De la qualité des eaux:** les irrigations doivent être d'autant plus nombreuses et volumineuses que les eaux sont plus chargées afin de limiter les phénomènes de salinisation secondaire généralisée et stabilisée.
- **De l'aménagement et de l'entretien de la plantation:** plus les planches sont parfaitement nivelées et le sol est entretenu plus l'exécution des arrosages est favorisée et la pénétration de l'eau est meilleure.

Dans la pratique, l'irrigation des palmeraies ne tient pas compte du stade de développement biologique et physiologique des palmiers et par conséquent de la variation des besoins durant l'année. De plus, au point de vue production de dattes, certains chercheurs ont calculé qu'il fallait 1 m<sup>3</sup> d'eau pour obtenir 1 kg de dattes [1].

Par ailleurs, en dehors de la technique d'irrigation par submersion, une technique récente a été essayée. Il s'agit de « l'irrigation goutte à goutte ». Elle permet une économie d'eau incontestable.

Dans notre étude le site du barrage de Foum El Gherza se situe à 15 Km au nord-est de Biskra il est destiné pour irriguer 1200 ha correspondant à la plantation de plus de 300 000 palmiers dans les villages de Sériana, Garta et dans la daïra de Sidi Okba.

### **I.10.2. Équipement de mesures hydro pluviométriques du barrage de Foum El Gherza:**

Dans le but de suivre le fonctionnement du barrage de Foum El Gherza et d'établir le bilan hydrologique et de mettre en place un outil de suivi futur de sa disponibilité en eau dépend les entrées et les sorties de la retenue du barrage, une station de mesure a été installée près de la retenue du barrage de puis sa mise fonction, l'année de la mise eau en 1950. Cette station qui a été installée est équipée d'un dispositif expérimental composé par :

- Un pluviomètre permettant d'enregistrer les cumuls de précipitation sur une journée.
- Un bac d'évaporation enterré de type Colorado-ORSTOM de 1 m<sup>2</sup> d'ouverture et 60 cm de profondeur et un bac de classe A.
- Une batterie de deux échelles limnimétriques.
- Une centrale d'enregistrement et de mémorisation des données au niveau de la direction du barrage.
- Un thermomètre protégé sous un abri météorologique.

Les données limnimétriques et pluviométrique enregistrées, sont transférées régulièrement au laboratoire, puis gérées et transformées en formats accessibles (Excel). Les données d'évaporation sont déterminées de façon manuelle par un gardien tous les matins à 8 heures à partir du bac.

### **I.10.3. Les caractéristiques géologiques de la cuvette du barrage:**

L'étanchéité de la cuvette est assurée par la présence des marnes du campanien qui affleurent en amont du barrage. Il reste toutefois une partie importante de calcaire baigné par la retenue et qu'il a été nécessaire d'étancher par injections. Le voile d'étanchéité réalisé se raccorde aux marnes campaniennes[1] .

### **I.10.4. Tectonique du barrage Foum El Gherza :**

Sur le plan tectonique la région a connu plusieurs phases qui ont fortement influencés sur le dispositif structural de la région. La phase post-lutétienne a donné sa charpente à la région avec les structures atlasiques. Il s'agit de nombreux anticlinaux orientés NE-SO qui constituent l'essentiel des reliefs de la région [1].

- Une phase cassante pliocène s'est soldée, ensuite, par des formes d'effondrement qui ont donné lieu à de nombreux fossés tectoniques, notamment la fosse sud-atlasique, qui a bouleversé l'ensemble des réseaux hydrographiques. Elle a même complètement inversé la direction des écoulements dans le massif.
- Une phase tardive quaternaire a accentué les mouvements verticaux des grands comportements du massif et un abaissement avec une subsidence très marquée de la bordure saharienne.

Ce changement dans le niveau de bases des cours d'eau est responsable de l'encaissement des principaux Oueds de la région.

### **I.10.5. Fondation du barrage :**

La voûte et la culée rive gauche est entièrement fondées sur les calcaires maestrichtiens. Ceux-ci se présentent sous formes de bancs épais, parfois intercalés de bancs marneux. Les couches ont une direction parallèle à la vallée et un pendage général de 30° vers l'aval [1].

### **I.10.6. Couvert végétal:**

La végétation joue un rôle essentiel dans la protection du sol. Elle exerce une protection mécanique directe sur l'écoulement fluviale, en diminuant la force vive des eaux et en favorisant leur infiltration. Cette résistance à l'écoulement est d'autant plus grande que le couvert végétal est plus dense. Elle fournit une quantité appréciable d'humus qui joue le rôle de ciment et maintient la structure en grumeaux. Enfin elle donne de l'ombre, ce qui conserve l'humidité et l'activité biologique nécessaire à l'équilibre du sol.

L'infiltration en profondeur est facilitée par les fissurations préparées, au sein du sol, par le réseau des racines.

Après saturation des sols les eaux qui ruissellent rencontrent des obstacles qui les obligent à ralentir leur vitesse, l'ensemble se traduit par un large étalement des crues. La régularisation des régimes des sources et des rivières, le maintien des matériaux sur les pentes.

Les formations végétales protègent donc le sol, mais n'empêchent pas totalement l'érosion dite naturelle. Elle est toujours très faible. Le paysage végétal du bassin de l'Oued El Abiod a été largement dégradé et défraîchi en montagne. Le taux de boisement est estimé à 50%. L'effet dévastateur du aux conséquences de la guerre d'indépendance est à signaler. Les belles forêts sont localisées sur le versant Nord entre 1600m et 2000 m composé de cèdre sur 1400ha environ. Le reste de la surface boisée se partage entre chêne vert pin d'Alep, plus particulièrement entre 1400m et 1000m, quant aux basses vallées elles opposent déjà leurs rubans de palmeraies aménagés en terrasses à la nudité du Désert, le jardinage des oasis est associé à d'autres pratiques culturelles notamment, la céréaliculture dont l'irrigation est assurée par des dérivations de l'Oued et d'épandage de crues.

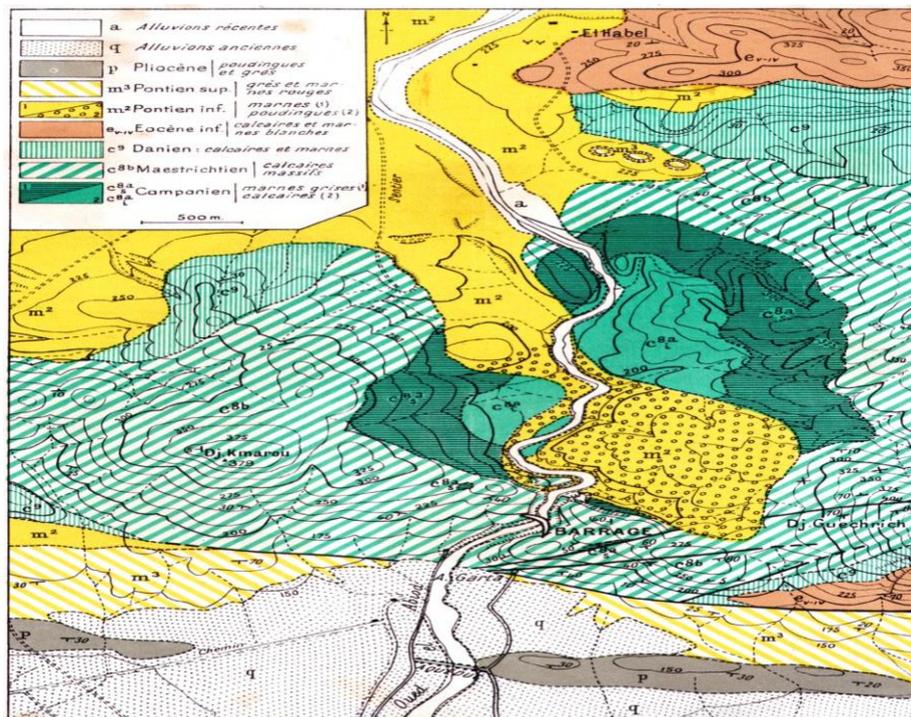


Figure I.12 : Carte géologique aux environs du Fom El Gherza Biskra Algérie

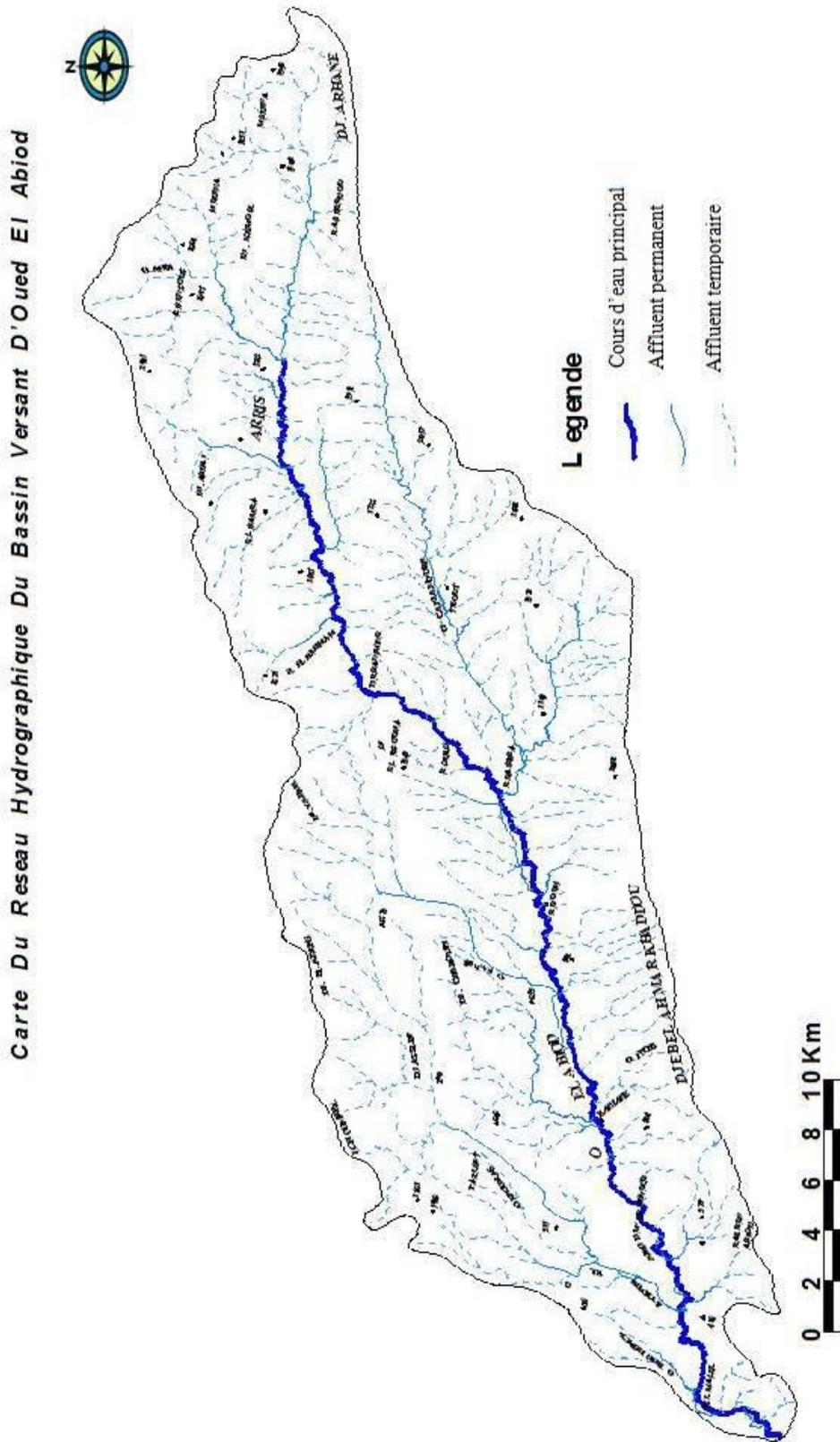


Figure I.13. Carte du réseau hydrographique d'Oued Abiodh (d'après Kasmiouri, 2007)

### **I.11.Conclusion :**

Le bassin versant d'Oued El Abiodh représente l'un des plus grands bassins du massif des Aurès (Est Algérien) sur un impluvium de près de 1050 km<sup>2</sup>. De par ses dimensions et ses composantes naturelles, il représente les caractéristiques d'une zone semi-aride favorable à une érosion accentuée : pentes raides, couvert végétal dégradé, relief dont la nature lithologique est favorable à la dégradation et des pluies plus au moins torrentielles et irrégulières, engendrant des répercussions directes à l'amont, par des pertes de sols et des ravinelements intenses, et à l'aval, par l'envasement du barrage de Foum El Gherza.

## **Chapitre II :**

# **Analyse des données et étude des crues**

## **II. Introduction**

L'analyse des données est une étape essentielle de l'étude. Cette dernière se distingue par les données (pluviométriques hydrologiques) qui sont obtenues à partir des documents de l'ANRH. L'analyse fréquentielle nous permettra d'estimer le volume d'écoulement à une fréquence donnée en utilisant des méthodes statistiques. La prévision d'une crue est une question importante pour le dimensionnement de l'évacuateur de crue. En estimant les caractéristiques de l'hydrogramme de crue et le débit maximum, on peut projeter l'hydrogramme de crue.

### **II.1. Analyse des données pluviométriques et hydrologiques:**

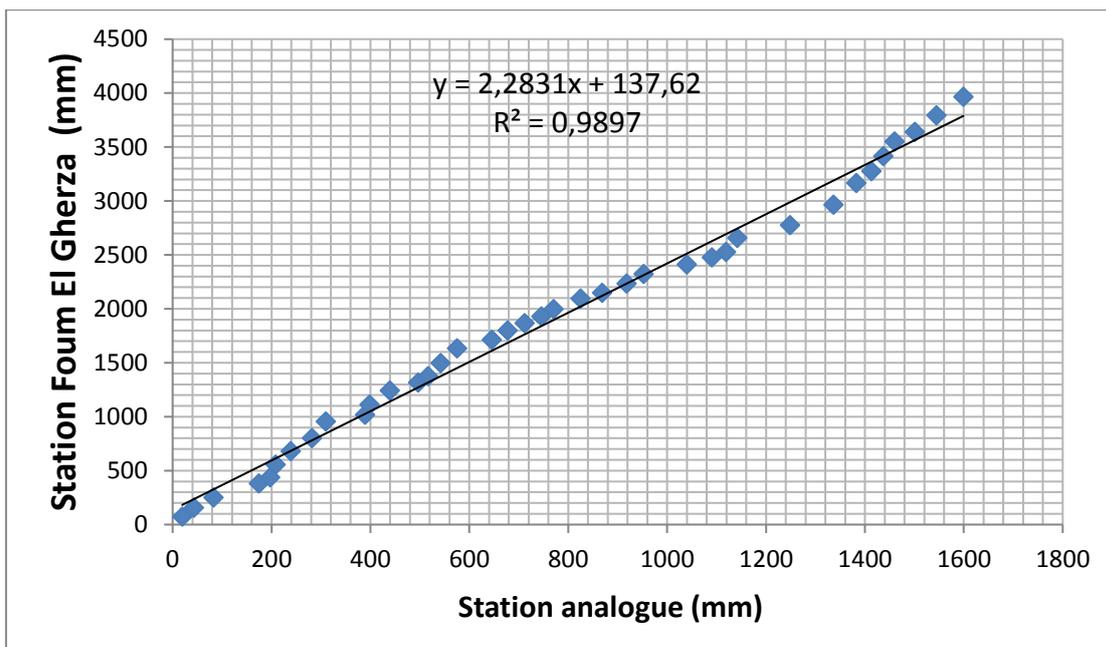
#### **II.1.1. Comblement des séries :**

La détection des lacunes qui se présentent dans les séries pluviométriques de différentes stations, se fait par la méthode des doubles masses qui consiste à comparer les pluies cumulées d'une station.[23]

##### **II.1.1.1. Homogénéisation des pluies annuelles :**

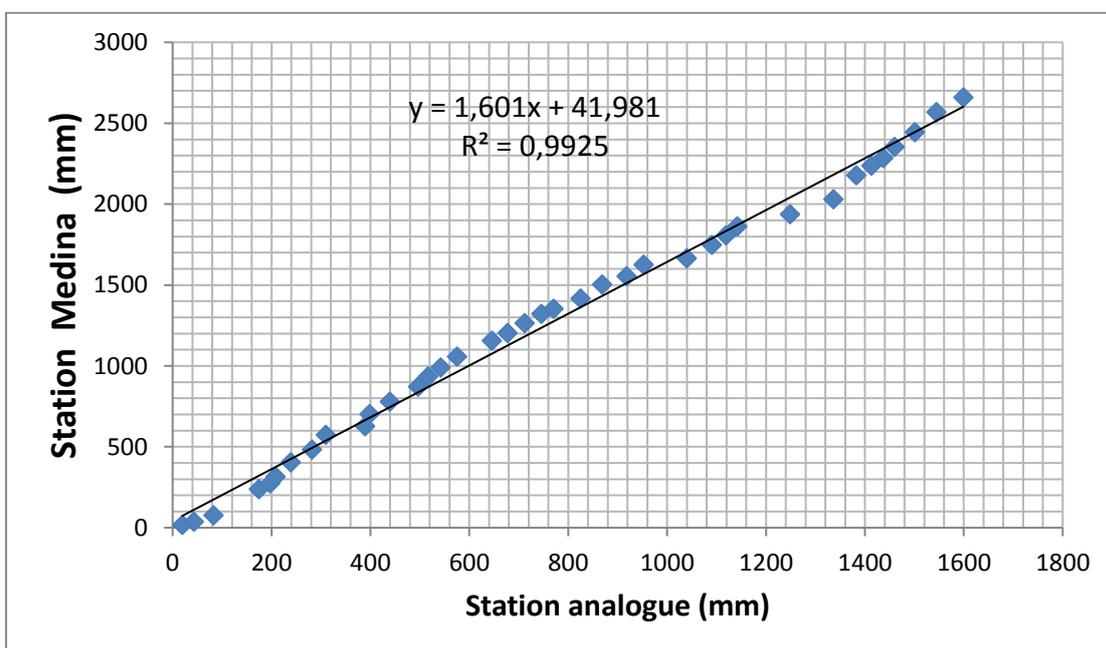
On dispose de quatre stations pluviométriques, avec les quantités de pluies annuelles, durant la période allant de 1973 à 2011. Mais ces séries sont entachées de lacunes. Pour y remédier nous proposons l'approche de la station analogue durant la même période dont les éléments sont constitués de la moyenne pour chaque année des données d'observations au niveau de ces stations. Nous considérons que les données de la station équivalente représentant la pondération spatiale des pluies dans la région d'étude, sont représentées dans.

La correction des valeurs de la série pluviométrique de Foum El Gherza est illustrée dans la figure ci-dessous :



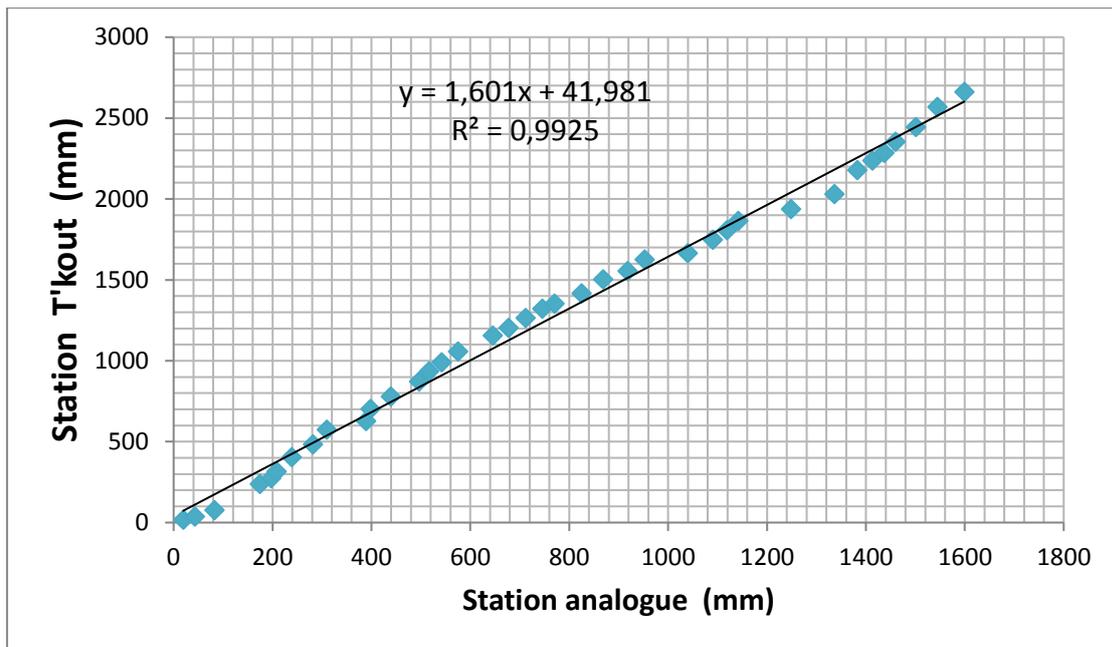
**Figure (II.1) :** *Corrélation simple entre les précipitations maximales journalières foug el gherza-équivalent*

La correction des valeurs de la série pluviométrique de Medina est illustrée dans la figure ci-dessous :



**Figure (II.2) :** *Corrélation simple entre les précipitations maximales journalières Medina - équivalent*

La correction des valeurs de la série pluviométrique de T'kout est illustrée dans la figure ci-dessous :

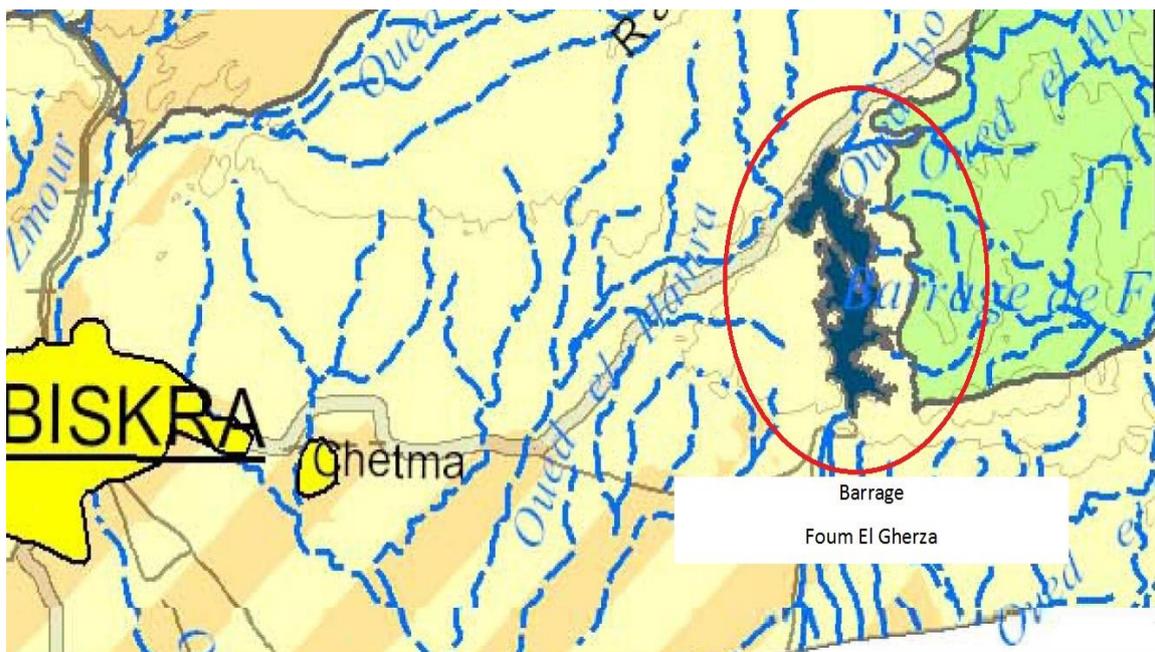


**Figure (II.3) :** *Corrélation simple entre les précipitations maximales journalières T'kout - équivalent*

les valeurs des pluies sont présentées dans( l'annexe01).

**II.1.2. variation des pluies avec l'altitude:**

le plan d'eau de barrage Foug El Gherza est illustrée dans la figure ci-dessous tirée de la carte de l'ANRH des ressources en eau souterraines du nord de l'algerie



**Figure (II.4):** *le plan d'eau de barrage Foug El Gherza*

La figure (II.5) illustre la variation des pluies annuelles à foug el gherza, à Medina , à T'kout à Tifelfel sur la période 1973 à 2011, On peut constater qu'il y a synchronisation au niveau des quatre stations, caractérisé par les mêmes phases des hautes pluies et des basses pluies. Ceci démontre que notre approche concernant la confection de la station équivalente entant que moyenne durant la durée de 38 ans, allant de 1973 à 2011

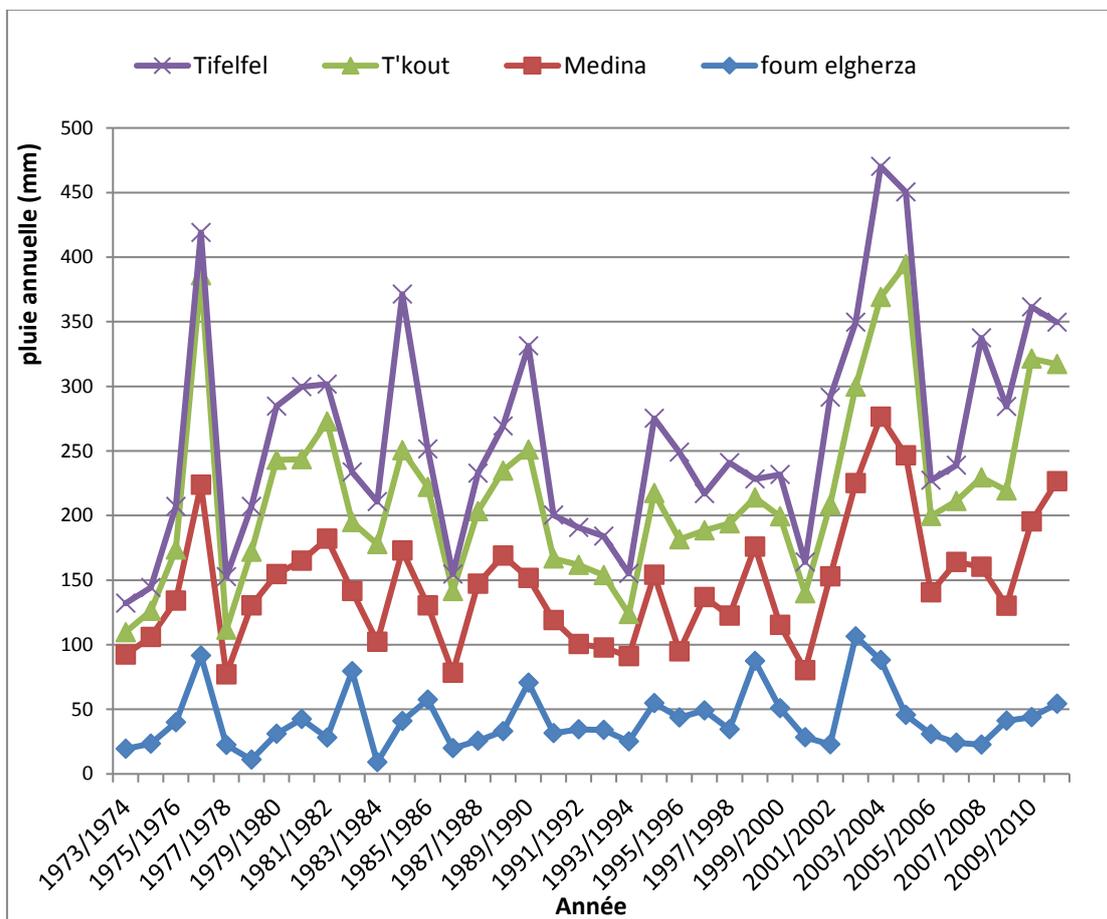


Figure (II.5) : Pluies annuelles sur l'ensemble des stations pluviométriques

**II.1.3. Etude des écoulements l'oued El Abiod:**

Les écoulements de l'oued El Abiod sont obtenus dans des mesures hydrométriques à la station Foug El Gherza ils sont représentés sur l'annexe10. Les caractéristiques de la station hydrométrique de Foug El Gherza sont présentées dans le tableau suivant :

**Tableau (II.1) : caractéristique de la station hydrométrique de oued labiod**

Station hydrométrique	Oued	Code station	Période d'observation
Foum El Gherza	El Abiod	0611601	1973-2011

**II.1.3.1.Écoulement moyenne interannuel:**

A partir de la série des écoulements de la station hydrométrique de Foum El Gherza, on obtient la valeur de l'écoulement moyen interannuel qui est :

$$\bar{E} = 19.3 \text{ Hm}^3$$

**II.1.3.2. Répartition mensuelle de l'écoulement liquide moyen:**

L'analyse des écoulements moyens mensuels sur la période allant de 1973 à 2011, a permis d'établir une répartition mensuelle moyenne des écoulements. La répartition est exprimée en pourcentage de l'écoulement moyen interannuel. Ceci est donné dans le tableau (II.2) ci-dessous et illustrée en figure (II.11).

**Tableau (II.2) : répartition mensuelle de l'écoulement liquide moyen**

mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avrl	Mai	Juin	Juil	Aout	Total annuel
$E_{\text{Moy}} \text{ Hm}^3$	3,4	4,8	1,7	1,4	1,6	1,6	2,9	2,7	2,4	1,4	0,5	0,8	25,3
$E_{\text{Moy}} \text{ mm}$	2,6	3,7	1,3	1,1	1,2	1,3	2,2	2,1	1,9	1,1	0,4	0,7	19,3
$E_{\text{Moy}} \text{ (\%)}$	13,3	18,9	6,7	5,7	6,3	6,5	11,5	10,6	9,6	5,6	2,1	3,4	100,0

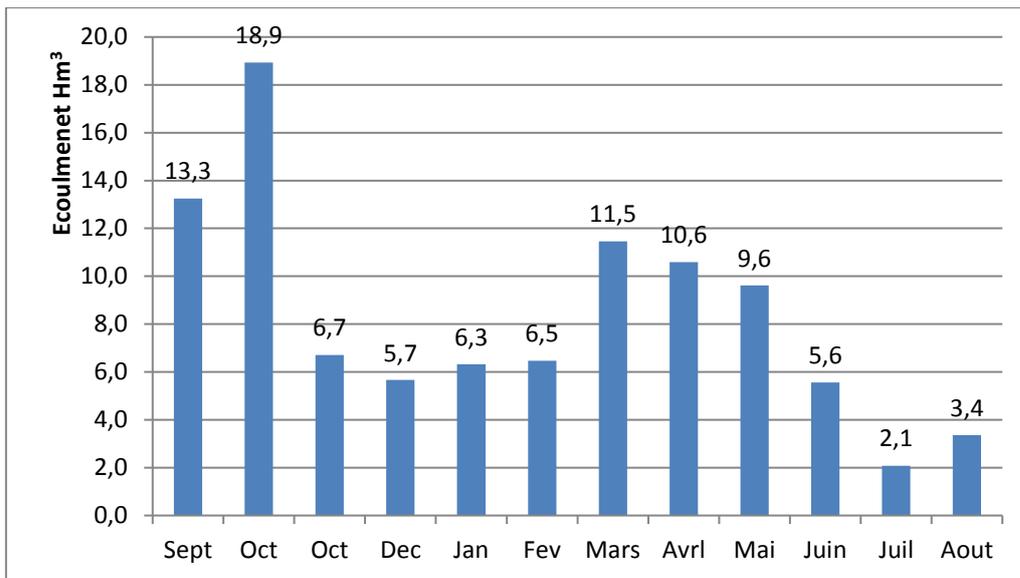


Figure (II.6) : Répartition mensuelle des écoulements liquides

On peut constater que deux groupes de mois septembre et octobre et aussi les mois de mars, avril et mai ont un écoulement qui dépasse la valeur mensuelle moyenne 8.3 Hm<sup>3</sup>.

**II.1.3.3. Analyse fréquentielle de l'écoulement annuel de oued labiod**

Les données des écoulements annuels de oued labiod à Foum El Gherza sur fond l'objet d'une analyse statistique .

**II.1.3.3.1 Construction de la courbe empirique des fréquences:**

Les fréquece empirique sont calculées par la forme suivants

$$p = \frac{m - 0.3}{n + 0.4} \times 100\% \dots \dots \dots (II.2)$$

avec:

- P* : fréquence empirique de l'échantillon, en %
- m* : rang de la variable dans la série classée dans l'ordre décroissement
- n* : nombre d'année d'observation.

On représente la courbe empirique des écoulements annuels sur la figure suivante :

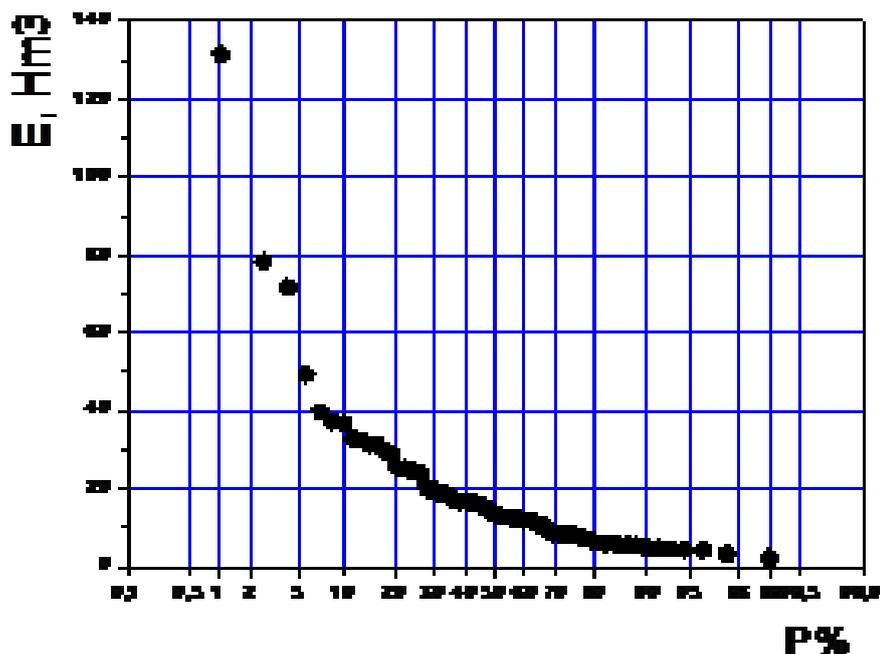


Figure (II.7) : Courbe des fréquences empiriques des écoulements

$$E_{5\%} = 125 \text{ Hm}^3$$

$$E_{50\%} = 18 \text{ Hm}^3$$

$$E_{95\%} = 5 \text{ Hm}^3$$

### 1. Estimation des caractéristiques statistiques

L'application des lois statistiques exige la connaissance des valeurs de paramètre statistique, que on doit estimés

#### a) Coefficient de variation et coefficient d'asymétrie

Pour le calcul du coefficient de variation ( $C_v$ ) et le coefficient d'asymétrie ( $C_s$ ) est fait par les trois méthodes :

##### 1) La méthode des moments

La moyenne, Le coefficient de variation  $C_v$ , le coefficient d'asymétrie  $C_s$  montrent les propriétés de la courbe de fréquence. Ils peuvent être déterminés par la méthode des moments

- la moyenne  $\bar{E}$ :

$$\bar{E} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_i \dots\dots\dots(\text{II.3})$$

- Le coefficient de variation  $C_v$  :

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (k_i - 1)^2}{n-1}} \dots\dots\dots(\text{II.4})$$

- le coefficient d'asymétrie  $C_s$  :

$$C_s = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \frac{\sum_{i=1}^n (k_i - 1)^3}{C_v^3} \dots\dots\dots(\text{II.5})$$

avec :

$k_i$  : Module d'écoulement comme le rapport

$$k_i = \frac{E_i}{\bar{E}} \dots\dots\dots(\text{II.6})$$

résultats obtenus sont représentés sur le tableau suivant :

**Tableau (II.3) :** Les résultats obtenus pour  $C_v$  et  $C_s$

$\bar{E}$	$C_s$	$C_v$
19.3	3.495	1.034

**2) La méthode de maximum de vraisemblance**

En hydrologie, la méthode de maximum de vraisemblance a été introduite par Kritsky S. N. et Menkel F. O. En 1974 Blakhinov a proposé un mode opératoire de cette méthode, fondé sur le calcul en premier lieu des statistiques suivantes [7]

$$\lambda_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_i \dots\dots\dots(\text{II.7})$$

$$\lambda_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log(k_i) \dots\dots\dots(\text{II.8})$$

$$\lambda_3 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n k_i \log(k_i) \dots\dots\dots (II. 9)$$

Dans ce cas, les valeurs numériques de ces caractéristiques sont

$$\lambda_2 = 0.027 \text{ et } \lambda_3 = 1.67$$

La statistique  $\lambda_1$  exprime la valeur moyenne arithmétique. Les valeurs des coefficients de variation  $C_v$  et d'asymétrie  $C_s$  sont tirées respectivement à partir des nomogrammes donnés dans l'annexe(02). Cette méthode est recommandée pour l'estimation des paramètres statistiques, surtout quand les valeurs du coefficient de variation  $C_v > 0,5$ . Quand  $C_v < 0,5$ , cette méthode et celle des moments donnent pratiquement les mêmes résultats

Les résultats obtenus par la méthode de maximum de vraisemblance sont illustrés dans le tableau ci-dessous:

**Tableau (II.4) : Les résultats obtenus pour  $C_v$  et  $C_s$**

$\bar{E}$	$C_s$	$C_v$
19.3	4.872	1.076

**3)La méthode grapho-analytique Alekseev:**

L'essence de la méthode grapho-analytique (méthode des quantiles) consiste à connaître trois ordonnées d'appui spécifiques de la courbe de fréquence  $x_p \%$  (où la fréquence  $p\%$  prend respectivement les valeurs 95%, 50% et 5%), permet la détermination des paramètres statistiques  $\bar{x}$ ,  $C_v$  et  $C_s$ . La solution grapho-analytique est élaborée par Alekseev G, [8], consiste à déterminer le coefficient d'asymétrie  $C_s$ , connaissant la valeur du coefficient de courbure  $S$  :

$$S = \frac{x_{5\%} + x_{95\%} - 2x_{50\%}}{x_{50\%} - x_{95\%}} \dots\dots\dots (II. 10)$$

Car le coefficient d'asymétrie  $C_s$  est fonctionnellement lié avec  $S$  soit  $C_s = f(S)$ .

Les valeurs du  $C_s$  peuvent être tirées du tableau d'Alekseev représenté sur l'annexe(03), en fonction de la valeur calculée  $S$ .

L'écart quadratique  $\sigma_x$  est exprimé comme suit:

$$\sigma_x = \frac{x_{5\%} - x_{95\%}}{F_{5\%}(S) - F_{95\%}(S)} \dots \dots \dots \text{(II. 11)}$$

Les valeurs  $F_{5\%}(S)$  et  $F_{95\%}(S)$  sont aussi tirées du tableau de Foster/Rebkine, en fonction de  $C_s$

La valeur moyenne des variables aléatoires  $\bar{E}$  est calculée par l'équation :

$$\bar{E} = x_{5\%} - \sigma_x F_{95\%}(S) \dots \dots \dots \text{(II. 12)}$$

et enfin ,le coefficient de variation est exprimé par :

$$C_v = \frac{\sigma_x}{\bar{E}} \dots \dots \dots \text{(II. 13)}$$

Les résultats obtenus par la méthode de grapho-analytique sont illustrés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau (II.5) : Les résultats obtenus pour  $C_v$  et  $C_s$**

S	$C_s$	$\sigma_x$	$\bar{E}$	$C_v$
0.63	2.20	19.0	21.03	0.89

Conformément à la théorie statistique, les résultats les plus appropriés sont les valeurs obtenues par la méthode du maximum de vraisemblance[20]

**3. Estimation de l'écoulement annuelle pour les fréquences usuelles:**

La détermination de l'écoulement pour les fréquences usuelles (75%,80%,90%,95%,97%) consiste, connaissant les valeurs de la moyenne  $\bar{E}$  de  $C_s$  et de  $C_v$  , à tirer du tableau de Foster-Rebkine, la valeur de  $F(P\% , C_s)$  , l'annexe(05) et par la relation suivante on peut calculer l'écoulement fréquentiel  $E_{P\%}$  , pour tout intervalle de temps mensuel et annuel[8]

$$E_{p\%} = k_{p\%} \bar{E} \dots \dots \dots \text{(II. 14)}$$





$V_c$ : vitesse de concentration, en km/h.

**2. Formule de Sogreah (1986/1989)\*:**

Une formule a été développée par Sogreah, recommandée pour les petits bassins versants de l'Algérie, s'écrit :

$$t_c = 3 \left[ \frac{S \cdot L_{ce}}{(10 \cdot I_c)^{1.5}} \right]^{\frac{1}{4}} \dots \dots \dots (II. 18)$$

avec :

- $t_c$ : temps de concentration, en h,
- $S$ : superficie du bassin versant, en (km<sup>3</sup>),
- $L_{ce}$ : longueur du talweg principal, en (km),
- $I_c$ : pente du talweg principal, en %.

**3. Formule de Giandotti :**

Développée en Italie, elle est exprimée comme suit [9]

$$t_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L_{ce}}{0.8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}} \dots \dots \dots (II. 19)$$

avec :

- $S$ : superficie du bassin versant, en (km<sup>3</sup>),
- $L_{ce}$ : longueur du thalweg principal, en (km),
- $H_{moy}$ : altitude moyenne, en (m),
- $H_{min}$ : altitude minimale, en (m).

**4. Formule d'Ivanenko :**

La formule d'Ivanenko est développée pour estimer la vitesse de propagation des débits maximums des crues pluviales dans les conditions montagneuses des Carpates en Ukraine :

$$V_c = AS^{0.32} \cdot I^{0.5} \dots \dots \dots (II. 20)$$

avec

$A=\varphi(S)$  coefficient qui dépend de la superficie du bassin versant,

$A=0.36$  pour notre cas.

S: superficie du bassin versant,

$$I = \frac{H_{\max}-H_{\min}}{l_{ce}} \text{‰ pente brute}$$

Les résultats obtenus pour l'estimation du temps de concentration, par des différentes formules sont représenté sur le tableau ci-dessous :

**Tableau (II.7) : temps de concentration estimée par des différentes formules**

Formule utilisé	Le temps de concentration calculé(h)
Befani	20.5
Sogreah (1986/1989)	8.75
Giandotti	8.41

**5. Formule de Ladjel:**

La Formule de calcul du temps de concentration fluviale est développée pour les régions semi-arides, tient compte de la fréquence de l'événement. Elle est exprimée par [10]:

$$t_c = \frac{L_{ce}}{a \cdot S^b \cdot I_c^{0.34}} \dots \dots \dots (II.21)$$

avec :

**a** et **b** dépendent de la fréquence  $P_{\%}$  tel que :

$$a = \frac{1.08}{P^{0.14}} \dots \dots \dots (II.22)$$

$$b = 0.17 P^{0.08} \dots \dots \dots (II.23)$$

Le tableau (II.7) nous contient les résultats d'estimation obtenus par la formule de Ladjel pour les différentes fréquences P%

**Tableau (II.8) :** Les résultats de calcul du temps de concentration par la formule de Ladjel

fréquences P%.	0.1	1	2	5	10
a <sub>P%</sub>	1.49	1.08	0.98	0.86	0.78
b <sub>P%</sub>	0.14	0.17	0.18	0.19	0.20
t <sub>c</sub> (h)	10.2	11.5	11.8	12.15	12.40

**5. Analyse et critique des résultats :**

Le choix de la formule la mieux adaptée pour l'estimation du temps de concentration de la phase maximale dans l'oued, doit inclure les paramètres morphométriques et climatiques.

Après l'analyse des résultats calculés par des différentes formules, on considéré que la formule de Ladjel vérifie pour les conditions climatique analogue à celle de l'Algérie, elle donnée des valeurs vraisemblables qui tient compte des fréquences de l'évènement P%

**II.2.2. Pluie courte durée:**

La détermination des pluies courte durée (averse) fait appelle à la méthode homologue de l'ANRH et dans plusieurs pays.

**II.2.2.1. Caractéristiques pluviométriques:**

La détermination des caractéristiques pluviométriques fait appel aux cartes, construites avec des données de l'A.N.R.H.

**Tableau (II.9) :** les caractéristiques pluviométrique de la région d'étude

Désignation	Symboles	Unité	Valeurs
Pluie maximale journalière moyenne	$\overline{P_{max.j}}$	mm	32.6
Le coefficient de variation	$C_v$	-	0.522
Coefficient climatique	$b$	-	0.242

**II.2.2.2. Estimation des pluies de courtes durées:**

Fondé sur la loi log normal, et équivalente de la méthode des courbes I.D.F sur la base principale paramétrée pluviométrique (pluie moyenne journalière annuelle  $\overline{P_{max.j}}$  le coefficient de variation  $C_v$ , l'exposant climatique  $b$ ).

la pluie journalière maximale d'une fréquence  $P\%$ , est estimée par, [21] :

$$P_{j.p\%} = \frac{\overline{P_{max.j}}}{\sqrt{C_v^2 + 1}} e^{U_{p\%} \sqrt{\ln(C_v^2 + 1)}} \dots \dots \dots \text{(II. 24)}$$

avec :

$\overline{P_{max.j}}$  : Lamme de pluie journalière d'une fréquence  $P\%$  (mm).

$C_v$  : Le coefficient de variation qui caractérise la pluviométrie.

$U_{p\%}$  Constante de Gauss qui correspond à une fréquence donnée.

La formule ci-dessous nous calcule la pluie de courte durée, [13].

$$P_{t_c.p\%} = P_{j.p\%} \left( \frac{t_c}{24} \right)^b \dots \dots \dots \text{(II. 25)}$$

avec:

$P_{t_c.p\%}$  : lame d'une pluie de courte durée (mm).

$P_{j.p\%}$  : lame de pluie journalière d'une fréquence P% (mm)

$t_c$  : Temps de concentration (h)

$b$  : Coefficient climatique dépend de la position géographique déterminé par la carte des isolignes de l'exposant climatique.

Les résultats des calculs des pluies courtes durées sont illustrés dans le tableau ci-dessous

**Tableau (II.10) : calcul de la pluie courte durée à une fréquence P.**

P%	0.1%	1%	2%	5%	10%
$P_{j.p\%}$ (mm)	54.17	54.17	54.17	54.17	54.17
$P_{t_c.p\%}$ (mm)	44.0	45.3	45.6	45.9	46.1

### II.2.3. Estimation de la lame d'écoulement:

Les caractéristiques climatiques de l'écoulement sont représentées sur le tableau (II.10)

**Tableau (II.11) : Caractéristique de l'écoulement de la région**

Désignation	Symbole	Valeurs
Coefficient climatique	$a$	0.187
Coefficient climatique	$C_{50\%}$	0.184

La lame de pluie, tombée sur un surface d'eau du bassin versant, est partagée en plusieurs composantes : l'imbibition du sol, la rétention dans les micros dépressions et dans le sol, la rétention par la couverture végétale, l'infiltration dans le sol et le ruissellement superficiel.

Les quatre premières composantes constituent les pertes totales des eaux pluviales. alors que la cinquième composante « ruissellement superficiel » génère le débit maximum.

La lame écoulée est exprimée à travers la multiplication de la lame de pluie génératrice par un coefficient moyen d'écoulement. Selon Ladjel, le coefficient d'écoulement  $\alpha_{t_c,p\%}$  est exprimé comme suit, [21]:

$$\alpha_{t_c,p\%} = 1 - P_{t_c,p\%}^{n-1} \dots \dots \dots \text{(II. 26)}$$

avec:

$$n = 1 - \frac{C_{p\%}}{\ln(P_{t_c,p\%})} \dots \dots \dots \text{(II. 27)}$$

$\alpha_{t_c,p\%}$ : Le coefficient d'écoulement.

$P_{t_c,p\%}$ : lame d'une pluie de courte durée au temps de concentration (mm)

$C_{p\%}$ : est un coefficient d'écoulement estimé sur la base des études régionale, elle est exprimée comme suit :

$$C_{p\%} = C_{50\%} e^{aU_{p\%}} \dots \dots \dots \text{(II. 28)}$$

avec:

$C_{50\%}$  : Le coefficient climatique moyen d'écoulement.

$a$  : Le coefficient climatique qui caractérise le ruissellement.

$U_{p\%}$  : La constante de Gauss qui correspond à une fréquence P%

Le tableau (II.13) nous représente les résultats pour le calcul du coefficient d'écoulement.

**Tableau (II.12) : les résultats pour le calcul du coefficient d'écoulement**

P%	0.1	1	2	5	10
$C_{p\%}$	0.327	0.284	0.270	0.250	0.234
n	0.930	0.934	0.936	0.938	0.939
$\alpha_{t_c,p\%}$	0.279	0.247	0.237	0.221	0.208



**II.2.4. projection de l'hydrogramme de crue:**

**II.2.4.1. Estimation de la durée du ruissellement:**

Le temps de ruissellement est une caractéristique qui nous renseigne sur la morphologie du bassin versant c'est-à-dire, on calculant le temps de ruissellement en suite, le comparer avec le temps de concentration. Ce qui soulève deux cas, [11]:

1<sup>er</sup> cas : Si  $t_c < T_0$  : on a un petit bassin versant

2<sup>ème</sup> cas : Si  $t_c > T_0$  : on a un grand bassin versant.

La formule pour le calcul du temps de ruissellement est la suivante:

$$T_0 = \frac{1}{2} \sqrt{E_{i\%} + P_d} = \frac{1}{2} \sqrt{R_{i\%}} \dots \dots \dots \text{(II. 31)}$$

avec:

$T_0$ : Durée de ruissellement (h)

$E_{p\%}$  : écoulement de fréquence  $P\%$  ; mm

$P_d$  : perte des eaux pluviales durant la déverse , mm

$R_{p\%}$  :  $E_{p\%} + P_d$  lame ruisselée , mm

Les résultats de calcul du temps de ruissellement sont illustrés dans le tableau ci-dessous

**Tableau (II.14): résultats de calcul du temps de ruissellement.**

P%	0.1	1	2	5	10
$T_0$ (h)	3.22	2.62	2.43	2.20	2.02

**II.2.4.2. Estimation du temps de base de la crue:**

Le temps de base de la crue ( $T$ ) est exprimé sous forme de la somme de temps de montée  $t_m$  et de temps de décrue  $t_d$  , [12]:

$$T = t_m + t_d \dots \dots \dots \text{(II.32)}$$

avec :

Le temps de monté :

$$t_m = \frac{t_0}{3} \left( 1 + 2 \frac{t_c}{T_0} \right) \dots \dots \dots \text{(II. 33)}$$

Le temps de décrue :

$$t_d = \left( \frac{\varphi}{\varphi - 1} \right)^2 \times t_c - \left( \frac{\varphi}{\varphi - 1} \right)^2 \times t_m \dots \dots \dots \text{(II. 34)}$$

$\varphi$  : indice morphologique = 3.48

Les résultats du calculs de temps de base de la crue sont illustré dans le tableau ci-dessous

**Tableau (II.15):** récapitulation du calcul de temps de base de la crue.

<b>P%</b>	0.1%	1%	2%	5%	10%
<b>t<sub>m</sub>(h)</b>	7.47	8.32	8.53	8.77	8.92
<b>t<sub>d</sub>(h)</b>	28.8	32.4	33.4	34.45	35.0
<b>T (h)</b>	36.3	40.8	41.9	43.2	43.9

**II.2.4.3. Estimation du débit maximum de la crue pluviale:**

Actuellement, la plupart des formules de calcul sont fondées sur l'utilisation de l'intensité moyenne maximale de l'averse durant le temps de concentration et sur un coefficient de ruissellement moyen, pris constant pour toutes les périodes de retour ;

**1. Formule de Béfani:**

1<sup>er</sup> cas : Si  $t_c < T_0$  : on a un petit bassin versant

La formule de Béfani a développée se formule pour les petits bassins versant et les grands bassins versant. Elle est utilisable pour deux cas, [13]:

$$Q_{P\%} = \frac{1}{3.6} (k1. \varphi) \left( \frac{L_{e,P\%}}{t_c} \right) . S \dots \dots \dots \text{(II. 35)}$$

avec:

$$k1 = 1 + \frac{1}{8\left(\frac{T_0}{t_c}\right)^{-4}} \dots \dots \dots \text{(II. 36)}$$

$$\varphi = 1 - \left(1 - \left(\frac{t_c}{T_0}\right)^3\right) \dots \dots \dots \text{(II. 37)}$$

avec:

$\frac{1}{3.6}$ : Coefficient de conversion d'unité

$L_{e,p\%}$ : La lame écoulée dans le bassin versant (mm)

$t_c$ : Le temps de concentration (h)

$T_0$ : Durée de ruissellement (h)

$S$ : superficie du bassin versant en km<sup>2</sup>

$k1$ : Coefficient tient compte du passage de la forme rectangulaire à la forme réel du bassin versant.

$\varphi$ : Coefficient de la lame active de l'écoulement

2<sup>ème</sup> cas : Si  $t_c > T_0$ : on a un grand bassin versant.

$$Q_{max,P\%} = \frac{1}{3.6} (k2) \left(\frac{L_{e,p\%}}{t_c}\right) . S \dots \dots \dots \text{(II. 38)}$$

avec :

$$k2 = 1.5 \left[1 - \left(0.1 \left(\frac{T_0}{t_c}\right)^2\right)\right] \dots \dots \dots \text{(II. 39)}$$

avec:

$k2$ : Coefficient tient compte du passage de la forme rectangulaire à la forme réel du bassin versant.

**2.Formule de Béjaia'2000:**

Développée par Ladjel, applicable pour les bassins du Nord de l'Algérie, proposé à Bejaia durant une conférence à l'université d'Abderrahmane Mira de Bejaia, en 2000. Elle s'écrit[14] :

$$Q_{max,P\%} = \frac{1}{3.6} (m_b + 1) \left( \frac{L_{e,P\%}}{T} \right) \dots \dots \dots (II. 40)$$

avec:

$$m_b = \frac{t_c}{T_0} + 2 \dots \dots \dots (II. 41)$$

$$r = \frac{1}{1 + \left( \frac{t_c}{T_0} \right)^{3/2}} \dots \dots \dots (II. 42)$$

avec:

$T$  : Le temps de base de la crue (h)

$m_b$  : Coefficient de forme de l'hydrogramme de la crue,

$r$  : Coefficient de réduction de l'ordonnée maximale de ruissellement en ordonnée de l'écoulement

$L_{e,P\%}$  : La lame d'écoulement, en mm

$S$  : superficie du bassin versant (km<sup>2</sup>)

**3. Formule de Ladjel:**

Cette formule est obtenue par voie d'idéalisation de l'hydrogramme de la crue. Son utilisation nécessite un calcul itératif.

$$Q_{p\%} = \frac{1}{3.6} * \frac{\beta}{1 - e^{-\beta}} * \frac{E_{p\%}}{T} * S_{BV} \dots \dots \dots (II. 43)$$

avec:

$\frac{1}{3.6}$  : Coefficient de conversion des unités, quand  $Q_{max}$  est exprimé en m<sup>3</sup>/s.km<sup>2</sup>, le temps de base en(h) , la lame ruisselée  $E_{p\%}$  en (mm) et la superficie du bassin versant  $S_{BV}$  en km<sup>2</sup>.

avec:

$$\beta = \ln \left( \frac{q_{max}}{q_T} \right) \dots \dots \dots (II. 44)$$

avec:

$q_T$ : débit caractéristique résidu.

Le débit caractéristique résiduel s'exprime comme suit :



$n$  : La taille de la série.

$E_{p\%}$ : Valeur de correction tirée de l'abaque de correction des débits maximas

Les résultats de la correction de garantie des débits maximas sont illustrés dans le tableau ci-dessous :

on considéré que le coefficient de variation des débits maximum

$$C_{vQ_{max}} = 1.04 \quad \text{et} \quad n=38 \text{ ans}$$

**Tableau (II.17) : les résultats de la correction de garantie**

P%	0.1%	1%	2%	5%	10%
$E_{p\%}$	0.72	0.62	0.6	0.53	0.39
$Q_{p\%}$	1872	949	753	543	418
$\Delta Q_{max} \text{ (m}^3/\text{s)}$	328	143	110	70.1	39.7

Les résultats finals des débits maximas sont illustrés dans le tableau (II.18)

**Tableau (II.18) : les résultats finals des débits maximas**

P%	0.1%	1%	2%	5%	10%
$Q_{max}$ (m <sup>3</sup> /s) ladjel	1872	949	753	543	418
$\Delta Q_{max} \text{ (m}^3/\text{s)}$	328	143	110	70.1	39.7
$Q_{max,p\%}^* \text{ (m}^3/\text{s)}$	2200	1092	863	613	455



L'application de ces formules, avec les valeurs des puissances respectives  $m = 2$  et  $n = 3$  pour la phase de montée et pour la phase de décrue comme l'a recommandé Sokolovsky, ne donne pas l'hydrogramme, dont le volume d'écoulement est celui correspond au débit maximum calculé [17]:

En tenant compte de la forme de l'hydrogramme de ruissellement, dont la transformation en hydrogramme d'écoulement avec la courbe de montée de forme de la lettre S. Ladjel propose de prendre en considération une forme sinusoïdale de la phase de montée. Alors que pour la phase de décrue, qui décrit l'épuisement de l'écoulement à partir du bassin et du système hydrographique, peut avoir la forme parabolique. Les courbes des deux branches de l'hydrogramme, sont exprimées respectivement, comme suite [12]:

**a) la phase de monté**

$$Q_m = Q_{max,P\%}^* \left[ \sin \left( \frac{\pi}{2} \times \left( \frac{t}{t_m} \right)^{m_s} \right) \right] \dots \dots \dots \text{(II. 49)}$$

**b) la phase de décrue**

$$Q_d = Q_{max,P\%}^* \left( \frac{t_d - t}{t_d} \right)^{n_s} \dots \dots \dots \text{(II. 50)}$$

a formule Béjaia'2000 s'applique pour les deux phases de la crue. Pour la phase de montée, elle s'écrit sous la forme suivante :

$$Q_{max,P\%}^* = \frac{1}{3.6} (m_s + 1) \frac{L_{emP\%}}{t_m} . S \dots \dots \dots \text{(II. 51)}$$

avec:

$L_{emP\%}$ : lame d'écoulement durant la phase de montée (mm)

$$L_{e,mP\%} = \frac{L_{emP\%}}{\gamma + 1} \dots \dots \dots \text{(II. 52)}$$

A partir l'équation (II.45) et (II.46) , on tire les expression  $m_s$  et  $n_s$

$$m_s = 3.6 \times (1 + \gamma) \times \frac{Q_{max,P\%}^* \cdot t_m}{L_{e,P\%} \cdot S} - 1 \dots \dots \dots (II. 53)$$

$$n_s = \left(\frac{1 + \gamma}{\gamma}\right) \frac{3,6 \cdot t_d \cdot Q_{max,P\%}^*}{L_{e,P\%} \cdot S} \dots \dots \dots (II. 54)$$

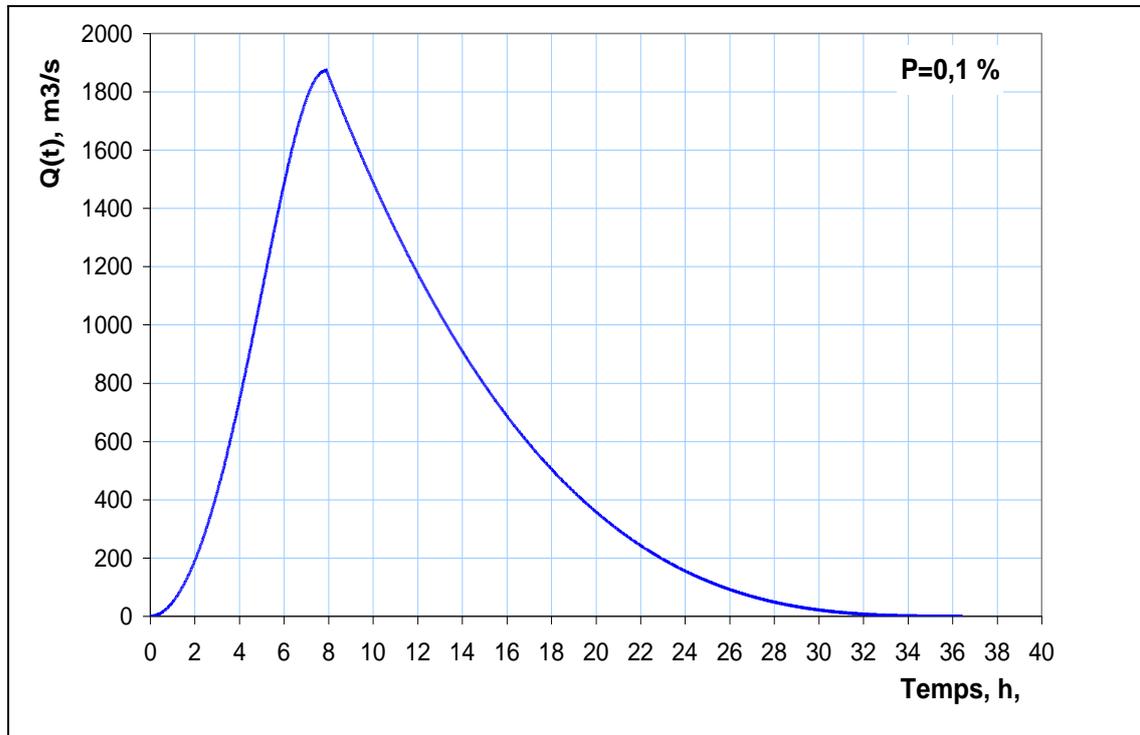
$$\gamma = \frac{t_d}{t_m} \dots \dots \dots (II. 55)$$

T : Temps de la base de la crue en h

Après vérification analytique et numérique, il s'avère que la valeur des deux exposants est égale à la valeur du coefficient de forme de la formule ladjel soit :

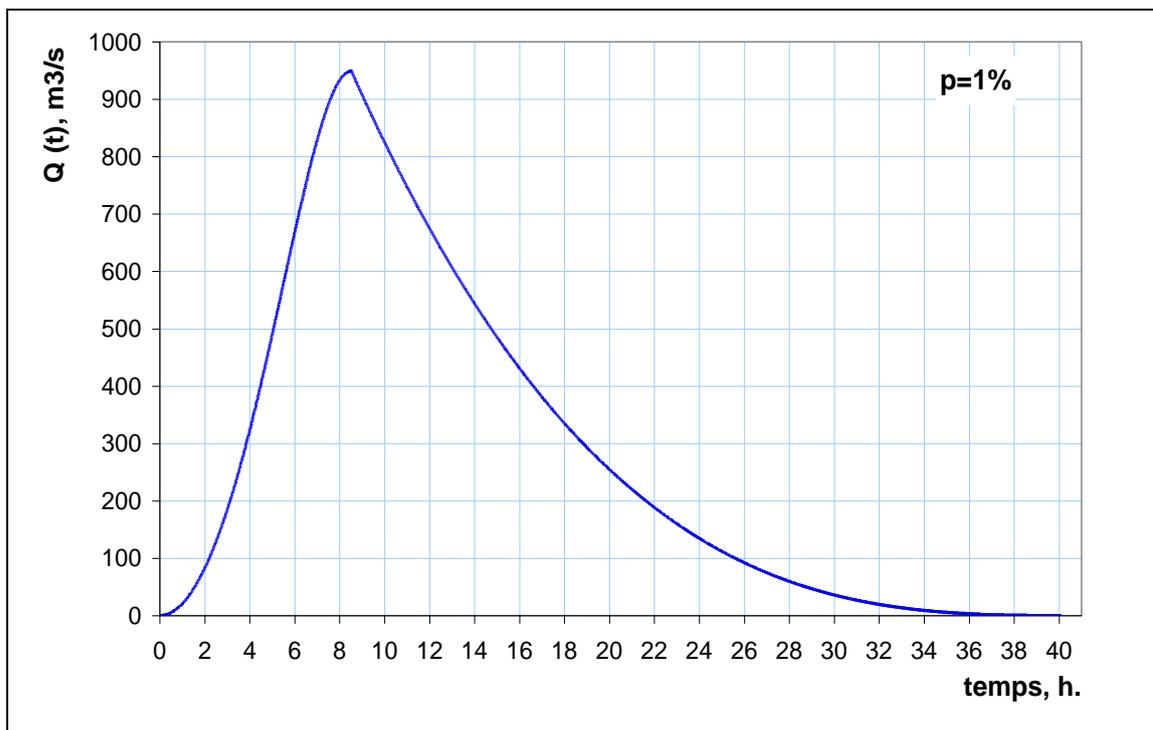
$$m_s = n_s = m$$

La projection de hydrogramme de crue  $p=0.1\%$  normalisé par Ladjel est illustrée dans la figure ci-dessous



**Figure (II.8) :** hydrogramme de la crue d'une fréquence  $P=0.1\%$

La projection de hydrogramme de crue  $p=1\%$  normalisé par Ladjel est illustrée dans la figure ci-dessous



**Figure (II.9) :** hydrogramme de la crue d'une fréquence  $P=1\%$

**II.3. Conclusion:**

L'analyse préliminaire des éléments du bilan hydrologique à pour clarifier et montré la variabilité des éléments dans des échelles différente que soit annuelle, interannuelle et l'échelle mensuelle. Cette analyse des données d'exploitation du barrage de Foume El Gherza sa change d'un élément à l'autre selon leur effet au barrage et selon leur changement à cause des défèrent facteur externe qui en un effet directe sur cet élément. La présentation graphique des éléments explique des variations exceptionnelle au chaque de ces éléments comme l'irrégularité dans les pluies, et comme aussi pour les déversements, les vidanges qui sont très éparses dans le temps du fait de la variation des apports.

# **Chapitre III:**

## **Etude de la régularisation de l'écoulement**

### III.1. Introduction

L'écoulement fluvial, comme les pluies, est un phénomène très irrégulier dans le temps, paradoxalement par rapport au régime des besoins des différents utilisateurs. La satisfaction des besoins doit obligatoirement par une régularisation de cet écoulement, dans des barrages. L'objet de ce chapitre est justement l'étude de régularisation de l'oued labiod en se basant sur la modélisation statistique de l'écoulement par la méthode de Monté-Carlo, et prenant en compte des pertes d'eau par infiltration dans le sous-sol et par évaporation dans l'atmosphère.

### III.2. Etude de régularisation de l'écoulement:

L'étude de régularisation de l'écoulement nécessite de disposer de la topographie de la cuvette du barrage, les valeurs des restitutions garanties à satisfaire et leurs répartitions mensuelles, la géologie de la cuvette, l'évaporation d'eau annuelle ainsi son répartition mensuelle, les précipitations annuelles ainsi leurs répartitions mensuelles, afin de déterminer la garantie de satisfaction et la capacité utile de stockage.

#### III.2.1. Courbes Altitude-Capacité-Surface:

Les caractéristiques ( la hauteur- la surface- le volume) a partir du levé bathymétrique qui a été effectué sur le barrage en 1975, a permis de construire les courbes hauteurs-surfaces- capacités (ANB, 2006). si on se pose que la cuvette est compris entre une cote min de 179 m et une cote max de 201m.

$$V_n = V_{n-1} + \Delta V_n = V_{n-1} + \left( \frac{S_{n-1} + S_n}{2} \right) * \Delta H \dots \dots \dots \text{(III.1)}$$

avec :

$$V_n = 2/3 S_n \cdot H_n$$

$V_n$  : Volume d'eau correspondant à courbe de niveau ( $m^3$ )

$\Delta V_n$  : Volume élémentaire compris entre deux courbes de niveaux successives ( $m^3$ ).

$\Delta H$  : Différence d'altitude entre les deux courbes de niveau successives (m)

$S_{n-1}$  : Surface du plan d'eau correspondant à la courbe de niveau  $H_{n-1}$

$S_n$  : Surface du plan d'eau correspondant à la courbe de niveau  $H_n$

avec :

$V_1$  : Volume d'eau correspondant à la première courbe de niveau,

$S_1$  : Surface du plan d'eau correspondant à la première courbe de niveau

$H^*$  : Dénivelée entre la première courbe de niveau et le niveau de l'exutoir

[  $H^* = 1\text{m}$  ] .

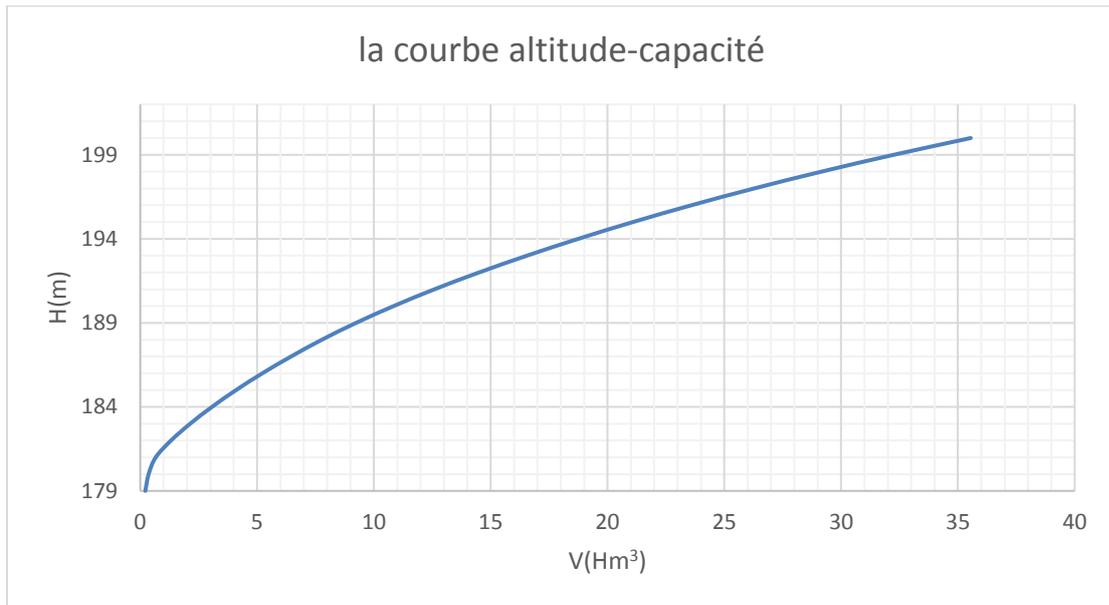
Le Volume d'eau correspondant à la première courbe de niveau est l'ordre de :

$$V_1 = 34000 \text{ m}^3$$

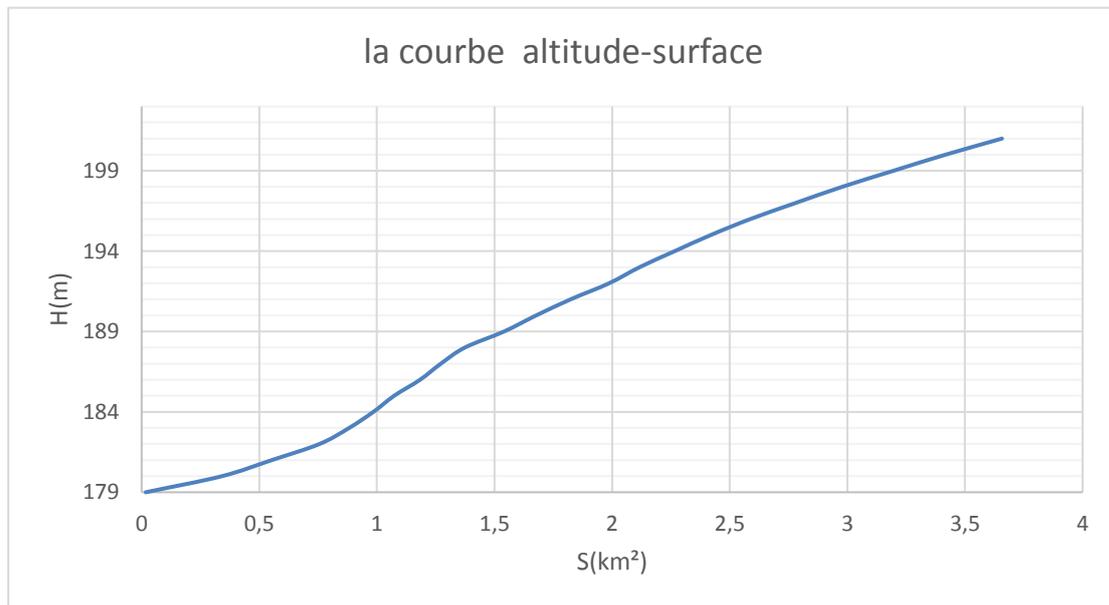
La courbe de surface et de capacité de la retenue est donnée dans les figures 01-02 et tableau (III.1) respectivement :

**Tableau III.1 : Altitude-Capacité-Surface**

	H(m)	S (Km <sup>2</sup> )	V (Hm <sup>3</sup> )
0	179	0,02	0,36
1	180	0,34	0,22
2	181	0,55	0,66
3	182	0,76	1,32
4	183	0,88	2,14
5	184	0,99	3,07
6	185	1,07	4,10
7	186	1,18	5,23
8	187	1,27	6,46
9	188	1,37	7,78
10	189	1,54	9,24
11	190	1,68	10,85
12	191	1,82	12,6
13	192	1,99	14,5
14	193	2,12	16,55
15	194	2,27	18,74
16	195	2,42	21,09
17	196	2,59	23,59
18	197	2,78	26,28
19	198	2,98	29,16
20	199	3,2	32,24
21	200	3,42	35,55
22	201	3,66	39,09



**Figure (III.1):** *la courbe altitude-capacité*



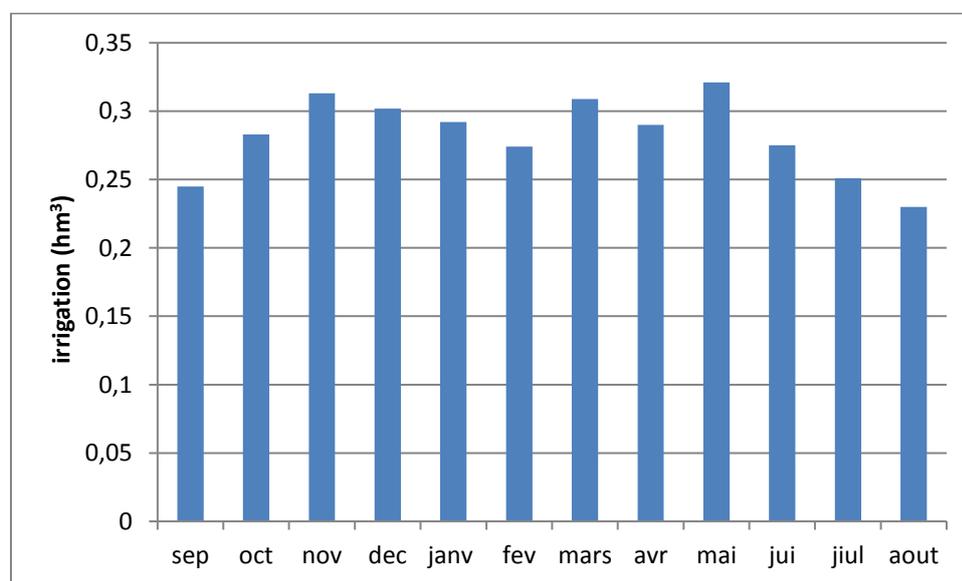
**Figure (III.2):** *la courbe altitude-surface*

### III.2.2. Estimation des restitutions:

Les besoins en eau du palmier sont faibles en décembre et Janvier et augmentent pour atteindre leur maximum au cours des mois de l'été (juillet-août-septembre). Le taux moyen d'irrigation est de 20 000 m<sup>3</sup>/ha pour la variété Deglet Nour, le besoin net n'est que de 15 714 m<sup>3</sup>/ha. Le rythme d'irrigation doit être, pour Deglet Nour adulte, de 6 à 7 jours en « juillet-août- septembre », de 10 jours en « mars-avril-mai-juin-octobre », de 12 jours en « février et novembre » et de 15 à 21 jours en « décembre-janvier » (Krimil, 2008). Le tableau III.3 montre les besoins moyens, max des irrigations des palmiers durant toute l'année.

**Tableau III.2:** *Le taux mensuels de l'irrigation*

mois	sep	oct	nov	dec	janv	fev	mar	avr	mai	jui	jiul	aout	annuel
irrigation (Hm3)	0.24	0.28	0.31	0.30	0.29	0.27	0.30	0.29	0.32	0.27	0.25	0.23	3.38
%	7.23	8.36	9.24	8.92	8.62	8.09	9.12	8.56	9.48	8.12	7.41	6.79	100



**Figure (III.3):** *Taux mensuels de l'irrigation*

Sachant que les besoins d'eau d'irrigation d'un seul palmier si de l'ordre de 200 m<sup>3</sup>/an en considérant qu'un hectare peut contenir au moyenne 100 palmiers, l'objectif est

d'irriguer une superficie de 800 hectare contenir 80 000 palmier d'où les besoin sous de l'ordre 16 000 000 m<sup>3</sup>/an avec un coefficient de restitution

$$\alpha = \frac{A_{80\%}}{V_0} = \frac{16\,000\,000}{25\,129\,000} = 0.637$$

Il a été réalisé lors de la construction du barrage de Foug El Gherza qui sert à l'irrigation de la palmeraie de Sidi Okba et des communes Garta, Thouda et Seriana (Ifagraria, 1966). Dans son ensemble, le réseau est constitué, d'ouvrages de prise comprennent trois vannes-guillotines, échelonnées à des cotes différentes, dans une tour de prise (figure 04). L'eau passe à travers une usine électrique avant d'être destinée à une utilisation agricole (figure 05).



**Figure (III.4):** Le canal d'irrigation du barrage de Foug El Gherza et conduite forcé

### III.2.3. Garantie de satisfaction des besoins:

La garantie  $P(\%)$ , est une moyenne pondérée entre celle de l'irrigation qui est de l'ordre de 80%,

$$P\%_{moy}: 80\%$$

$P(\%)$  : La Garantie sommaire de satisfaction des deux restitutions ; AEP et irrigation.

$P(\%)_{irr}$  : Garantie de satisfaction de l'irrigation [  $P(\%)_{irr} = 80\%$  ]

### III.2.4. Choix de type de la régularisation:

Le choix de type de la régularisation dépend du volume de la restitution à satisfaire par rapport à celui de l'écoulement, dont la fréquence est égale à la garantie sommaire des deux restitutions ( $P=80\%$ ). Le volume d'eau de la restitution est égal à  $25\,129\,000\text{ m}^3$ , alors que celui de l'écoulement est de l'ordre de  $9\,606\,817\text{ m}^3$ . Puisque le volume de la restitution est nettement supérieur à celui de l'écoulement, la régularisation est interannuelle. Le barrage doit avoir un volume utile suffisant pour stocker les excédents d'eau pour couvrir les déficits des années suivantes.

### III.3. Régularisation interannuelle:

La régularisation interannuelle s'effectue par la répartition de l'eau stockée dans le barrage durant plusieurs années ( $n \geq 2$ ), et elle a pour but la satisfaction de la restitution garantie durant un groupe d'années sèches déficitaires. Puisque la série des données sur l'écoulement est courte (de 66 années), d'où la difficulté de montrer toutes les possibilités de groupes d'années sèches. Alors, La méthode de Monté Carlo permet de modéliser une série longue, ayant la même répartition dynamique et des paramètres statistiques.

#### III.3.1. Principe de la méthode de modélisation statistique de Monte-Carlo:

Cette méthode consiste dans la création d'un modèle statistique de l'écoulement vraisemblable à l'échantillon de base. La longue série hydrologique est créée théoriquement par simulation du processus de l'écoulement fluvial. Pour réaliser cette simulation, il faut connaître les paramètres statistiques de la série observée.

Selon S.N.Kritsky et M.F.Menkel, la modélisation statistique des séries hydrologiques est fondée sur les hypothèses suivantes [17]:

1. On donne la loi de distribution des probabilités des valeurs examinées.(écoulement)
2. On prend en considération la corrélation entre les membres contigus de la série, en donnant une valeur du coefficient de l'auto corrélation.

La méthode de la modélisation comprend les opérations suivantes :

1. la construction de la courbe des fréquences des valeurs hydrologiques (loi Binomiale, Gamma III).
2. le tirage au sort des nombres aléatoires est transformé par une série des fréquences.

#### III.3.2. Estimation du volume utile du barrage en tenant compte des pertes:

Pour effectuer cette estimation, on applique la méthode de Modélisation statistique fondée sur la méthode de Monte-Carlo, pour les paramètres statistiques de la série d'observations sont:

La moyenne	$\bar{E} = 19,33$
Le coef de variation	$C_v = 1,076$
Le coef d'asymétrie	$C_s = 4,872$
Le coef d'autocoreletion	$r = 0,048$

### III.3.2.1. Estimation du coefficient de restitution:

Dans la pratique des calculs de régularisation, on utilise les valeurs relatives de l'écoulement sous forme de module d'écoulement  $k_i = \frac{E_i}{\bar{E}}$  soit le rapport de l'écoulement d'une année quelconque  $E_i$  sur l'écoulement moyen  $\bar{E}$  et celui de la restitution sous forme de coefficient de la restitution  $\alpha = \frac{U_{besoin}}{\bar{E}}$ , soit le rapport du volume de la restitution  $U_{besoin}$  sur l'écoulement moyen  $\bar{E}$ .

Le coefficient de régularisation est  $\alpha = \frac{16\,000\,000}{25\,129\,000} = 0.637$

le coefficient de restitution  $\alpha_{net} = 0.637$  pour tenir as perte d'eau dans le barrage, l'expérience a montré, qu'on doit majorer la valeur de la restitution d'un taux égal ou supérieure a 20% pour obtenu la valeur de coefficient de restitution brute  $\alpha_{br} = 1.2 * \alpha_{net}$

$$\alpha_{brut} = 1.2 \times \alpha_{net} = 0.764$$

### III.3.2.2. Modélisation d'une longue série des écoulements:

La pratique de modélisation statistique s'est distinguée durant le milieu, et la fin du XX siècle et a permis de résoudre beaucoup de question, que la théorie n'a pas répondu, notamment dans le domaine des corrections des paramètres statistiques et l'identification de certaines caractéristiques statistiques. En principe, la simulation de quelques milliers suffit. Nous avons modélisé une série de 10 000 ans, par le programme mis au point par le Pr Bolgov de l'Institut des Problèmes de l'Eau de la Fédération de Russie .

Le programme, sur de la base des données suivantes : le coefficient d'autocorrélation, le coefficient de variation et le rapport  $C_s/C_v$ , on modélise la longue série (10 000 ans) des écoulements sous forme de modules d'écoulement  $k_i$ , qui vérifie les mêmes valeurs des paramètres statistiques de ceux de l'échantillon de référence.

### III.3.2.3. Analyse statistique des déficits cumulés:

La différence entre l'écoulement  $k_i$  et la restitution  $\alpha_i k_i - \alpha_{brut}$  peut être positive, comme elle peut être négative. Ce sont les différences négatives, qui sont prises en considération puisqu'elles expriment les volumes des déficits à combler. Ces déficits peuvent être limités à une année ou cumulés sur plusieurs années consécutives. Ainsi, on obtient une série des déficits cumulés, qu'on doit traiter statistiquement.

Le déterminant des déficits a permis l'optimum d'une série à 2157 déficits cumulés en enregistrer Durant la durée de 10 000 an

Le tableau (III.3) illustre les opérations de détermination de la série des déficits cumulés, de  $n = 2157$

**Tableau(III.3) : Illustrations des étapes de détermination de la série des cumules des déficits**

Année	$K_i$	$\alpha$	$A_{brut} = 1.2 * \alpha$	$K_i - \alpha_{brut}$	Déf
1	0,580	0,637	0,764	-0,184	....
2	0,586	0,637	0,764	-0,178	....
3	0,556	0,637	0,764	-0,208	.....
4	0,559	0,637	0,764	-0,205	.....
5	0,615	0,637	0,764	-0,149	.....
6	0,556	0,637	0,764	-0,208	-1,132
7	2,383	0,637	0,764	1,619	.....
8	0,557	0,637	0,764	-0,207	-0,207
9	0,865	0,637	0,764	0,101	.....
10	0,558	0,637	0,764	-0,206	-0,206
11	1,090	0,637	0,764	0,326	.....
12	0,582	0,637	0,764	-0,182	.....
14	0,556	0,637	0,764	-0,208	.....
15	0,580	0,637	0,764	-0,184	-0,573
16	0,764	0,637	0,764	0,000	.....
17	0,554	0,637	0,764	-0,210	-0,210

### III.3.2.4. Détermination du volume utile:

Après avoir déterminé la série des déficits cumulés (2157), on construit la courbe des fréquences empiriques des fréquences, (figur III 3)

Il y a possibilité de déterminer le volume utile, directement de la courbe empiriques des déficits cumulés ou par traitement statistique de ces derniers, en adoptant la loi binomiale Gamma III.

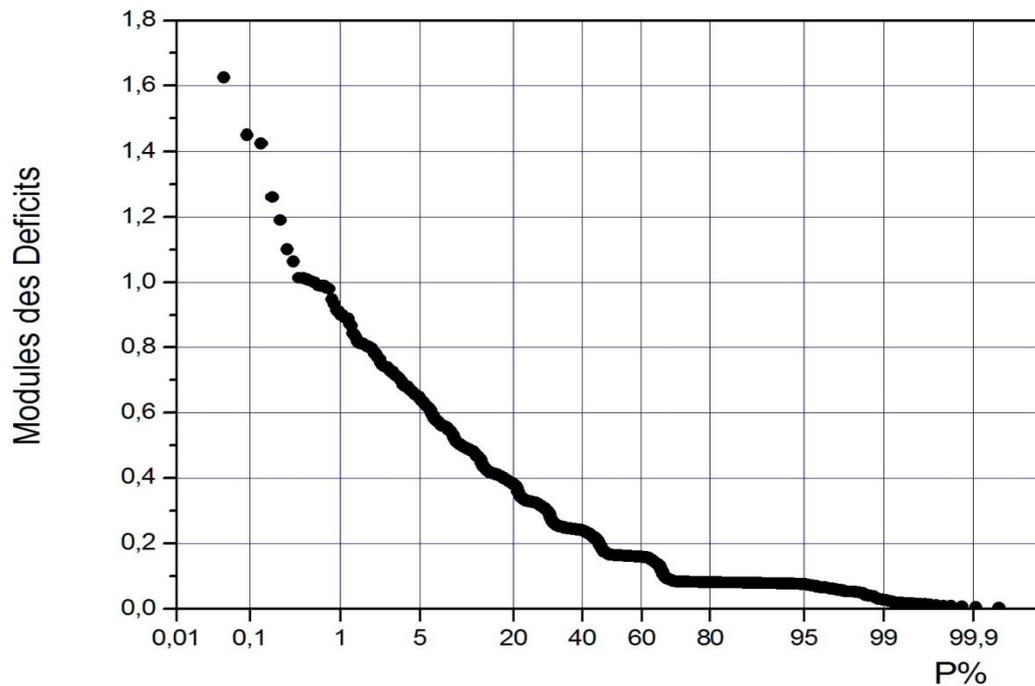


Figure (III.5) : courbe empirique des fréquences

#### 1).Methode graphique

Déterminant de la valeur utile a partir de la courbe de fréquence consiste la valeur

$$V_{\text{util } 80\%} = \text{Def}_{100\%-80\%} = \text{Def}_{20\%}$$

Pour la fréquence 20% on lie la valeur  $\text{Def}_{20\%} = 0,382$

Pour la valeur du volume utile

$$V_{\text{util } 80\%} = \text{Def}_{20\%} \cdot V_0$$

$$= 0,382 \cdot 25\,129\,000$$

$$V_{\text{utile } 80\%} = 9\,606\,817 \text{ m}^3$$

Vu que la série des volumes des déficits cumulés est suffisamment longue, on peut tirer le volume correspondant à la fréquence complémentaire 100-P%.

Soit  $D_{100-P\%} = 9\,606\,817\text{m}^3$  qui correspond au volume utile  $V_{u\,80\%}$ , tirée de la courbe empirique.

## 2).Methode analyse:

L'analyse statistique de la série des déficits, à permis ..... les valeurs des paramètres statistique :

- le coef de variation  $C_v = 0.801$
- le coef d'asymétrie  $C_s = 1.80$
- la moyenne des déficits  $\overline{Def} = 0.241$

Alor, d'après la loi de Gamma III obtenu le nombre de foster 20% = 064 est le déficit .....  $Def_{20\%} = (F_{20\%} \cdot C_v + 1)$

$$Def_{20\%} = (064 * 0.801 + 1) = 0.364$$

La valeur de volume utile :

$$\begin{aligned} V_{80\%} &= Def_{20\%} \cdot E \\ &= 0.364 * 25\,129\,000 \end{aligned}$$

$$V_{80\%} = 9\,160\,682\text{ m}^3$$

Détermination de coefficient de variation ainsi le coefficient d'asymétrie de la série des cumules des déficits.

$$C_v = 0.801$$

$$C_s = 1.80$$

A l'aide de la table de Rébkiné-Foster, la variable réduite qui correspond à une probabilité de l'ordre de P = 20 %, et un coefficient d'asymétrie de l'ordre de  $C_s = 1.80$

$$F_{20\%} = 0,64$$

Le volume utile est egal

$$\begin{aligned} V_u &= D_{20\%} * \bar{E} \\ D_{20\%} &= (F_{20\%} \cdot C_v + 1) \end{aligned}$$

avec :

$D_{20\%}$  : Déficit de 20% , en  $\text{m}^3$

$F_{20\%}$  : Constante de Foster Rebkiné

$C_v$  : Coefficient de variation de la série des déficits

$\bar{D}$  : Déficit cumulé moyen

Le volume utile est de l'ordre de :

$$V_u = 9\,160\,682\text{ m}^3$$

On va choisir le volume tirée de la courbe empirique qui correspond à  $9\,606\,817\text{ m}^3$

### III.4. Estimation de l'écoulement solide:

Le transport solide est l'une des questions hydrologiques les plus complexes et les moins étudiées. Sur le plan méthodologique, les mesures du transport solide ne répondent encore aux besoins de projection des ouvrages hydrotechniques, notamment le dimensionnement et la protection des barrages.

L'absence de données vraisemblable sur le transport solide, nous oblige à accepter toute formule empirique qui donne un ordre de grandeur acceptable de l'écoulement solide. Nous pensons que les formules tirées au guide maghrébin pour l'exécution des études et des travaux de retenues collinaires, éditée par le P.N.U.D. /O.P.E. en mai 1987, peuvent donner un ordre de grandeur acceptable. Parmi ces formules, on peut considérer celle de Tixeront, qui est recommandée pour la région de l'Est algérien pour l'évaluation du taux d'abrasion [22]:

$$T_a = 92 L_e^{0.21}$$

avec

$T_a$  : Taux d'abrasion (T/km<sup>2</sup>/an).

$L_e = \frac{\bar{E}}{S}$  : Lamme d'eau écoulée (mm)

Le taux d'abrasion est de l'ordre :

$$T_a = 172 \text{ T / Km}^2 / \text{ an}$$

En tenant compte du poids spécifiques moyen des sédiments  $\gamma = 1.5 \text{ T/ m}^3$ . Le volume solide annuel est exprime comme suit :

$$V_s = \frac{T_a \cdot S}{\gamma}$$

Le volume solide moyenne interannuel est de l'ordre de :

$$V_s = 139 \text{ 750 m}^3 / \text{ ans}$$

Le volume mort est calculés par la formule de tixeron [22]:

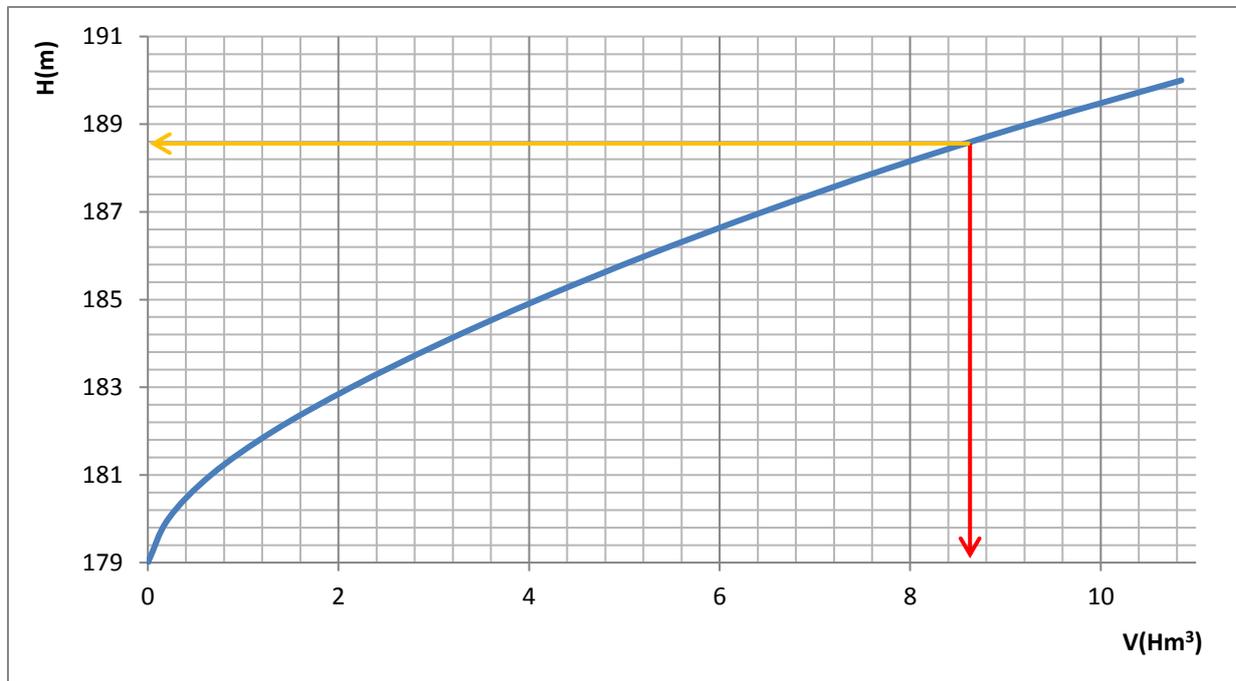
$$V_m = V_s \cdot T_s$$

avec

$T_s$  : durée de service normale de barrage ,

Le volume mort est de l'ordre de :

$$V_M = 8\,400\,000 \text{ m}^3$$



**Figure (III.6) :** Détermination de Niveau du volume mort

L'analyse graphique a permis de déterminer le niveau mort correspondant  $NVM = 9.6$  m, soit à la côte 188,6 m.

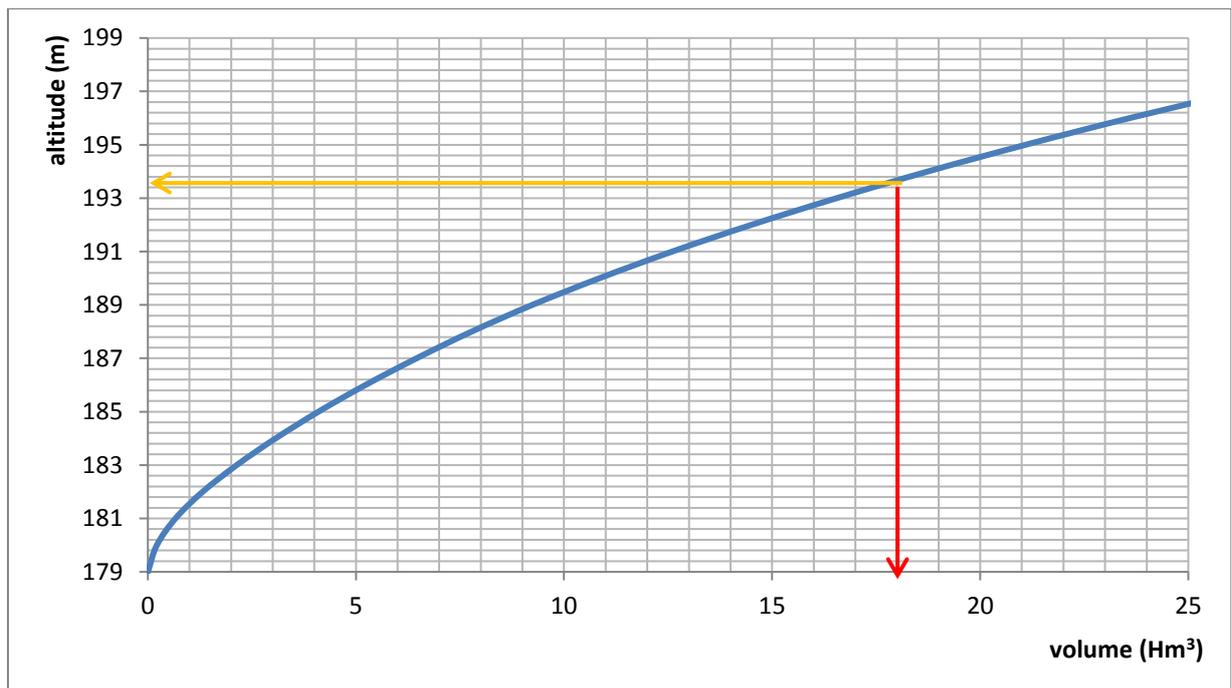
le volume total du barrage est la somme du volume utile et du volume mort

$$V_t = V_u + V_m$$

$$V_t = 18\,000\,000 \text{ m}^3$$

### III.5. Détermination du Niveau Normal de la retenue:

A partir de la courbe  $H = f(V)$ , on tire la valeur du Niveau Normal (NN). (Figure III.6)



**Figure (III.7) :** courbe (Altitude-Volumes),  $H = f(V)$

A partir de la courbe (altitude-volume), le niveau normal de la retenue est égal à  $NNR = 14.66m$

- le volume normal de la retenue est de l'ordre de :  $VNNR = 18\ 000\ 000\ m^3$
- la cote au niveau normal de la retenue est de l'ordre de :  $NNR = 193.66m.NGA$
- la cote au niveau du volume mort est de l'ordre de :  $NVM = 188.6m.NGA$

**III.6. Conclusion:**

Dans ce chapitre on a estimé les restitutions et la garantie de la satisfaction des besoins qui nous ont permis le choix de la régularisation de l'écoulement.

La modélisation statistique de monté-carlo nous a permis d'estimer :

le volume utile du barrage qui est égale à  $V_u = 9\,606\,817\text{m}^3$

le volume mort qui est de l'ordre de  $V_m = 8\,400\,000\text{m}^3$

le volume total qui est égale à  $V_t = 18\,006\,817\text{m}^3$

La courbe  $H=f(V)$  nous donne la hauteur totale du barrage qui est de l'ordre de 14.66. et a partir de cette courbe on estime la cote au niveau normal de la retenue est de l'ordre de :  $\text{NNR} = 193.66\text{m.NGA}$ .

**Chapitre IV:**

**Simulation du  
laminage des crues**

### IV.1.Introduction

Les calculs du laminage des crues pluviales représentent est l'outil d'analyse indispensable pour le dimensionnement de l'évacuateur des hautes eaux des crues. Le volume de laminage est la capacité située au dessus du niveau normal (NN) qui permet de stocker temporairement une partie du volume de la crue.

### IV.2. Choix de la crue du projet:

Le choix au préalable de l'hydrogramme de la crue du projet dépend avant tout de la garantie accordée à l'exploitation sécurisée du barrage qui dépend de la durée de vie de celui-ci (durée de l'envasement total du barrage par les sédiments). Les calculs de l'envasement ont montré que ce volume sera envasé après 90ans. Ceci n'empêche pas l'apparition de la crue centennale pendant cet intervalle de temps. Les calculs de laminage sont réalisés pour les fréquences  $P=0.1\%$  et  $P=1\%$ , Les valeurs des débits maximums correspondants sont :

$$Q_{1\%} = 966 \text{ m}^3/\text{s} \text{ et } Q_{0.1} = 1872 \text{ m}^3/\text{s}$$

### IV.3. Le choix de la largeur du déversoir:

Le laminage de la crue s'effectue par le volume forcé du barrage, conçu spécialement pour amortir l'intense afflux des eaux de la crue et réduire le débit maximum, jusqu'à une valeur acceptable qui ne cause pas d'inondations en zone avale. Par conséquent, il faut au préalable déterminer le volume de cette capacité réservé pour le laminage et choisir la largeur du déversoir, permettant le passage du débit déversé pour une charge raisonnable ( $h \leq 1$ ) (niveau d'eau) sur le seuil du déversoir.

Lors du laminage les caractéristiques de l'hydrogramme de la crue subissent une transformation quantitative qui s'exprime par une diminution du débit maximum et par une augmentation des temps de montée et de base T.

Le débit maximum laminé ( $Q_{max,l}$ ) et le débit maximum de la crue sont analytiquement liés par:

$$Q_{l,max} = r * Q_{max}$$

Pour l'estimation débit laminé, on utilise la formule suivante :

$$Q_l = m \cdot b_d \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot H^{2/3} \dots \dots \dots \text{(IV.1)}$$

avec:

$Q$  : Débit de laminage ( $m^3/s$ ).

$H_e$  : Charge hydraulique, au-dessus du déversoir où la lame laminé (m).

$b_d$ : Largeur du déversoir (m)

$m$  : coefficient du débit , avec  $m=4.82$

exprimé par la formule suivante sachant que le coefficient du degré  $r_1$ [19]:

avec:

$r_l$  : Degrés de laminage

$K_{min}$  : Coefficient minimal de la forme du l'hydrogramme de crue, avec,  $K_{min}=2$

$K$  : Coefficient de forme de l'hydrogramme de crue, avec,  $K = m_s + 1$

$V_c$  : Volume de la crue ( $m^3$ )

$V_l$  : Volume laminée ( $m^3$ )

On pose  $= \left(\frac{V_l}{V_c}\right)$ , la formule sera exprimée comme suite:\*

$$r_1 = \frac{K_{min}}{k * \left(\frac{V_c}{V_c - V_l}\right) - (k - k_{min})} \dots \dots \dots \text{(IV.2)}$$

avec :

$\tau$ : Taux de laminage.

Sachant que le volume de la crue pour une fréquence  $P=1\%$ , et  $V_c = 56030 m^3$ ,

Pour le calcul de la formule (IV.3), on doit générer des valeurs de  $V_c$ , d'une manière

aléatoire, afin de trouver des volumes laminés, pour déduire la hauteur du déversoir. A savoir que le volume de niveau normal de la retenue  $56036 m^3$  la hauteur au-dessus est donner par la courbe bathygraphique  $V = f ( H )$  illustrer sur la figure suivante :

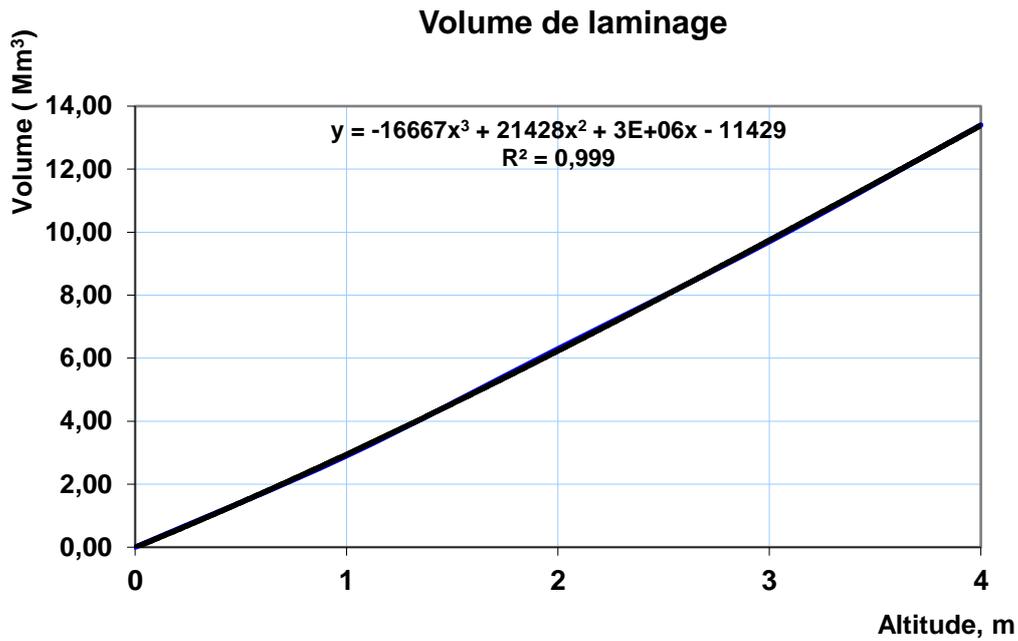


Figure (IV.1) : courbe (Altitude-Volumes),  $V = f ( H )$

On calcule le débit laminé par la relation :

$$Q_l = r_l \cdot Q_{p\%} \dots\dots\dots (IV.3)$$

On supposant  $H_e$  , on peut trouver la largeur du déversoir  $b_d$  en se basant sur la formule (IV.5)

$$b_d = \frac{Q_l}{m\sqrt{2 \cdot g} H^{2/3}} \dots\dots\dots (IV.4)$$

Les largeurs proposées à choisir sont présentées sur le tableau ci-dessus:

Charge (m)	$V_l$ (Mm <sup>3</sup> )	r	$Q_l$ (m <sup>3</sup> /s)	$b_d$
3,800	13,6	0,368	689,56	50,04
3,900	14,0	0,358	670,47	46,79
<b>4,000</b>	<b>14,4</b>	<b>0,348</b>	<b>651,82</b>	<b>43,80</b>
4,100	14,7	0,338	633,61	41,02
4,200	15,1	0,329	615,82	38,46
4,300	15,5	0,320	598,45	36,08
4,400	15,9	0,311	581,48	33,87
4,500	16,3	0,302	564,91	31,81
4,600	16,7	0,293	548,72	29,90
4,700	17,1	0,285	532,91	28,11
4,800	17,5	0,276	517,46	26,45
4,900	17,9	0,268	502,37	24,90
5,000	18,3	0,260	487,63	23,44
5,100	18,7	0,253	473,24	22,09
5,200	19,0	0,245	459,17	20,81
5,300	19,4	0,238	445,43	19,62
5,400	19,8	0,231	432,01	18,51
5,500	20,2	0,224	418,90	17,46
5,600	20,6	0,217	406,09	16,47
5,700	21,0	0,210	393,58	15,55
5,800	21,3	0,204	381,36	14,68
5,900	21,7	0,197	369,42	13,86
6,000	22,1	0,191	357,76	13,08
6,100	22,5	0,185	346,37	12,36
6,200	22,9	0,179	335,24	11,67
6,300	23,2	0,173	324,37	11,03
6,400	23,6	0,168	313,75	10,42
6,500	24,0	0,162	303,38	9,84
6,600	24,3	0,157	293,25	9,30
6,700	24,7	0,151	283,36	8,78
6,800	25,1	0,146	273,71	8,30

**Tableau (IV.1) : Largeurs du déversoir proposé pour le choix.**

Parmi les résultats de ce tableau, le bon choix de la hauteur et la largeur du déversoir, sera celui qui donne un bon degré de laminage de 2/3, et une largeur non exagérer. Donc, on porte le choix final aux résultats suivants :

$$r_1 = \mathbf{0,348} \quad , H_1 = \mathbf{4m} \quad , b_d = \mathbf{43,80m} \quad Q_1 = \mathbf{651,82(m^3/s)}$$

On représente les résultats sur la figure suivante :

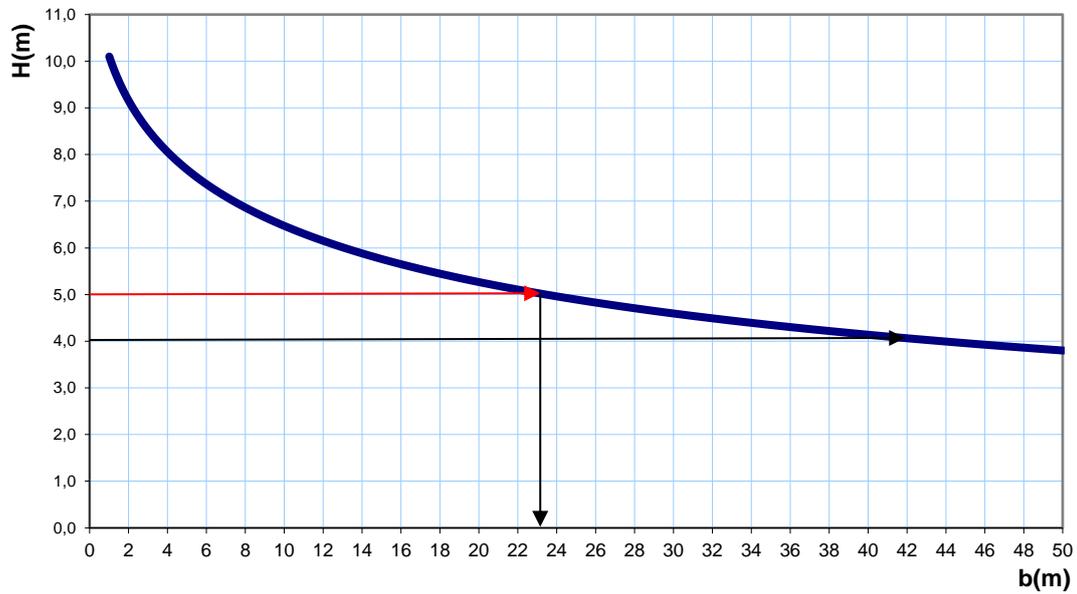


Figure (IV.2) : dépendance de la charge en fonction de la largeur de l'évacuateur de crues

#### IV.4. Les caractéristiques de l'hydrogramme laminé:

##### 1. Temps de montée:

Il est exprimé par la formule suivante[12].

$$T' = t_m \cdot (\gamma' + 1) \dots \dots \dots (IV.5)$$

avec:

$T'$  : Temps de base de l'hydrogramme laminé (h)

$t_m'$  : Temps de base de l'hydrogramme de crue (h)

$\gamma'$ : Degrés de laminage

**2. Temps de base:**

Il est exprimé par la formule suivante[12].

$$t' = t_m \left[ 1 + \left( \gamma * \left( 1 - r_l^{\frac{1}{m}} \right) \right) \right] - 1 \dots\dots\dots(\text{IV.6})$$

avec :

$$\gamma' = \left[ \frac{\gamma + 1}{r_l * \left( 1 + \gamma \left( 1 - r_l^{\frac{1}{m}} \right) \right)} \right] \dots\dots\dots(\text{IV.7})$$

$t'_m$  : Temps de monté de l'hydrogramme laminés (h)

$m$  : Coefficient de forme de l'hydrogramme de crue dans la formule de Béjaia'2000.

$t_m$ : Temps de monté dans l'hydrogramme de crue (h)

$\gamma$  : Coefficient qui correspond au rapport entre le temps de décrue et le temps de monté de l'hydrogramme de crue ou  $\gamma = \frac{t_d}{t_m}$

$r_l$ : Degrés de laminage

**3. Temps de décrue:**

Il est exprimé par la formule suivante [12] :

$$t'_d = T' - t'_m \dots\dots\dots(\text{IV.8})$$

avec:

$t'_d$  : Temps de décrue de hydrogramme laminé (h).

$T'$  : Temps de base de l'hydrogramme laminé (h)

$t'_m$  : Temps de monté de l'hydrogramme laminé (h)

**4. Coefficient de forme de Bejaia:**

Il est exprimé par la formule suivante [12] :

$$m'_b = \left( \frac{m'_s + 1}{r_1} \right) - 1 \dots \dots \dots \text{(IV.9)}$$

avec:

$m'_b$  : Coefficient de forme de l'hydrogramme de crue laminé de Bejaia

$m'_s$  : Coefficient de forme de l'hydrogramme de crue dans la formule de Béjaia'2000.

$r_1$  : Degrés de laminage

Les résultats de calcul des caractéristiques de l'hydrogramme laminé sont illustrés dans le tableau ci-dessous :

	$T'$ (h)	$t'$ (h)	$t'_d$ (h)	$m'_b$
$Q_{1\%}$	58.47	8.70	20.98	4.7

**Tableau (IV.2) :** résultats de calcul les caractéristiques de l'hydrogramme laminé

L'hydrogramme de crue du projet laminé selon **Ladjel** est exprimé par [12] :

1. Pour la phase de monté

$$Q_1(t) = Q_{IP\%} \left( \sin \left( \frac{\pi}{2} * \left( \frac{t}{t_m} \right)^{m'_s} \right) \right) \dots \dots \dots \text{(IV.10)}$$

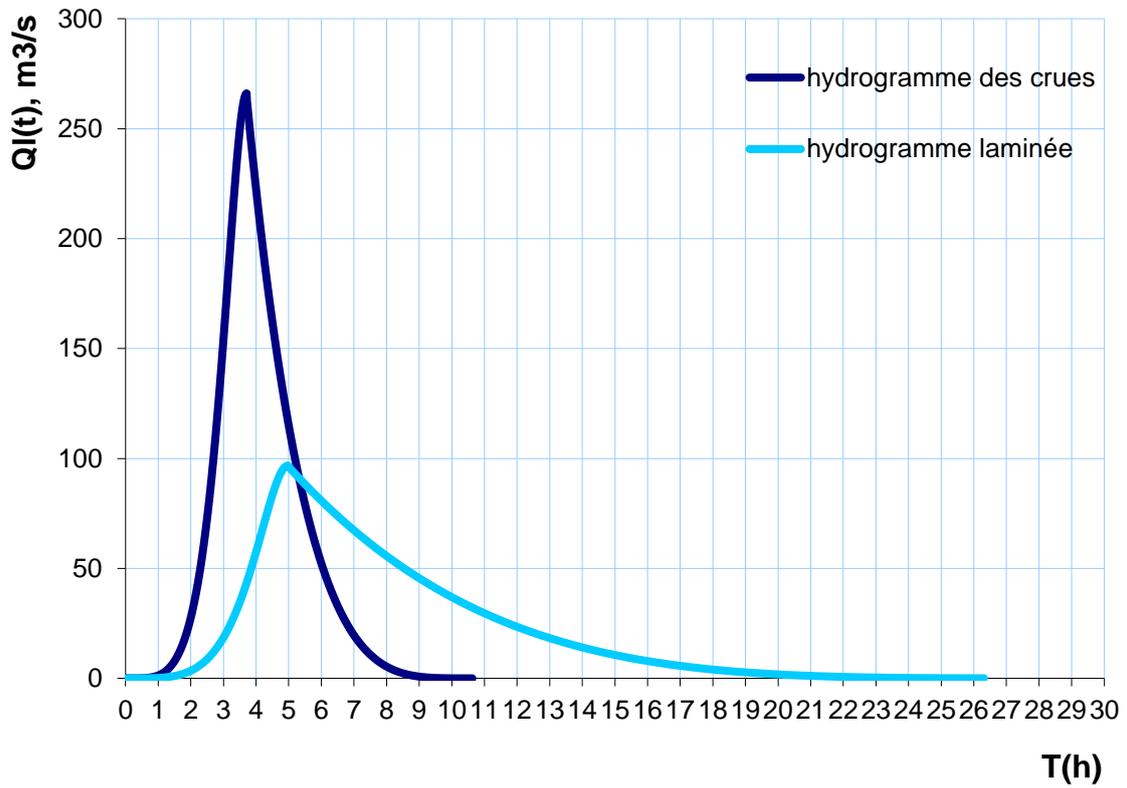
2. Pour le temps de décrue

$$Q_t(t) = Q_{IP\%} \left( \frac{t'_d - t}{t'_d} \right)^{n'_s} \dots \dots \dots \text{(IV.11)}$$

L'exposant de la branche de montée de la crue laminée et de la branche de décrue selon la formule de « **Bejaia 2000** » sont égaux, et sont exprimés par:

$$m'_s = n'_s = \frac{3.6 \times Q_{IP\%} \times T'}{L_{eP\%} \times S} \dots\dots\dots(IV.12)$$

Le tracé des hydrogrammes laminé son illustré dans la figure (IV.3)



**Figure (IV.3) :** hydrogramme laminé à la fréquence P=1%

**IV.5.Conclusion :**

Les calculs de laminage ont été effectués, dans le but de déterminer le débit laminé réduit par rapport au débit maximum de la crue de projet, qui doit transiter à travers le déversoir sans que l'eau ne cause un déséquilibre à l'ouvrage. Nous avons proposé une méthode développée en Algérie, que nous avons amélioré par certaines corrections de certaines caractéristiques, comme le degré de laminage, le temps de montée et le temps de décrue de l'hydrogramme de la crue laminée, pour le projeter vraisemblablement de l'hydrogramme laminé.

La projection de l'hydrogramme de la crue laminée est particulièrement conditionnée par la détermination des caractéristiques temporaires, c'est-à-dire le temps de montée, le temps de décrue et par un débit maximum laminé qu'il faut estimer. Ces caractéristiques sont estimées par les formules proposées par Ladjel. D'autre part, nous avons corrigé, les équations pour la projection des courbes de montée et de décrue, par l'introduction des exposants ( $m$ 's et  $n$ 's), exprimés analytiquement. Finalement, nous avons construit l'hydrogramme laminé pour une fréquence  $P=1\%$ .

Sur la base des calculs hydrologiques, nous avons déterminé les différents niveaux d'eau dans le barrage.

## Conclusion générale

Le développement de l'agriculture dans la région de Sidi Okba est conditionné impérativement par la pérennité des ressources en eau et leur possibilité d'utilisation dans le temps. Les palmeraies constituent la principale ressource de l'agriculture saharienne. Cette région du Sud algérien représente un potentiel de production important. De nombreuses contraintes limitent de façon durable son développement, contraintes liées au milieu physique des oasis mais aussi aux moyens logistiques mis en place. En effet, la plupart des zones de palmeraies connaissent d'énormes problèmes liés directement aux conditions naturelles de la région (forte évaporation, salinité des sols) et la mauvaise exploitation hydro-agricole (travaux culturaux et entretien, mode d'irrigation).

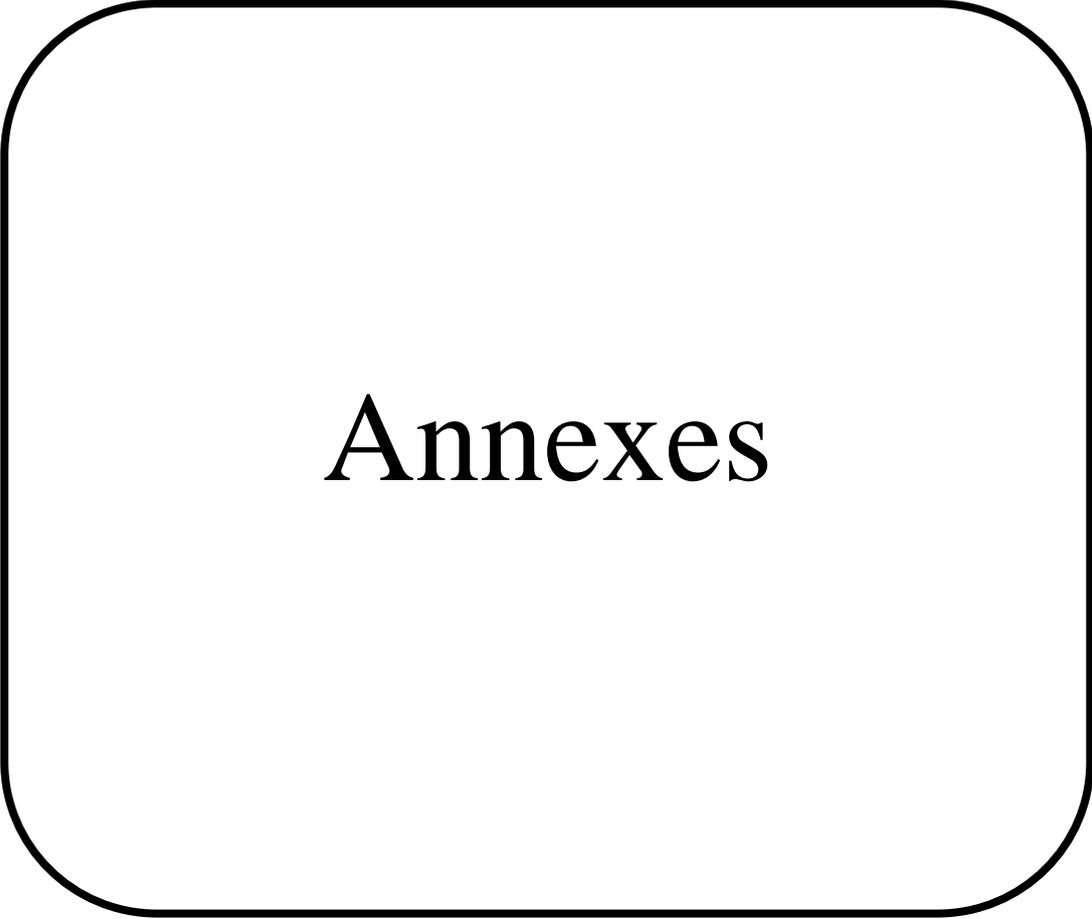
Après l'étude faite dans ce travail et grâce à l'aide de plusieurs logiciels, on a pu faire le dimensionnement hydrologique du barrage de Fom El Gherza (wilaya de Biskra) qui nous a permis de tirer les conclusions suivantes :

- La voûte et la culée rive gauche est entièrement fondées sur les calcaires maestrichtiens. Ceux-ci se présentent sous formes de bancs épais, parfois intercalés de bancs marneux.
- La surface du bassin versant est égale à 1300 km<sup>2</sup> et la longueur du thalweg est de l'ordre 106 km
- Les altitudes minimales, maximales et moyennes du bassin versant sont respectivement égales à 295m, 1170m, 2326m.
- La valeur de la pluie la pluie maximale journalière est égale à 32.6 mm
- La valeur de l'écoulement moyen inter annuel qui est égale 19.3 Mm<sup>3</sup>
- Le volume mort est de l'ordre de 8 400 000 m<sup>3</sup> le long de 60 ans d'exploitation
- Le volume utile du barrage de Fom El Gherza est de l'ordre de 9 606 817 m<sup>3</sup>
- Le niveau normal de la retenue est fixé à la cote 779 m.NGA

# BIBLIOGRAPHIE

- [1]**Krimil F., (2008)**, Essai de modélisation de la gestion du barrage de Foug El Gherza (W. de Biskra), Thèse de magister, Faculté des sciences de l'ingénieur Département d'Hydraulique, université colonel El Hadj Lakhdar, Batna, Algérie.
- [2]**Sari Ahmed A. (2009)**, L'hydrologie de surface (cours), Editions Houma, Alger 2009
- [3]**ANBT**, Agence Nationale des Barrages et Transferts, Biskra Algérie
- [4]**ANRH**, Agence Nationale des ressources Hydrique
- [5]**Rodjestvensky et autre.,** « Correction des parametres statistique),Climatologie et hydrologie,p.70.1990
- [6]**Blokhinov E. G** – Distribution des probabilités des valeurs de l'écoulement fluvial, Académie des Sciences de l'URSS, Institut des Problèmes de l'Eau. Edition Naouka, 1974.
- [7]**Kritsky et Menkel-** A propos de l'utilisation de la méthode du maximum vraisemblance pour l'estimation des paramètres statistiques de l'écoulement fluvial. Edition de l'Academie des Sciences de l'URSS, 1949.
- [8]**Kritsky S. H, Menkel' M. F.,** " Les bases hydrologiques de la gestion des systèmes économiques d'eau",- M : la Science, 1982. – 271 s
- [9]**Taha B.M.J. O et al.,** " Synthèse des méthodes simples de régionalisation " Rapport préparé à l'attention de: Monsieur Marc Barbet, ing. M.Sc.A, Hydro-Québec Conception des aménagements de production, Hydraulique et Géotechnique, Novembre 2001.
- [10]**LADJEL. M.,** " Contribution to the development of a method of estimate of the time of concentration of the maximum flows of the rain risings ". Journal of Fundamental and Applied Sciences. ISSN 1112-9867, ICID: 1111580, 2014, 6(1), 56-65 p.
- [11] **Ladjel. M.,** " Méthode d'évaluation de la durée de ruissellement. (En russe) ". Conférence Internationale Scientifique et Technique- Problèmes actuels de la gestion de l'eau et de l'utilisation des ressources naturelles. 21 et 22 novembre 2007. Université de Rivne, Ukraine.

- [12] **LADJEL. M.**, "Projection des hydrogrammes des crues pluviales des oueds d'Algérie", (En langue russe). Journal hydrométéorologique de l'Ukraine, n° 5. Odessa, 2009.
- [13] **Befani A. N.** " Fondements de la théorie de l'écoulement pluvial ". Travaux de l'OGMI, Tome XIV, 1958, 309 p. (en langue russe).
- [14] **LADJEL. M.**, " Formule de calcul des débits maximums des crues pluviales «Béjaïa'2000 »", Journées portes ouvertes sur la spécialité d'hydraulique, le 24, 25 et 26 avril 2000, Université Abderrahmane Mira, Bejaia.
- [15] **SOKOLOVSKY D. L.** ." Streamflow". Guidrométéoizdat 1969 Leningrad.
- [16] **Sokolovsky D. L.** "Ecoulement fluvial ". Leningrad, Guidrométéoizdat, 1968, 538 p. (en langue russe).
- [17] **LADJEL. M.**, "Justification des puissances de Sokolovsky relatives à la projection des hydrogrammes des crues." Colloque International sur l'Eau et l'Environnement, le 7 et 8 décembre 2004. Alger.
- [18] **Kritsky, S.N., et Menkel, M.F.**, A propos des approches de recherches des variations de l'écoulement fluvial, Travaux de NIOU GOUGS, n°29, 1946.
- [19] **LADJEL. M.**, "Projection de l'hydrogramme de la crue de projet et de l'hydrogramme laminé." Premier Séminaire National sur les Sciences de la Terre au Service du Développement Durable, 26 et 27 avril 2004, Tebessa.
- [20]- Soutenu par M. Harizi Toufik- Contribution à la méthode d'évaluation hydrologique des potentialités de stockage des barrages et des retenues collinaires.Mémoire de Magistère. Université Labri Ben M'hidi de Oum El-Bouaghi, 09 juin 2014
- [21] **Benmia, K.**, " Evaluation de la performance des barrages de protection contre les inondations cas de la ville de Ghazaouet ", mémoire de magister en hydraulique, université Aboubakr Belkaïd Tlemcen, 2012.
- [22] **Ammari, A.**, " Vulnérabilité à l'Envasement des Barrages (Cas du bassin Hydrographique des Côtiers Algérois) " thèse de doctorat en science d'hydraulique, Université Mohamed Khider – Biskra, septembre 2012.
- [23] <https://fr.scribd.com/doc/147375637/Comblement-Des-Lacunes>

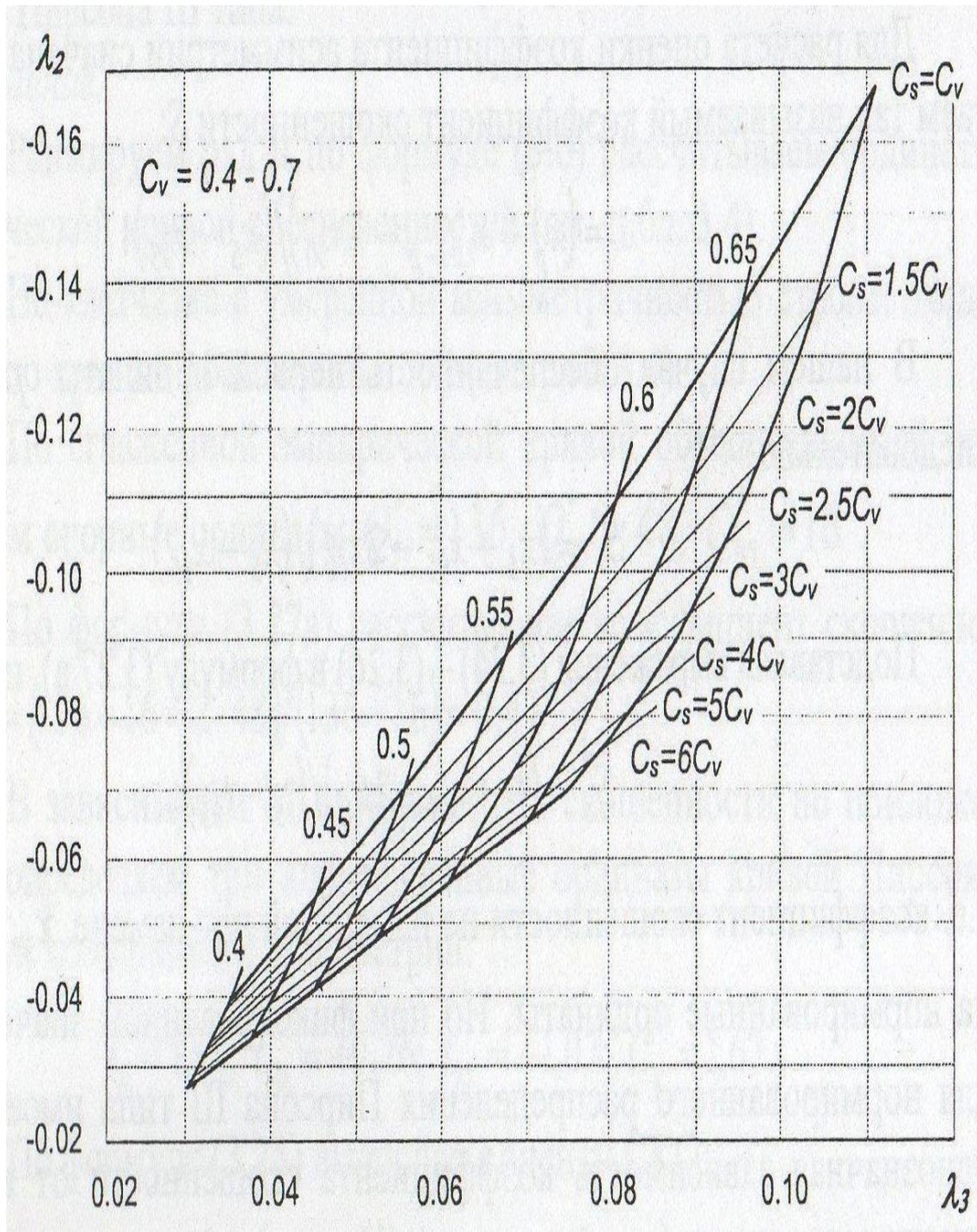


Annexes

## Annexe(01): Pluies maximales journalier

station	$P_{\max j S1(mm)}$	$P_{\max j S2(mm)}$	$P_{\max j S3(mm)}$	$P_{\max j S4(mm)}$
	Foum El Gherza	medina	T'Kout	Tifelfel
1973/1974	19,5	72,8	17,4	22,31
1974/1975	23,3	82,7	20,17	18
1975/1976	40	94,1	39,5	33,5
1976/1977	91,5	132,4	162	33
1977/1978	22,5	54,4	34,8	41
1978/1979	11	119,4	41,5	35
1979/1980	31	123,6	88,5	41,5
1980/1981	42,5	122,6	78,5	56
1981/1982	28	154,1	90,61	29
1982/1983	79,5	61,9	53,4	39
1983/1984	9	93,1	75,7	33
1984/1985	41	131,9	77,5	121
1985/1986	57,5	73	91,6	29,4
1986/1987	20	58,2	63,4	13
1987/1988	25,5	121,6	56,1	29,6
1988/1989	33,1	135,9	65,7	34,5
1989/1990	70,7	80,9	99,3	80,5
1990/1991	31,5	87,5	47,8	33,5
1991/1992	34,4	66,2	61,2	29
1992/1993	33,9	63,8	56,2	30
1993/1994	25	66,2	32,4	31,5
1994/1995	54,7	99,4	63,2	58
1995/1996	43,6	51,3	86,7	67,5
1996/1997	49,2	87,7	51,57	28,5
1997/1998	34,5	88	71,3	47
1998/1999	87,4	88,4	38	14,5
1999/2000	50,7	64,6	84	32,5
2000/2001	28,3	51,8	59,6	24,3
2001/2002	22,9	130	55,6	83
2002/2003	106,5	118,5	74,7	50
2003/2004	88,2	188,3	92,7	100,9
2004/2005	45,7	200,8	148	56
2005/2006	30,81	109,7	59	27,8
2006/2007	24,11	139,8	47,4	27,58
2007/2008	22,7	137,5	69,3	107,9
2008/2009	41,1	89,1	89,2	65
2009/2010	43,8	151,6	126	40
2010/2011	54,3	172,1	90,9	32,2

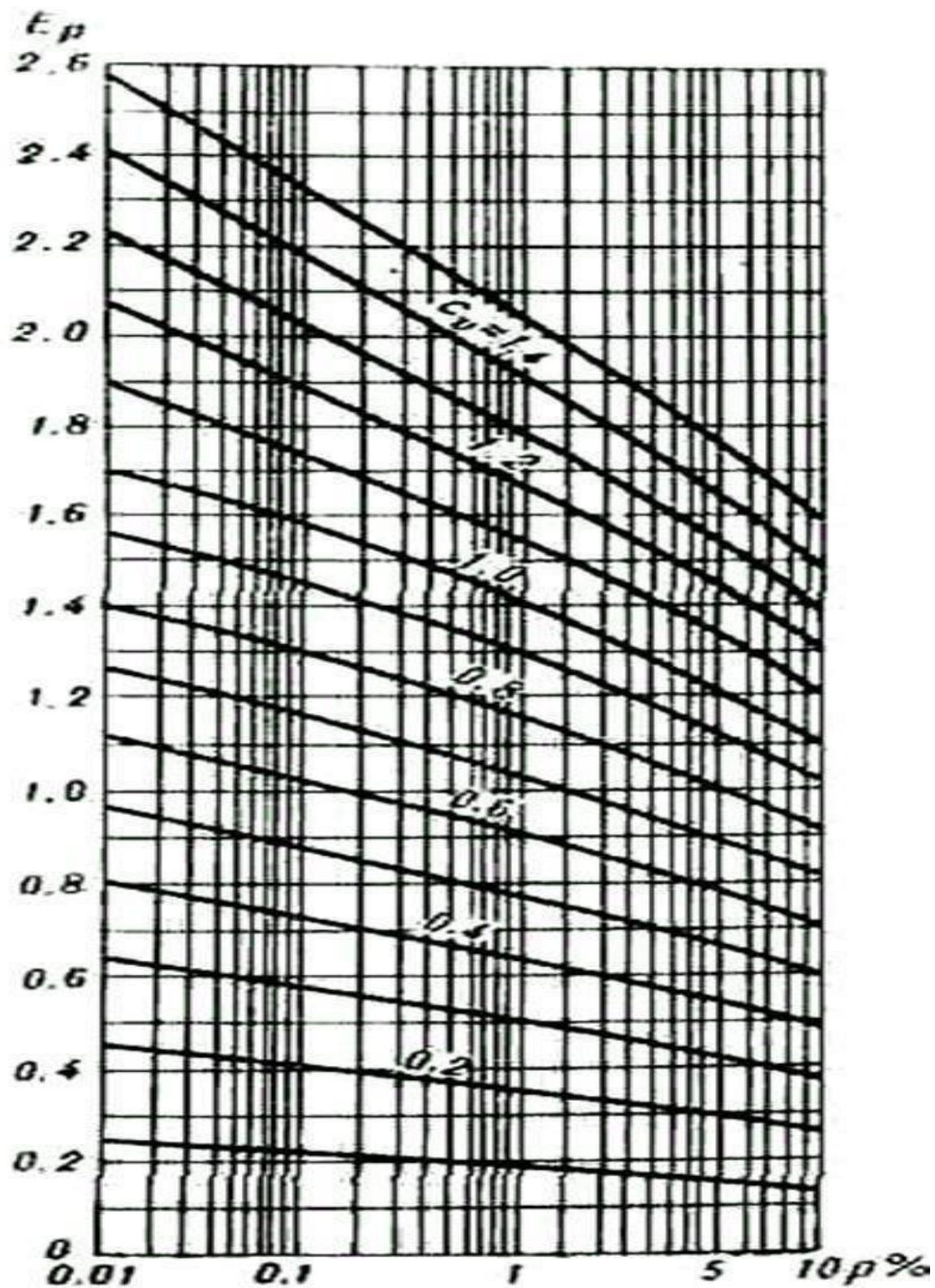
## Annexe 2 :

Abaque d'Alekseeve pour le calcul du  $C_v$  et  $C_s$

Annexe3: tableau d'alekseeve

$C_s$	$\frac{Q_p - \bar{Q}}{Q} = F_{(p,C_s)}$			$F_{5\%} - F_{95\%}$	$S = \frac{X_{5\%} - X_{95\%} - 2X_{95\%}}{X_{5\%} - X_{95\%}}$
	$F_{5\%}$	$F_{50\%}$	$F_{95\%}$		
0.0	1.64	0.00	-1.64	3.28	0.00
0.1	1.67	-0.02	-1.61	3.28	0.03
0.2	1.70	-0.03	-1.58	3.28	0.06
0.3	1.72	-0.05	-1.55	3.27	0.08
0.7	1.82	-0.12	-1.42	3.24	0.20
0.8	1.84	-0.13	-1.38	3.22	0.22
0.9	1.86	-0.15	-1.35	3.21	0.25
1.0	1.88	-0.16	-1.32	3.20	0.28
1.1	1.89	-0.18	-1.28	3.17	0.31
1.2	1.92	-0.19	-1.24	3.16	0.34
1.3	1.94	-0.21	-1.20	3.14	0.37
1.4	1.95	-0.22	-1.17	3.12	0.39
1.5	1.96	-0.24	-1.13	3.09	0.42
1.6	1.97	-0.25	-1.10	3.07	0.45
1.7	1.98	-0.27	-1.06	3.04	0.48
1.8	1.99	-0.28	-1.02	3.01	0.51
1.9	2.00	-0.29	-0.98	2.98	0.54
2.0	2.00	-0.31	-0.95	2.95	0.57
2.1	2.01	-0.32	-0.91	2.92	0.59
2.2	2.02	-0.33	-0.88	2.89	0.63
2.3	2.01	-0.34	-0.85	2.86	0.64
2.4	2.00	-0.35	-0.82	2.82	0.67
2.5	2.00	-0.36	-0.79	2.79	0.69
2.6	2.00	-0.37	-0.76	2.76	0.72
2.7	2.00	-0.38	-0.74	2.74	0.74
2.8	2.00	-0.39	-0.71	2.71	0.76
2.9	1.99	-0.39	-0.69	2.68	0.78
3.0	1.97	-0.40	-0.67	2.64	0.80
3.1	1.97	-0.40	-0.64	2.62	0.81
3.2	1.96	-0.41	-0.62	2.59	0.83
3.3	1.95	-0.41	-0.60	2.56	0.85
3.4	1.94	-0.41	-0.59	2.53	0.86
3.5	1.93	-0.41	-0.57	2.50	0.87
3.6	1.93	-0.42	-0.56	2.48	0.89
3.7	1.91	-0.42	-0.54	2.45	0.90
3.8	1.90	-0.42	-0.53	2.43	0.91
3.9	1.90	-0.41	-0.51	2.41	0.92
4.0	1.90	-0.41	-0.50	2.40	0.92
4.1	1.89	-0.41	-0.49	2.38	0.93
4.2	1.88	-0.41	-0.48	2.36	0.94
4.3	1.87	-0.40	-0.47	2.34	0.94
4.4	1.86	-0.40	-0.46	2.32	0.95
4.5	1.85	-0.40	-0.45	2.30	0.96

## Annexe04:



*Abaque de correction des débits maxima*

Annexe (5) : Tableau Foster-Rebkine- LOI BINOMIALE- Pearson III

Cs	0.01	0.1	1	2	5	10	20	25	30	40	50	60	70	75	80	90	95	97	99	99.9	99.99	Cs
0.00	3.72	3.09	2.33	1,76	1.64	1.28	0.84	0.67	0.52	0.25	0.00	-0.25	-0.52	-0.67	-0.84	-1.28	-1.64	-1.88	-2.33	-3.09	-3.67	0.00
0.05	3.83	3.16	2.36	1,775	1.65	1.28	0.84	0.66	0.52	0.24	-0.01	-0.26	-0.52	-0.68	-0.84	-1.28	-1.62	-1.86	-2.29	-3.02	-3.57	0.05
0.10	3.94	3.23	2.40	1,795	1.67	1.29	0.84	0.66	0.51	0.24	-0.02	-0.27	-0.53	-0.68	-0.85	-1.27	-1.61	-1.84	-2.25	-2.95	-3.48	0.10
0.15	4.05	3.31	2.44	1,81	1.68	1.30	0.84	0.66	0.50	0.23	-0.02	-0.28	-0.54	-0.68	-0.85	-1.26	-1.60	-1.82	-2.22	-2.88	-3.39	0.15
0.20	4.16	3.38	2.47	1,83	1.70	1.30	0.83	0.65	0.50	0.22	-0.03	-0.28	-0.55	-0.69	-0.85	-1.26	-1.58	-1.79	-2.18	-2.81	-3.30	0.20
0.25	4.27	3.45	2.50	1,845	1.71	1.30	0.82	0.64	0.49	0.21	-0.04	-0.29	-0.56	-0.70	-0.85	-1.25	-1.55	-1.77	-2.14	-2.74	-3.20	0.25
0.30	4.38	3.52	2.54	1,86	1.72	1.31	0.82	0.64	0.48	0.20	-0.05	-0.30	-0.56	-0.70	-0.85	-1.24	-1.55	-1.75	-2.10	-2.67	-3.11	0.30
0.35	4.50	3.59	2.58	1,875	1.73	1.32	0.82	0.64	0.48	0.20	-0.06	-0.30	-0.56	-0.70	-0.85	-1.24	-1.53	-1.72	-2.06	-2.60	-3.02	0.35
0.40	4.61	3.66	2.61	1,895	1.75	1.32	0.82	0.63	0.47	0.19	-0.07	-0.31	-0.57	-0.71	-0.85	-1.23	-1.52	-1.70	-2.03	-2.54	-2.94	0.40
0.45	4.72	3.74	2.64	1,91	1.76	1.32	0.82	0.62	0.46	0.18	-0.08	-0.32	-0.58	-0.71	-0.85	-1.22	-1.51	-1.68	-2.00	-2.47	-2.84	0.45
0.50	4.83	3.81	2.68	1,9	1.77	1.32	0.81	0.62	0.46	0.17	-0.08	-0.33	-0.58	-0.71	-0.85	-1.22	-1.49	-1.66	-1.96	-2.40	-2.75	0.50
0.55	4.94	3.88	2.72	1,94	1.78	1.32	0.80	0.62	0.45	0.16	-0.09	-0.34	-0.58	-0.72	-0.85	-1.21	-1.47	-1.64	-1.92	-2.32	-2.65	0.55
0.60	5.05	3.96	2.75	1,96	1.80	1.33	0.80	0.61	0.44	0.16	-0.10	-0.34	-0.59	-0.72	-0.85	-1.20	-1.45	-1.61	-1.88	-2.27	-2.58	0.60
0.65	5.16	4.03	2.78	1,975	1.81	1.33	0.80	0.60	0.44	0.15	-0.11	-0.35	-0.60	-0.72	-0.85	-1.19	-1.44	-1.59	-1.84	-2.20	-2.49	0.65
0.70	5.28	4.10	2.82	1,985	1.82	1.33	0.79	0.59	0.43	0.14	-0.12	-0.36	-0.60	-0.72	-0.85	-1.18	-1.42	-1.57	-1.81	-2.14	-2.41	0.70
0.75	5.39	4.17	2.86	1,995	1.83	1.34	0.78	0.58	0.42	0.13	-0.12	-0.36	-0.60	-0.72	-0.86	-1.18	-1.40	-1.54	-1.78	-2.08	-2.33	0.75
0.80	5.50	4.24	2.89	2,01	1.84	1.34	0.78	0.58	0.41	0.12	-0.13	-0.37	-0.60	-0.73	-0.86	-1.17	-1.38	-1.52	-1.74	-2.02	-2.25	0.80
0.85	5.62	4.31	2.92	2,025	1.85	1.34	0.78	0.58	0.40	0.12	-0.14	-0.38	-0.60	-0.73	-0.86	-1.16	-1.35	-1.49	-1.70	-1.96	-2.17	0.85
0.90	5.73	4.38	2.96	2,04	1.86	1.34	0.77	0.57	0.40	0.11	-0.15	-0.38	-0.61	-0.73	-0.85	-1.15	-1.35	-1.47	-1.66	-1.90	-2.09	0.90
0.95	5.84	4.46	2.99	2,055	1.87	1.34	0.76	0.56	0.39	0.10	-0.16	-0.38	-0.62	-0.73	-0.85	-1.14	-1.34	-1.44	-1.62	-1.84	-2.01	0.95
1.00	5.96	4.53	3.02	2,065	1.88	1.34	0.76	0.55	0.38	0.09	-0.16	-0.39	-0.62	-0.73	-0.85	-1.13	-1.32	-1.42	-1.59	-1.79	-1.94	1.00
1.05	6.07	4.60	3.06	2,07	1.88	1.34	0.75	0.54	0.37	0.08	-0.17	-0.40	-0.62	-0.74	-0.85	-1.12	-1.30	-1.40	-1.56	-1.74	-1.88	1.05
1.10	6.18	4.67	3.09	2,085	1.89	1.34	0.74	0.54	0.36	0.07	-0.18	-0.41	-0.62	-0.74	-0.85	-1.10	-1.28	-1.31	-1.52	-1.68	-1.80	1.10

<b>1.15</b>	6.30	4.74	3.12	2,1	1.90	1.34	0.74	0.53	0.36	0.06	-0.18	-0.42	-0.62	-0.74	-0.84	-1.09	-1.26	-1.36	-1.48	-1.63	-1.73	<b>1.15</b>
<b>1.20</b>	6.41	4.81	3.15	2,11	1.91	1.34	0.73	0.52	0.35	0.05	-0.19	-0.42	-0.63	-0.74	-0.84	-1.08	-1.24	-1.33	-1.45	-1.58	-1.66	<b>1.20</b>
<b>1.25</b>	6.52	4.88	3.18	2,12	1.92	1.34	0.72	0.52	0.34	0.04	-0.20	-0.42	-0.63	-0.74	-0.84	-1.07	-1.22	-1.30	-1.42	-1.53	-1.60	<b>1.25</b>
<b>1.30</b>	6.64	4.95	3.21	2,13	1.92	1.34	0.72	0.51	0.33	0.04	-0.21	-0.43	-0.63	-0.74	-0.74	-1.06	-1.20	-1.28	-1.38	-1.48	-1.55	<b>1.30</b>
<b>1.35</b>	6.76	5.02	3.24	2,145	1.93	1.34	0.72	0.50	0.32	0.03	-0.22	-0.44	-0.64	-0.74	-0.84	-1.05	-1.18	-1.26	-1.35	-1.44	-1.50	<b>1.35</b>
<b>1.40</b>	6.87	5.09	3.27	2,155	1.94	1.34	0.71	0.49	0.31	0.02	-0.22	-0.44	-0.64	-0.73	-0.83	-1.04	-1.17	-1.23	-1.32	-1.39	-1.44	<b>1.40</b>
<b>1.45</b>	6.98	5.16	3.30	2,16	1.94	1.34	0.70	0.48	0.30	0.01	-0.23	-0.44	-0.64	-0.73	-0.82	-1.03	-1.15	-1.21	-1.29	-1.35	-1.40	<b>1.45</b>
<b>1.50</b>	7.09	5.23	3.33	2,17	1.95	1.33	0.69	0.47	0.30	0.00	-0.24	-0.45	-0.64	-0.73	-0.82	-1.02	-1.13	-1.19	-1.26	-1.31	-1.35	<b>1.50</b>
<b>1.55</b>	7.20	5.30	3.36	2,18	1.96	1.33	0.69	0.46	0.29	-0.01	-0.24	-0.46	-0.64	-0.73	-0.82	-1.00	-1.12	-1.16	-1.23	-1.28	-1.32	<b>1.55</b>
<b>1.60</b>	7.31	5.37	3.39	2,19	1.96	1.33	0.68	0.46	0.28	-0.02	-0.25	-0.46	-0.64	-0.73	-0.81	-0.99	-1.10	-1.14	-1.20	-1.24	-1.27	<b>1.60</b>
<b>1.65</b>	7.42	5.44	3.42	2,195	1.96	1.32	0.67	0.45	0.27	-0.02	-0.26	-0.46	-0.64	-0.72	-0.81	-0.98	-1.08	-1.12	-1.17	-1.20	-1.22	<b>1.65</b>
<b>1.70</b>	7.54	5.50	3.44	2,205	1.97	1.32	0.66	0.44	0.26	-0.03	-0.27	-0.47	-0.64	-0.72	-0.81	-0.97	-1.06	-1.10	-1.14	-1.17	-1.196	<b>1.70</b>
<b>1.75</b>	7.65	5.57	3.47	2,215	1.98	1.32	0.65	0.43	0.25	-0.04	-0.28	-0.48	-0.64	-0.72	-0.80	-0.96	-1.04	-1.08	-1.12	-1.14	-1.162	<b>1.75</b>
<b>1.80</b>	7.76	5.64	3.50	2,22	1.98	1.32	0.64	0.42	0.24	-0.05	-0.28	-0.48	-0.64	-0.72	-0.80	-0.94	-1.02	-1.06	-1.09	-1.11	-1.129	<b>1.80</b>
<b>1.85</b>	7.78	5.70	3.52	2,23	1.98	1.32	0.64	0.41	0.23	-0.06	-0.28	-0.48	-0.64	-0.72	-0.80	-0.93	-1.00	-1.04	-1.06	-1.08	-1.096	<b>1.85</b>
<b>1.90</b>	7.98	5.77	3.55	2,24	1.99	1.31	0.63	0.40	0.22	-0.07	-0.29	-0.48	-0.64	-0.72	-0.79	-0.92	-0.98	-1.01	-1.04	-1.05	-1.063	<b>1.90</b>
<b>1.95</b>	8.10	5.84	3.58	2,25	2.00	1.30	0.62	0.40	0.21	-0.08	-0.30	-0.48	-0.64	-0.72	-0.78	-0.91	-0.96	-0.99	-1.02	-1.02	-1.041	<b>1.95</b>
<b>2.00</b>	8.21	5.91	3.60	2,255	2.00	1.30	0.61	0.39	0.20	-0.08	-0.31	-0.49	-0.64	-0.71	-0.78	-0.90	-0.95	-0.97	-0.99	-1.00	-1.008	<b>2.00</b>
<b>2.10</b>	8.33	6.04	3.65	2,27	2.01	1.29	0.59	0.37	0.18	-0.10	-0.32	-0.50	-0.64	-0.70	-0.76	-0.87	-0.914	-0.93	-0.945	-0.953	-0.957	<b>2.10</b>
<b>2.20</b>	8.63	6.14	3.68	2,28	2.02	1.27	0.57	0.35	0.16	-0.12	-0.33	-0.50	-0.64	-0.69	-0.75	-0.842	-0.882	-0.895	-0.905	-0.91	-0.906	<b>2.20</b>
<b>2.30</b>	8.75	6.26	3.73	2,29	2.01	1.26	0.55	0.32	0.14	-0.13	-0.34	-0.50	-0.63	-0.68	-0.74	-0.815	-0.85	-0.86	-0.867	-0.87	-0.868	<b>2.30</b>
<b>2.40</b>	9.00	6.37	3.78	2,3	2.00	1.25	0.52	0.29	0.12	-0.14	-0.35	-0.51	-0.62	-0.67	-0.72	-0.792	-0.82	-0.826	-0.83	-0.834	-0.831	<b>2.40</b>
<b>2.50</b>	9.16	6.5	3.82	2,31	2.00	1.23	0.50	0.27	0.10	-0.16	-0.36	-0.51	-0.62	-0.66	-0.71	-0.768	-0.79	-0.795	-0.80	-0.8	-0.798	<b>2.50</b>
<b>2.60</b>	9.39	6.54	3.86	2,315	2.00	1.21	0.48	0.25	0.085	-0.17	-0.37	-0.51	-0.61	-0.66	-0.70	-0.746	-0.764	-0.766	-0.77	-0.77	-0.765	<b>2.60</b>
<b>2.70</b>	9.57	6.75	3.92	2,32	2.00	1.19	0.46	0.24	0.07	-0.18	-0.38	-0.51	-0.61	-0.65	-0.68	-0.724	-0.736	-0.739	-0.74	-0.74	-0.737	<b>2.70</b>
<b>2.80</b>	9.77	6.86	3.96	2,325	2.00	1.18	0.44	0.22	0.057	-0.20	-0.39	-0.51	-0.60	-0.64	-0.67	-0.703	-0.711	-0.714	-0.715	-0.715	-0.709	<b>2.80</b>
<b>2.90</b>	9.96	7.00	4.01	2,325	1.99	1.15	0.41	0.20	0.041	-0.21	-0.39	-0.51	-0.60	-0.63	-0.65	-0.681	-0.689	-0.69	-0.69	-0.69	-0.685	<b>2.90</b>
<b>3.00</b>	10.16	7.10	4.05	2,315	1.97	1.13	0.39	0.19	0.027	-0.22	-0.40	-0.51	-0.59	-0.62	-0.64	-0.661	-0.665	-0.666	-0.666	-0.666	-0.661	<b>3.00</b>
<b>3.10</b>	10.36	7.23	4.09	2,315	1.97	1.11	0.37	0.17	0.01	-0.23	-0.40	-0.51	-0.58	-0.60	-0.62	-0.641	-0.645	-0.646	-0.646	-0.646	-0.643	<b>3.10</b>



## Annexe(06):BILANS MONSUELS ( Apports En Hm3 - Affluents + )

<i>ANNEES</i>	<i>Sept</i>	<i>Oct</i>	<i>Nov</i>	<i>Dec</i>	<i>Jan</i>	<i>Fev</i>	<i>Mars</i>	<i>Avril</i>	<i>Mai</i>	<i>Juin</i>	<i>Juil</i>	<i>Aout</i>	<i>TOTAL</i>
<i>1946/47</i>													<i>0,000</i>
<i>1947/48</i>	<i>0,235</i>	<i>2,639</i>	<i>0,102</i>	<i>2,532</i>	<i>3,498</i>	<i>2,578</i>	<i>1,634</i>	<i>0,970</i>	<i>0,756</i>	<i>5,324</i>	<i>0,165</i>	<i>0,011</i>	<i>20,444</i>
<i>1948/49</i>													<i>0,000</i>
<i>1949/50</i>													<i>6,178</i>
<i>1950/51</i>	<i>5,292</i>	<i>4,633</i>	<i>0,249</i>	<i>4,121</i>	<i>0,658</i>	<i>1,831</i>	<i>5,102</i>	<i>2,148</i>	<i>2,663</i>	<i>2,390</i>	<i>2,033</i>	<i>0,491</i>	<i>31,611</i>
<i>1951/52</i>	<i>5,212</i>	<i>1,740</i>	<i>5,000</i>	<i>1,375</i>	<i>1,392</i>	<i>1,816</i>	<i>1,927</i>	<i>1,642</i>	<i>2,923</i>	<i>0,447</i>	<i>0</i>	<i>0,396</i>	<i>23,870</i>
<i>1952/53</i>	<i>3,727</i>	<i>0,051</i>	<i>0,085</i>	<i>0,198</i>	<i>0,262</i>	<i>0,207</i>	<i>4,607</i>	<i>0,389</i>	<i>2,805</i>	<i>0,517</i>	<i>0,195</i>	<i>1,849</i>	<i>14,892</i>
<i>1953/54</i>	<i>1,804</i>	<i>0,688</i>	<i>0,340</i>	<i>0,327</i>	<i>0,309</i>	<i>0,786</i>	<i>1,517</i>	<i>4,136</i>	<i>0,192</i>	<i>0,084</i>	<i>0,439</i>	<i>0,011</i>	<i>10,633</i>
<i>1954/55</i>	<i>0,009</i>	<i>0,041</i>	<i>0,297</i>	<i>0,555</i>	<i>0,476</i>	<i>0,727</i>	<i>0,174</i>	<i>6,882</i>	<i>4,438</i>	<i>0,595</i>	<i>0,220</i>	<i>0,771</i>	<i>15,185</i>
<i>1955/56</i>	<i>6,254</i>	<i>1,948</i>	<i>0,403</i>	<i>0,442</i>	<i>0,399</i>	<i>1,306</i>	<i>4,463</i>	<i>2,041</i>	<i>2,534</i>	<i>0,650</i>	<i>0,433</i>	<i>0,139</i>	<i>21,012</i>
<i>1956/57</i>	<i>0,431</i>	<i>0,782</i>	<i>0,399</i>	<i>0,262</i>	<i>0,181</i>	<i>0,590</i>	<i>0,263</i>	<i>1,838</i>	<i>1,655</i>	<i>0,333</i>	<i>0,357</i>	<i>0,210</i>	<i>7,301</i>
<i>1957/58</i>	<i>1,419</i>	<i>7,958</i>	<i>7,289</i>	<i>7,998</i>	<i>7,313</i>	<i>5,562</i>	<i>2,365</i>	<i>0,558</i>	<i>0,326</i>	<i>0,261</i>	<i>0,137</i>	<i>0,934</i>	<i>42,120</i>
<i>1958/59</i>	<i>2,978</i>	<i>2,985</i>	<i>9,591</i>	<i>5,021</i>	<i>3,572</i>	<i>7,417</i>	<i>8,087</i>	<i>2,217</i>	<i>2,356</i>	<i>2,035</i>	<i>1,034</i>	<i>0,264</i>	<i>47,557</i>
<i>1959/60</i>	<i>1,582</i>	<i>4,453</i>	<i>0,651</i>	<i>3,618</i>	<i>1,140</i>	<i>2,287</i>	<i>1,904</i>	<i>4,743</i>	<i>7,149</i>	<i>9,007</i>	<i>0,615</i>	<i>0,262</i>	<i>37,411</i>
<i>1960/61</i>	<i>0,689</i>	<i>0,473</i>	<i>0,361</i>	<i>0,679</i>	<i>2,111</i>	<i>1,493</i>	<i>0,656</i>	<i>0,130</i>	<i>0,103</i>	<i>0,966</i>	<i>1,395</i>	<i>1,290</i>	<i>10,346</i>
<i>1961/62</i>	<i>1,282</i>	<i>0</i>	<i>0,379</i>	<i>1,013</i>	<i>0,277</i>	<i>0,046</i>	<i>0,631</i>	<i>0,596</i>	<i>1,145</i>	<i>0,534</i>	<i>0,137</i>	<i>1,021</i>	<i>7,061</i>
<i>1962/63</i>	<i>0,171</i>	<i>0,473</i>	<i>0,442</i>	<i>0,518</i>	<i>0,335</i>	<i>2,529</i>	<i>3,299</i>	<i>1,501</i>	<i>2,239</i>	<i>4,160</i>	<i>3,655</i>	<i>0,637</i>	<i>19,959</i>
<i>1963/64</i>	<i>15,002</i>	<i>0,114</i>	<i>0,287</i>	<i>10,177</i>	<i>5,496</i>	<i>10,995</i>	<i>15,829</i>	<i>2,404</i>	<i>0,128</i>	<i>2,256</i>	<i>0,048</i>	<i>1,501</i>	<i>64,237</i>
<i>1964/65</i>	<i>0,360</i>	<i>0,388</i>	<i>1,574</i>	<i>4,884</i>	<i>9,158</i>	<i>4,479</i>	<i>3,515</i>	<i>1,275</i>	<i>0,111</i>	<i>0,087</i>	<i>0,170</i>	<i>0,295</i>	<i>26,294</i>
<i>1965/66</i>	<i>1,470</i>	<i>0,848</i>	<i>1,189</i>	<i>1,258</i>	<i>0,347</i>	<i>0,324</i>	<i>0,529</i>	<i>0,153</i>	<i>0,726</i>	<i>0,074</i>	<i>0,187</i>	<i>0,093</i>	<i>7,198</i>
<i>1966/67</i>	<i>5,089</i>	<i>30,856</i>	<i>1,998</i>	<i>0,336</i>	<i>0,454</i>	<i>1,075</i>	<i>0,124</i>	<i>0,072</i>	<i>0,407</i>	<i>0,296</i>	<i>0,116</i>	<i>0,042</i>	<i>40,865</i>
<i>1967/68</i>	<i>8,146</i>	<i>0,682</i>	<i>1,379</i>	<i>1,419</i>	<i>0,675</i>	<i>1,897</i>	<i>3,111</i>	<i>1,506</i>	<i>0,136</i>	<i>5,483</i>	<i>0,454</i>	<i>0,229</i>	<i>25,117</i>
<i>1968/69</i>	<i>1,548</i>	<i>0,048</i>	<i>0,069</i>	<i>0,234</i>	<i>0,483</i>	<i>0,244</i>	<i>2,997</i>	<i>0,099</i>	<i>2,235</i>	<i>0,058</i>	<i>0,287</i>	<i>0,098</i>	<i>8,400</i>
<i>1969/70</i>	<i>11,342</i>	<i>22,354</i>	<i>3,330</i>	<i>2,481</i>	<i>4,475</i>	<i>0,721</i>	<i>0,812</i>	<i>0,655</i>	<i>1,559</i>	<i>0,066</i>	<i>0,157</i>	<i>0,265</i>	<i>48,217</i>

<i>1970/71</i>	<i>0,322</i>	<i>0,483</i>	<i>0,119</i>	<i>0,523</i>	<i>0,655</i>	<i>0,424</i>	<i>0,463</i>	<i>0,269</i>	<i>0,265</i>	<i>0,142</i>	<i>0,266</i>	<i>0,076</i>	<i>4,007</i>
<i>ANNEES</i>	<i>Sept</i>	<i>Oct</i>	<i>Nov</i>	<i>Dec</i>	<i>Jan</i>	<i>Fev</i>	<i>Mars</i>	<i>Avril</i>	<i>Mai</i>	<i>Juin</i>	<i>Juil</i>	<i>Aout</i>	<i>TOTAL</i>
<i>1971/72</i>	<i>0,807</i>	<i>1,281</i>	<i>2,534</i>	<i>3,396</i>	<i>1,210</i>	<i>2,593</i>	<i>2,607</i>	<i>3,955</i>	<i>1,561</i>	<i>1,568</i>	<i>0,153</i>	<i>0,058</i>	<i>21,723</i>
<i>1972/73</i>	<i>10,371</i>	<i>2,175</i>	<i>0,856</i>	<i>1,003</i>	<i>0,970</i>	<i>1,897</i>	<i>5,205</i>	<i>7,446</i>	<i>0,665</i>	<i>0,785</i>	<i>0,146</i>	<i>0,580</i>	<i>32,099</i>
<i>1973/74</i>	<i>0,263</i>	<i>0,050</i>	<i>0,164</i>	<i>2,222</i>	<i>2,118</i>	<i>0,831</i>	<i>1,184</i>	<i>0,482</i>	<i>0,074</i>	<i>0,305</i>	<i>0,200</i>	<i>0,042</i>	<i>7,934</i>
<i>1974/75</i>	<i>0,247</i>	<i>0,364</i>	<i>0,078</i>	<i>0,532</i>	<i>0,134</i>	<i>0,707</i>	<i>2,271</i>	<i>0,617</i>	<i>2,413</i>	<i>0,211</i>	<i>0,177</i>	<i>0,083</i>	<i>7,834</i>
<i>1975/76</i>	<i>3,509</i>	<i>0,073</i>	<i>0,294</i>	<i>0,118</i>	<i>0,105</i>	<i>1,716</i>	<i>3,551</i>	<i>1,550</i>	<i>0,779</i>	<i>4,060</i>	<i>3,237</i>	<i>0,147</i>	<i>19,139</i>
<i>1976/77</i>	<i>8,355</i>	<i>0,111</i>	<i>1,974</i>	<i>1,576</i>	<i>9,638</i>	<i>1,297</i>	<i>0,293</i>	<i>1,209</i>	<i>6,745</i>	<i>1,364</i>	<i>0,023</i>	<i>0,007</i>	<i>32,592</i>
<i>1977/78</i>	<i>2,207</i>	<i>0,498</i>	<i>0,358</i>	<i>0,473</i>	<i>0,122</i>	<i>0,400</i>	<i>0,313</i>	<i>0,091</i>	<i>0,474</i>	<i>0</i>	<i>0,277</i>	<i>4,545</i>	<i>9,758</i>
<i>1978/79</i>	<i>0,577</i>	<i>3,508</i>	<i>0,278</i>	<i>0,147</i>	<i>0,439</i>	<i>0,137</i>	<i>0,558</i>	<i>3,366</i>	<i>0,034</i>	<i>0,039</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>9,083</i>
<i>1979/80</i>	<i>9,319</i>	<i>1,929</i>	<i>0,031</i>	<i>0,176</i>	<i>0,283</i>	<i>0,599</i>	<i>1,391</i>	<i>0,588</i>	<i>0,576</i>	<i>0,073</i>	<i>0</i>	<i>0,626</i>	<i>15,591</i>
<i>1980/81</i>	<i>5,248</i>	<i>0,430</i>	<i>4,980</i>	<i>0,451</i>	<i>1,580</i>	<i>3,166</i>	<i>1,539</i>	<i>0,208</i>	<i>0,297</i>	<i>5,602</i>	<i>0,357</i>	<i>1,630</i>	<i>25,488</i>
<i>1981/82</i>	<i>3,728</i>	<i>1,682</i>	<i>0,070</i>	<i>1,480</i>	<i>0,143</i>	<i>0,191</i>	<i>0,153</i>	<i>1,448</i>	<i>1,046</i>	<i>1,636</i>	<i>0,080</i>	<i>0,723</i>	<i>12,380</i>
<i>1982/83</i>	<i>5,464</i>	<i>1,268</i>	<i>21,888</i>	<i>2,054</i>	<i>0,844</i>	<i>0,600</i>	<i>0,116</i>	<i>0,417</i>	<i>0,078</i>	<i>2,078</i>	<i>0,325</i>	<i>3,360</i>	<i>38,492</i>
<i>1983/84</i>	<i>0,611</i>	<i>2,006</i>	<i>0,237</i>	<i>0,252</i>	<i>0,092</i>	<i>2,780</i>	<i>1,909</i>	<i>0,279</i>	<i>0,110</i>	<i>0,219</i>	<i>0,701</i>	<i>1,890</i>	<i>11,086</i>
<i>1984/85</i>	<i>0,084</i>	<i>5,516</i>	<i>1,318</i>	<i>0,237</i>	<i>1,607</i>	<i>3,346</i>	<i>3,867</i>	<i>1,548</i>	<i>4,798</i>	<i>0,347</i>	<i>0,278</i>	<i>0,552</i>	<i>23,497</i>
<i>1985/86</i>	<i>1,278</i>	<i>1,424</i>	<i>0,997</i>	<i>0,402</i>	<i>0,257</i>	<i>0,299</i>	<i>6,875</i>	<i>2,311</i>	<i>1,916</i>	<i>0,153</i>	<i>0,225</i>	<i>0,293</i>	<i>16,430</i>
<i>1986/87</i>	<i>7,106</i>	<i>2,865</i>	<i>0,978</i>	<i>1,593</i>	<i>1,062</i>	<i>1,119</i>	<i>0,998</i>	<i>0,227</i>	<i>0,137</i>	<i>0,524</i>	<i>0,059</i>	<i>0,149</i>	<i>16,817</i>
<i>1987/88</i>	<i>0,040</i>	<i>0,140</i>	<i>0,218</i>	<i>0,167</i>	<i>0,123</i>	<i>0,182</i>	<i>0,064</i>	<i>0,102</i>	<i>0,460</i>	<i>0,885</i>	<i>0,055</i>	<i>0,597</i>	<i>3,033</i>
<i>1988/89</i>	<i>1,048</i>	<i>0,734</i>	<i>2,330</i>	<i>0,483</i>	<i>0,094</i>	<i>0,675</i>	<i>0,444</i>	<i>2,605</i>	<i>0,060</i>	<i>4,255</i>	<i>0</i>	<i>3,117</i>	<i>15,845</i>
<i>1989/90</i>	<i>24,465</i>	<i>0,275</i>	<i>1,172</i>	<i>0,119</i>	<i>0,823</i>	<i>2,742</i>	<i>1,768</i>	<i>3,289</i>	<i>7,896</i>	<i>0,417</i>	<i>0,535</i>	<i>8,111</i>	<i>51,612</i>
<i>1990/91</i>	<i>0,268</i>	<i>0,587</i>	<i>1,906</i>	<i>0,708</i>	<i>0,632</i>	<i>0,674</i>	<i>6,509</i>	<i>2,069</i>	<i>0,498</i>	<i>0,271</i>	<i>0,371</i>	<i>0,735</i>	<i>15,228</i>
<i>1991/92</i>	<i>5,483</i>	<i>7,407</i>	<i>0,209</i>	<i>0,391</i>	<i>0,325</i>	<i>0,223</i>	<i>1,969</i>	<i>0,506</i>	<i>1,884</i>	<i>0,243</i>	<i>2,396</i>	<i>0,844</i>	<i>21,880</i>
<i>1992/93</i>	<i>2,794</i>	<i>0,663</i>	<i>5,475</i>	<i>0,239</i>	<i>0,210</i>	<i>1,763</i>	<i>3,915</i>	<i>0,547</i>	<i>0,869</i>	<i>0,655</i>	<i>0,089</i>	<i>0,079</i>	<i>17,298</i>
<i>1993/94</i>	<i>0,001</i>	<i>0,014</i>	<i>1,894</i>	<i>0,172</i>	<i>0,639</i>	<i>0,008</i>	<i>1,673</i>	<i>0,061</i>	<i>0,002</i>	<i>0,005</i>	<i>0,008</i>	<i>1,253</i>	<i>5,730</i>
<i>1994/95</i>	<i>4,210</i>	<i>5,598</i>	<i>0,349</i>	<i>0,342</i>	<i>0,035</i>	<i>0,056</i>	<i>3,175</i>	<i>6,128</i>	<i>0,087</i>	<i>1,094</i>	<i>0,072</i>	<i>0,076</i>	<i>21,222</i>
<i>1995/96</i>	<i>3,604</i>	<i>3,442</i>	<i>0,099</i>	<i>1,500</i>	<i>4,520</i>	<i>4,332</i>	<i>18,342</i>	<i>2,208</i>	<i>0,506</i>	<i>2,952</i>	<i>1,124</i>	<i>0,031</i>	<i>42,660</i>

1996/97	0,287	0,331	0,039	0,036	0,320	0,130	0,124	0,537	0,022	0,354	0,043	3,802	6,025
1997/98	4,194	1,426	7,829	0,577	0,239	0,176	0,042	3,713	0,579	2,534	0,069	0,341	21,719
1998/99	0,228	0,102	0,083	0,065	1,517	0,059	0,094	0,002	2,877	0,843	0,009	0,012	5,891
<b>ANNEES</b>	<i>Sept</i>	<i>Oct</i>	<i>Nov</i>	<i>Dec</i>	<i>Jan</i>	<i>Fev</i>	<i>Mars</i>	<i>Avril</i>	<i>Mai</i>	<i>Juin</i>	<i>Juil</i>	<i>Aout</i>	<b>TOTAL</b>

1999/00	0,083	0,071	0,119	1,747	0,133	0,151	0,170	0,039	10,586	0,409	0,248	0,215	13,971
2000/01	3,672	0,437	0,040	0,031	0,703	0,140	0,071	0,002	2,600	0,094	0,014	0,010	7,814
2001/02	1,326	8,453	1,114	0,095	0,050	0,019	0,758	0,015	0,029	0,183	0,002	4,039	16,083
2002/03	0,047	3,877	1,620	0,024	9,141	0,252	0,907	4,905	0,103	2,037	0,062	1,146	24,121
2003/04	4,496	5,085	0,149	1,344	0,773	1,338	15,005	34,347	18,465	9,753	0,162	2,286	93,203
2004/05	5,969	0,008	3,837	12,807	4,505	3,474	7,148	0,839	0,053	1,492	0,338	0,065	40,536
2005/06	0,268	0	0,031	1,172	1,695	2,177	1,165	2,391	21,574	0,570	1,721	0,171	32,936
2006/07	5,680	0,617	0,540	0,387	0,360	0,182	0,973	0,529	0,916	0,015	0,542	0,340	11,081
2007/08	2,277	0,326	0,134	0,112	0,689	0,154	0,088	0,011	0,092	0,004	5,593	1,036	10,517
2008/09	0,107	2,595	2,728	2,403	9,216	12,147	12,981	38,556	18,008	2,191	0,288	0,674	101,892
2009/10	3,501	1,486	0,407	0,595	1,448	2,298	2,678	1,830	0,115	1,709	1,412	0,079	17,559
2010/11	0,533	0,744	1,285	0,496	0,278	0,330	9,248	2,605	11,231	3,462	0,088	0,446	30,747
2011/12	0,029	161,741	2,930	0,747	1,057	1,480	1,063	1,355	0,113	0,121	0,274	0,067	170,978
2012/13	0,653	0,026	1,259	0,104	0,081	0,115	0,282	2,871	0	0,074	0	0	5,466
2013/14	12,464	0,034	0,035	0,153	0,175	0,032	0,933	0,039	0,039	0,003	0	0,033	13,939
2014/15	0,016	0											0,016
2015/16													0,000

<b>Max</b>	24,465	161,741	21,888	12,807	9,638	12,147	18,342	38,556	21,574	9,753	5,593	8,111	170,978
<b>Min</b>	0,001	0,000	0,031	0,024	0,035	0,008	0,042	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Moy</b>	3,353	4,788	1,698	1,432	1,601	1,636	2,899	2,678	2,434	1,405	0,527	0,849	23,698
<b>TOTAL</b>	221,281	316,037	110,398	93,100	104,050	106,321	188,430	174,067	158,218	91,354	34,253	55,175	1658,860

## Annexe (07) :BILANS MONSUELS ( Irrigations En Hm3 )

ANNEES	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	TOTAL
1950/51	0,648	3,240	0,540	2,700	0	0	1,404	3,024	1,836	2,274	2,967	0,435	19,068
1951/52	0	0	0,383	4,365	1,999	1,635	2,727	3,583	1,320	0,957	1,210	0	18,179
1952/53	0	0	0,889	0,259	0	0	1,095	0	1,288	0,193	1,312	0	5,036
1953/54	0	0	1,350	0,942	0	0,030	1,625	0,539	1,177	0,001	1,650	0	7,314
1954/55	0	0	0,181	1,138	0	1,311	0	0	0,565	0,718	1,096	0	5,009
1955/56	1,144	0	1,310	1,372	0,478	1,392	0,590	1,179	0,870	1,403	1,144	0,289	11,171
1956/57	1,494	0	0	0	0	1,551	0	1,560	0	1,578	1,260	0,611	8,054
1957/58	1,312	0	0	1,577	0	0,449	1,022	0,008	1,524	0	1,181	0,188	7,261
1958/59	0	0	1,232	2,574	0,793	2,492	2,759	2,242	1,768	0	2,494	1,611	17,965
1959/60	0,936	0	0,649	2,663	1,471	1,585	2,525	2,163	1,856	1,117	1,305	1,159	17,429
1960/61	0,442	0,908	1,564	2,493	1,485	1,680	2,140	1,908	1,479	1,259	1,167	0,291	16,816
1961/62	0	0	0,999	0,505	0	1,384	0	1,522	0	1,538	1,538	0,510	7,996
1962/63	1,137	0	0	1,321	0,667	0	0	2,122	0,032	1,919	1,715	0,800	9,713
1963/64	1,312	0	1,421	2,743	1,350	0	2,818	3,660	1,330	1,682	1,332	0,356	18,004
1964/65	1,710	0,637	1,644	1,472	1,211	2,214	3,362	3,750	2,089	1,963	1,773	0,318	22,143
1965/66	1,975	0,124	0,120	1,676	0,415	0,112	1,967	0,120	0,803	1,284	2,161	0,706	11,463
1966/67	1,414	0,202	2,222	3,131	3,131	1,515	3,131	3,030	1,971	1,414	2,121	0	23,282
1967/68	0,202	2,273	0	1,717	0	0,303	2,020	0,303	0	2,071	2,020	0	10,909
1968/69	2,121	0,707	0	1,919	0	0	1,414	0,505	0	2,020	2,222	0	10,908
1969/70	0	0	0	1,419	2,357	1,773	3,287	3,300	2,212	1,749	2,026	0,095	18,218
1970/71	1,200	0,700	0	0	0	0	0,204	1,632	1,560	0,936	0,832	0,524	7,588
1971/72	0,832	0	0	2,163	0	0	1,924	0	0,784	1,390	2,107	0	9,200
1972/73	0	1,869	.	1,568	0,190	.	2,020	0,194	1,774	0,182	1,432	1,369	10,598
1973/74	1,366	0,990	0,391	2,075	0,374	0,143	2,130	0,864	0,221	2,054	2,481	0	13,089

<i>ANNEES</i>	<i>Sept</i>	<i>Oct</i>	<i>Nov</i>	<i>Dec</i>	<i>Jan</i>	<i>Fev</i>	<i>Mars</i>	<i>Avril</i>	<i>Mai</i>	<i>Juin</i>	<i>Juil</i>	<i>Aout</i>	<i>TOTAL</i>
1974/75	1,584	0	0	2,128	0,107	0	2,120	0	1,149	1,006	1,620	0	9,714
1975/76	0	0	1,787	0,526	0	0	2,159	0	1,137	1,236	1,564	0,392	8,801
1976/77	1,876	0,193	0	1,950	0	0	2,214	0,054	0,773	1,238	1,733	0,175	10,206
1977/78	1,836	0,756	0	2,160	0	0	2,058	0,098	0,686	1,568	1,568	0,882	11,612
1978/79	0,980	1,568	0	0,588	1,764	0,234	0	2,484	0	1,629	0	0	9,247
1979/80	2,052	0,918	0	0,648	1,836	0	0	2,484	0	0,432	0,127	0	8,497
1980/81	0,216	2,916	0	0,864	1,512	0	2,212	0,260	1,296	0,972	2,592	0,108	12,948
1981/82	2,268	0,608	0	1,701	0,684	0	0,602	1,064	0	1,986	0,108	0,864	9,885
1982/83	0,837	1,620	0	0	1,188	1,032	0	2,500	0	1,620	1,727	1,817	12,341
1983/84	0	2,404	0	2,268	0	0	0,540	1,814	1,296	0,972	2,043	0,414	11,751
1984/85	0,108	2,259	0	1,728	0,699	0	0,108	2,160	0	1,404	1,296	2,592	12,354
1985/86	0,756	2,052	0,004	1,836	0,720	0,324	1,740	0,648	0	2,322	1,404	1,242	13,048
1986/87	0	2,430	0	1,296	0,972	0	1,620	0,864	0	2,268	0	0	9,450
1987/88	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1988/89	0	0	0,625	0,457	0	0	0,054	2,111	0,104	0	0	0	3,351
1989/90	0	0	2,916	0,432	2,052	0,567	2,052	0,756	0	3,132	2,160	1,188	15,255
1990/91	0,665	1,277	2,820	0	1,836	1,086	2,376	0,432	0,540	2,878	2,376	0,972	17,258
1991/92	0	2,160	0,540	0,713	1,866	0	0	1,728	1,080	1,728	1,287	1,836	12,938
1992/93	0,972	0	1,404	1,404	0	0	1,296	1,668	0	2,592	0,756	0	10,092
1993/94	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000
1994/95	0	0	0	2,160	0	0	0	0	1,530	0,064	1,335	0,630	5,719
1995/96	0	0	0,699	0,952	0	0	1,035	0,940	1,296	1,818	0,864	2,181	9,785
1996/97	1,080	2,016	0	0	2,700	0	0	0	0	0	0	0	5,796
1997/98	0	2,060	0,623	0	2,244	0,189	0	0,599	2,040	0	2,136	0,178	10,069
1998/99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,473	0,516	0	0,989
1999/00	0	0	0	0	0	0,520	0,572	0	1,234	1,758	1,682	0,972	6,738

<i>2000/01</i>	<i>0</i>	<i>2,615</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0,972</i>	<i>0,378</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>1,296</i>	<i>0,054</i>	<i>0</i>	<i>5,315</i>
<i>ANNEES</i>	<i>Sept</i>	<i>Oct</i>	<i>Nov</i>	<i>Dec</i>	<i>Jan</i>	<i>Fev</i>	<i>Mars</i>	<i>Avril</i>	<i>Mai</i>	<i>Juin</i>	<i>Juil</i>	<i>Aout</i>	<i>TOTAL</i>
<i>2001/02</i>	<i>0</i>	<i>1,404</i>	<i>1,296</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>2,700</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0,483</i>	<i>0,483</i>	<i>0</i>	<i>6,366</i>
<i>2002/03</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>2,150</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>2,700</i>	<i>0</i>	<i>1,620</i>	<i>1,080</i>	<i>0</i>	<i>7,550</i>
<i>2003/04</i>	<i>0</i>	<i>2,700</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>1,512</i>	<i>1,296</i>	<i>0,216</i>	<i>3,240</i>	<i>1,034</i>	<i>0,570</i>	<i>0,589</i>	<i>0,589</i>	<i>11,746</i>
<i>2004/05</i>	<i>0,570</i>	<i>0,589</i>	<i>0</i>	<i>2,268</i>	<i>0,432</i>	<i>3,859</i>							
<i>2005/06</i>	<i>.</i>	<i>.</i>	<i>0</i>	<i>2,700</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0,552</i>	<i>1,587</i>	<i>0</i>	<i>1,620</i>	<i>1,242</i>	<i>7,701</i>
<i>2006/07</i>	<i>0,728</i>	<i>0,988</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>1,214</i>	<i>0,960</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>2,700</i>	<i>0</i>	<i>1,512</i>	<i>1,188</i>	<i>9,290</i>
<i>2007/08</i>	<i>0</i>	<i>0,864</i>	<i>1,836</i>	<i>2,700</i>									
<i>2008/09</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>1,296</i>	<i>3,024</i>	<i>3,022</i>	<i>2,580</i>	<i>2,390</i>	<i>2,592</i>	<i>0,972</i>	<i>1,728</i>	<i>17,604</i>
<i>2009/10</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0,216</i>	<i>2,484</i>	<i>0</i>	<i>1,906</i>	<i>1,766</i>	<i>0</i>	<i>2,376</i>	<i>0,432</i>	<i>1,944</i>	<i>11,124</i>
<i>2010/11</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0,756</i>	<i>1,880</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>2,444</i>	<i>0,990</i>	<i>2,964</i>	<i>1,858</i>	<i>1,646</i>	<i>12,538</i>
<i>2011/12</i>	<i>0</i>	<i>2,700</i>	<i>2,160</i>	<i>1,188</i>	<i>0</i>	<i>1,404</i>	<i>1,404</i>	<i>0</i>	<i>2,700</i>	<i>0</i>	<i>2,598</i>	<i>0</i>	<i>14,154</i>
<i>2012/13</i>	<i>0</i>												
<i>2013/14</i>	<i>0,360</i>	<i>2,790</i>	<i>0,495</i>	<i>0</i>	<i>3,645</i>								
<i>2014/15</i>	<i>0</i>	<i>0</i>											<i>0,000</i>
<i>2015/16</i>													<i>0,000</i>

<i>Max</i>	<i>2,268</i>	<i>3,240</i>	<i>2,916</i>	<i>4,365</i>	<i>3,131</i>	<i>3,024</i>	<i>3,362</i>	<i>3,750</i>	<i>2,700</i>	<i>3,132</i>	<i>2,967</i>	<i>2,592</i>	<i>23,282</i>
<i>Min</i>	<i>0,000</i>												
<i>Moy</i>	<i>0,565</i>	<i>0,792</i>	<i>0,527</i>	<i>1,119</i>	<i>0,666</i>	<i>0,495</i>	<i>1,134</i>	<i>1,143</i>	<i>0,813</i>	<i>1,167</i>	<i>1,309</i>	<i>0,567</i>	<i>9,967</i>
<i>TOTAL</i>	<i>36,133</i>	<i>50,673</i>	<i>33,170</i>	<i>71,587</i>	<i>42,607</i>	<i>31,177</i>	<i>72,548</i>	<i>73,154</i>	<i>52,021</i>	<i>74,699</i>	<i>83,770</i>	<i>36,310</i>	<i>657,849</i>

## Résumé:

Cette étude a été effectuée à partir des données d'exploitation qui s'étalent sur plus de 50 ans du barrage de Foug El Gherza situé à 18 Km à l'est de Biskra et d'une capacité de 45 Hm<sup>3</sup>. L'étude a pour objectif de l'établissement et l'analyse d'un bilan hydrologique qui permettra de connaître l'évolution des volumes d'eau en fonction des cotes dans la retenue. Il a expliqué le suivi du bilan en eau de la retenue et l'analyse de son fonctionnement hydrologique. L'observation annuelle pendant 58 années des éléments constitutifs du bilan de la retenue du barrage, a montré l'irrégularité des éléments entrant et sortant, au vu de la variété des contextes tant climatiques que physiographique qui les caractérise. Parallèlement l'étude de bilan hydrologique de la retenue est fortement varié dont le faible taux annuel de remplissage de la retenue est lié aux faibles apports du barrage de Foug El Gherza, notez que les déficits d'eau ont de l'ordre 39.65% durant la série d'étude.

**Mots clés:** barrage, hydrologie, bilan hydrologique, apport, perte d'eau, déficit d'eau

## Abstract:

This study was conducted on the data block "Foug El Gherza" for a period of more than 50 years. The dam is located 18 km east of the city of Biskra. It has capacity of 45 Hm<sup>3</sup>. The study aims to analyze the water balance, which will reveal the evaluation of the water volume in the reservoir, as well as follow-up to the water balance within the dam by monitoring changes in water level in the tank. The annual study during 58 years of the constituent elements of the water balance equation has shown the irregular changes in imports and exports of the dam. These irregular changes are influence by topographic or climatic features of the area. From this point we obtain the balance water study of the reservoir between the surplus stocks that meet the agricultural needs, and its incapacity to meet these needs is estimated at 39.65% through a series of study.

**Key-Words:** dam, hydrology, water balance, intake, water loss, Water deficits

## الملخص:

أجريت هذه الدراسة على البيانات الخاصة بسد "فم الغرزة" لفترة ممتد لأكثر من 50 عاماً، حيث يقع هذا السد على بعد 18 كيلومتراً شرق مدينة بسكرة وهو بسعة 45 هم<sup>3</sup>. تمهد الدراسة إلى تحليل الموازنة المائية التي سوف تكشف عن تقييم حجم المياه في الخزان وكذلك متابعة التوازن المائي داخل السد من خلال رصد تغيرات منسوب المياه في الخزان. أظهرت الدراسة السنوية خلال 58 سنة للعناصر المكونة لمعادلة التوازن المائي التغيرات الغير نظامية في الواردات و الصادرات للسد نظراً لتأثيرها سواء بالميزات المناخية أو الطوبوغرافية للمنطقة من هذا المنطق نتحصل على الدراسة لتوازن المائي للخزان بين فائض في مخزون المياه يلبي الحاجيات يقدر بنسبة خلال سلسلة الدراسة.

**الكلمات المفتاحية:** السد، هيدرولوجيا، التوازن المائي، الواردات، ضياع المياه، العجز في المياه.

