

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université Badji Mokhtar-ANNABA



جامعة باجي مختار – عنابة-

FACULTÉ DES SCIENCES DE L'INGENIORAT
DÉPARTEMENT D'HYDRAULIQUE

MEMOIRE DE MASTER
DOMAINE : SCIENCE ET TECHNOLOGIE
FILIERE : HYDRAULIQUE
OPTION : Aménagement et Ouvrages Hydrauliques

Thème

**ELABORATION DE PROGRAMMES MATLAB
COMME OUTILS D'AIDE A L'ETUDE ET AU
DIMENSIONNEMENT DES DIGUES EN TERRE**

Présenté par :

M. MAZBOUR KHERIEDDINE

Encadrés par :

Dr. MOUSSAOUI Moufida (MCB)
Dr. BOUTAGHANE Hamouda (MCA)

Jury de soutenance :

-Pr. OUERDACHI Lahbassi	Président	U. Annaba
-Dr. LAKEHAL Moussa (MCA)	Examineur	U. Annaba
-Dr. SKHAKHFA Imene (MCB)	Examinatrice	U. Annaba

Promotion : Juin 2018

TABLE DES MATIERES

Liste des tableaux	4
Liste des figures	5
1 Introduction générale du mémoire	6
2 Plan du mémoire	6
1 Partie Developpement des programmes	7
1.1 Présentation de matlab	7
1.2 mennto des fonctions Matlab	8
1.3 programmes matlab	14
2 Partie EXPLOITATION DES PROGRAMMES	29
2.1 PRESENTATION DE LA REGION	29
3 HYDROLOGIE ET CLIMATOLOGIE	30
3.1 CARACTERISTIQUES PHYSICO-GEOGRAPHIQUES DU BASSIN VERSANT DE LA REGION D'ETUDE.	30
3.1.1 Cadre générale du bassin versant de la Saoura	30
3.1.2 Description du bassin versant de la zone d'étude	33
3.1.3 Caractéristiques morphométriques du bassin versant	34
3.1.4 Caractéristiques hydrographiques du bassin versant	42
3.1.5 Récapitulation des résultats	44
3.2 PARAMETRES PLUVIOMETRIQUES	44
3.2.1 Présentation des stations climatiques :	45
3.2.2 Caractéristiques générale du climat	45
3.3 APPORTS MOYEN INTERANNUEL.	50
3.3.1 Formule ANRH	50
3.3.2 Formule de Samie :	50
3.3.3 Formule de Deri I	50
3.3.4 Formule de Deri II	50
3.3.5 Formule de Mallet-Gautier	51
3.4 APPORTS FREQUENTIEL	52
3.5 ESTIMATION DE L'APPORT SOLIDE	53
3.5.1 Apports mobilisables :	54
ESTIMATION de la CRUE de projet	55
3.5.2 Estimation de la pluie moyenne journalière maximale P_{jmax}	55
3.5.3 Détermination de la pluie maximum de différentes fréquences :	56
3.5.4 Hauteur de la pluie de courte durée	57
3.5.5 Prédétermination des crues	58
3.5.6 Formule de Samie	58
4 ETUDE TOPOGRAPHIQUE	62
4.1 Site de la digue	62
4.2 Cuvette	62
4.3 2.2 Localisation et accès au site	62

4.3.1	2.2.1 Localisation du site	62
4.3.2	Accès au site	62
4.4	Capacité de la retenue	62
4.4.1	Relation hauteur-surface.	62
4.4.2	Relation hauteur-volume.	63
5	ETUDE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE	64
5.1	Cadre Géologique	64
5.1.1	Coupes géologiques de Mazzer	66
5.2	Hydrogéologie de la région de mazzer	69
6	CALCUL HYDRAULIQUE	72
6.1	ESTIMATION DES DIFFERENTS VOLUMES ET NIVEAUX	72
6.2	Hydrogramme de Crue	75
6.3	dimensionnement hydrotechnique de la digue	79
6.3.1	Hauteur du barrage	79
6.3.2	Régularisation des écoulements	79
6.3.3	Laminage des crues	82
6.3.4	Calcul de la revanche	89
6.3.5	La hauteur de sécurité	90
6.3.6	Calcul des tassements d'un barrage en terre :	90
6.4	Détermination de la largeur de la crête.	91
6.4.1	3.7.1. KNAPPEN.	91
6.4.2	3.7.2. PREECE.	91
6.5	Pente des Talus	91
7	Conclusion	93
8	REFERENCES	93

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Caractéristiques bassin versant de Mazzer	35
Tableau 2 : Données hypsométriques du bassin versant de Mazzer	38
Tableau 3 : Caractéristiques de relief du bassin versant.....	41
Tableau 4 : Différentes formules pour estimer le temps de concentration.....	43
Tableau 5 : récapitulation des caractéristiques du bassin versant de Mazzer.....	44
Tableau 6 : Caractéristiques des stations climatiques	45
Tableau 7 : Précipitations moyennes annuels des stations du bassin de la Saoura.....	46
Tableau 8 : Températures minimales, maximales et moyennes mensuelles inter annuelle de la station de Béni Abbés (1998-2007).....	47
Tableau 9 : valeurs des évaporations mensuelles inter annuelle de Beni Abbes (1998-2007).....	48
Tableau 10: Vitesse des vents moyens de Bechar série (1965-1985)	49
Tableau 11 : Fréquences des vents selon les directions.	49
Tableau 12 : Résultats de calcul des apports interannuel.....	51
Tableau 13 : Valeurs de la variable réduite de Gauss pour différentes fréquences	52
Tableau 14 Densité volumétrique des différents types de sédiments (source guide ANBT, 2004).....	54
Tableau 15 : Les types de relations donnant la relation $P_j=f(P_{an})$	55
Tableau 16 : Relations entre la moyenne des pluies journalière	56
Tableau 17 : Hauteur des pluies de différentes durées et de différentes fréquences.....	57
Tableau 18 : Caractéristiques volumétrique de la retenue.....	72
Tableau 19 : Résultats de calcul des hydrogrammes de crue	76
Tableau 20 : Répartition mensuelles des écoulements	80
Tableau 21 : Evaporation moyenne mensuelle station de Béni Abbès (1973-2008)	80
Tableau 22 : Répartition mensuelles de l'infiltration	80
Tableau 23 : Distribution typique généralisée de la demande pour l'irrigation	81
Tableau 24 : Calcul d la régularisation pour la retenue de Mazzer.....	81
Tableau 25 : valeurs des pentes de talus des barrages en terre (guide technique des barrages en aménagement rurale, 1977).....	92

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Situation géographique de la daïra d'Igli	29
Figure 2 : Localisation de la commune d'Igli	29
Figure 3 : Localisation du site de la digue au niveau du village de Mazzer	30
Figure 4 : Carte des sous bassins versants du grand bassin hydrographique SAHARA	30
Figure 5 : Confluences des Oueds Guir, Bechar et Zouzfana à Igli	31
Figure 6 : Situation du bassin versant de la Saoura	32
Figure 7: Réseau hydrographique du bassin versant de la Saoura	33
Figure 8 : Illustration du bassin versant de Mazzer (en jaune)	34
Figure 9 : Réseau hydrographique et sous bassins versants du bassin de Mazzer	34
Figure 10 : rectangle équivalent du bassin versant de Mazzer avec la répartition hypsométrique	36
Figure 11 : Carte des pentes du bassin versant de Mazzer	37
Figure 12 : Courbe hypsométrique du bassin versant de Mazzer	39
Figure 13 : Carte des Isohyètes du Sahara (Meddi et Al, 2009)	47
Figure 14 : Courbe des Températures minimales, maximales et moyenne mensuelles inter annuelle bassin de Saoura de la station de Béni Abbés (1998-2007).	48
Figure 15 : Vitesse moyennes des vents Bechar (1965-1985).	49
Figure 16: Répartition des fréquences selon les directions	49
Figure 17 : photos des rives de l'oued Saoura dans le site du projet	62
Figure 18 : Levé topographique du site de la digue de Mazzer	64
Figure 19 : Extrémité méridionale de la Hamada de Guir et de la petite Hamada	66
Figure 20 : Coupes géologiques de Mazzer	68
Figure 21 : coupe hydrogéologiques dans la région d'étude	70
Figure 22 : Profils n-s de l'extrémité méridionale de la hamada du Guir rapports entre les formations tertiaires et quaternaires	71
Figure 23 : Courbes : hauteur-surface (en bleu) et hauteur-volume (en rouge)	74
Figure 24 : hydrogrammes de crues de différentes fréquences	77
Figure 25 : Principe du laminage des crues par la retenue	83
Figure 26 : Courbe SIC de la retenue de la digue de Mazzer (Largeur déversoir =50 m)	85
Figure 27 : Hydrogrammes : de crue entrant et laminé par la retenue (Largeur déversoir =50 m)	85
Figure 28 : Courbe SIC de la retenue de la digue de Mazzer (Largeur déversoir =60 m)	86
Figure 29 : Hydrogrammes : de crue entrant et laminé par la retenue (Largeur déversoir =60 m)	87
Figure 30 : histogramme des pluies du mois de Novembre 2014 à la station ONM de Béchar et Beni Abbes	88
Figure 31 : hydrogramme de la crue du 29 Novembre 2014	89

1 INTRODUCTION GENERALE DU MEMOIRE

L'étude des digues d'une manière générale et des digues en terres d'une manière particulière, est très liée à l'analyse hydrologique du site et des données climatiques de son bassin versant, qui constitue la première étape de toutes études dimensionnement. Cette première partie, est très fastidieuse et consomme beaucoup de temps, car le concepteur fait des aller et retour entre plusieurs choix. Il se voit refaire les mêmes calculs des dizaines de fois et il fait et refait plusieurs graphiques systématiquement à chaque passage.

L'objectif de ce mémoire de Master en Ouvrages et Aménagement Hydrauliques est de développer une séries de programmes Matlab, qui permettrons de faciliter cette étapes et de réduire le temps de son élaboration.

L'idée guide de ce travail est d'utiliser une étude, d'une digue en terre, déjà approuvée par la direction des Ressources en Eaux (DRE-Béchar) et le Contrôle Technique Hydrauliques (CTH-Tlemcen), comme exemple et base de notre développement.

L'étude de la digue de retenue de Mazzer, commune d'Igli, Wilaya de Bechar a été fournis par le Bureau des Etudes Techniques en Hydraulique « Gourrai Salah Eddine ». Cette étude a été élaboré et validée en 2016.

2 PLAN DU MEMOIRE

Le mémoire sera organisé en deux parties :

1. La première partie concerne le développement des programmes sous Matlab
2. La seconde partie concerne l'exploitation et la comparaison des programmes avec les résultats de l'étude approuvée. dans cette partie chaque étape de calcul sera suivie de capture d'écran des résultats du programme Matlab.

Le présent travail concerne la partie dimensionnement et détermination de la hauteur de la digue.

1 PARTIE DEVELOPPEMENT DES PROGRAMMES

1.1 PRESENTATION DE MATLAB

Matlab : **Matrix Laboratory**

Matlab Un logiciel de calcul numérique produit par MathWorks (voir le site web <http://www.mathworks.com/>)



Matlab est un langage simple et très efficace, optimisé pour le traitement des matrices, d'où son nom. Pour le calcul numérique, *Matlab* est beaucoup plus concis que les "vieux" langages (C, Pascal, Fortran, Basic).

Matlab est enrichi avec des « *toolbox* » qui sont des ensembles de fonctions supplémentaires, profilées pour des applications particulières (traitement de signaux, analyses statistiques, optimisation, etc.).

1.2 MENNTO DES FONCTIONS MATLAB

OBTENIR DE L'AIDE

help	afficher l'aide dans la fenêtre de commandes (F1)
doc	afficher l'aide dans l'aide en ligne de Matlab
demo	ouvrir les démos

EXTENSIONS DE FICHIER MATLAB

.m	code Matlab (fonction ou script)
.mat	fichiers binaires Matlab de données
.fig	fichiers de sauvegarde des figures

RACCOURCIS CLAVIER DE L'EDITEUR

Ctrl + R / Ctrl + T	commenter / décommenter
Ctrl + I	indenter proprement
Ctrl + Entrée	exécuter une cellule de code
F5	exécuter un script
F9	exécuter la sélection
Ctrl + D	ouvrir la sélection dans l'éditeur
Ctrl + S	sauver
Ctrl + G	aller à une ligne
Ctrl + F	rechercher dans un fichier
F1	ouvrir l'aide en ligne / aide sur la sélection

INITIALISATIONS

startup	script d'initialisation de l'environnement (défini par le développeur) qui s'exécute automatiquement à l'ouverture de Matlab dans le répertoire qui le contient
clc	effacer le contenu de la fenêtre de commandes
clear	vider l'espace de travail
close all	fermer toutes les figures

NAVIGATION

cd	afficher le répertoire courant ou change de répertoire courant
dir	lister le contenu du répertoire courant
pwd	afficher le répertoire courant
path	lister les chemins de recherche
addpath	ajouter un chemin aux chemins de recherche
rmpath	supprimer un chemin des chemins de recherche
restoredefaultpath	restaurer les chemins de recherche par défaut

CONSTANTES SPECIALES

ans	dernier résultat de calcul
eps	précision machine
NaN	Not a Number, résultat d'un calcul indéfini
pi	constante π
i, j	imaginaire pur $=\sqrt{-1}$
true, false	vrai, faux
inf	infini
realmax	plus grand réel codable
realmin	plus petit réel codable
computer	ordinateur sur lequel Matlab travaille

MATRICES

ones	créer une matrice de 1
zeros	créer une matrice de 0
eye	créer une matrice identité
linspace	créer un vecteur d'éléments linéairement espacés
logspace	créer un vecteur d'éléments logarithmiquement espacés
rand, randn	générer des matrices de nombres aléatoires

TAILLE, DIMENSION

length	longueur d'une matrice
numel	nombre d'éléments d'une matrice
size	taille d'une matrice

CARACTERES SPECIAUX

%	commentaires
%%	cellule de code
!	appeler une commande système
'	encadrer les chaînes de caractères ou transpose une matrice
,	séparer les éléments d'une même ligne d'une matrice séparer les arguments d'une fonction séparer les instructions d'une même ligne
;	marquer la fin d'une instruction en supprimant l'affichage marquer la fin d'une ligne dans la déclaration d'une matrice
()	opérateur d'indexation des matrices (ligne, colonne)
[]	opérateur de définition et de concaténation des matrices
{ }	opérateur de définition et d'indexation des cells arrays
:	opérateur de création de vecteurs >> a = 1 : 2 : 10
...	indiquer que l'instruction continue sur la ligne suivante
.	séparateur décimal
=	opérateur d'indexation des champs d'une structure opérateur d'assignation

CALCULS

+ - * /	addition, soustraction, multiplication, division
\	division à gauche (résolution d'un système d'équations par les moindres carrés)
^	puissance
.	opérateur associé aux opérateurs arithmétiques pour indiquer un calcul élément par élément.

FONCTIONS MATHÉMATIQUES

sqrt	racine carrée
abs	valeur absolue
log	logarithme népérien
exp	exponentielle
log10	logarithme décimal
10^	puissance de 10
mod, rem	modulo

FONCTIONS TRIGONOMETRIQUES

sin, cos, tan	sinus, cosinus, tangente
asin, acos, atan	arcsinus, arccosinus, arctangente
atan2	arctangente sur 4 quadrants
sec, csc, cot	sécante, cosécante, cotangente
sinh, cosh, tanh	sinus, cosinus, tangente hyperboliques
sech, csch, coth	sécante, cosécante, cotangente hyperboliques

ARRONDIS

round	arrondir à l'entier le plus proche
ceil	arrondir au prochain entier vers $+\infty$
floor	arrondir au prochain entier vers $-\infty$
fix	arrondir au prochain entier vers 0

STATISTIQUES, ANALYSE DE DONNEES	
<code>cumsum</code>	somme cumulée
<code>sum</code>	somme
<code>mean</code>	moyenne
<code>median</code>	médiane
<code>std</code>	écart-type
<code>var</code>	variance
<code>min,max</code>	minimum, maximum
<code>sort,sortrows</code>	tri
<code>prod</code>	produit
<code>cumprod</code>	produit cumulé
<code>mode</code>	mode ou valeurs la plus fréquente
<code>trapz</code>	intégration numérique trapézoïdale
OPERATEURS RELATIONNELS	
<code>==, ~=, >, <, >=, <=</code>	
OPERATEURS LOGIQUES	
<code>& ~</code>	et, ou, non terme à terme
<code>&& </code>	et, ou scalaire court-circuité
<code>all</code>	tester si tous les éléments sont non-nuls
<code>any</code>	tester si au moins un élément est non-nul
NOMBRES COMPLEXES	
<code>>> a = 12 + 5i</code>	
<code>real</code>	partie réelle
<code>imag</code>	partie imaginaire
<code>abs</code>	module
<code>angle</code>	angle
<code>conj</code>	conjugué
CHAINES DE CARACTERES	
manipulation	
<code>str1 = 'une' ; str2 = 'chaîne' ;</code>	
<code>str = [str1 ' ' str2]</code>	concaténer
<code>lower, upper</code>	convertir minuscule, majuscule
<code>strrep</code>	remplacer des morceaux de chaînes
<code>strvcat</code>	concaténer verticalement
<code>strtrim</code>	supprimer des espaces inutiles
<code>strcmp, strcmpi, strncmp, strncmpi</code>	comparer des chaînes
conversion chaînes / nombres	
<code>int2str, mat2str, num2str</code>	entier, matrice et nombre vers chaîne
<code>str2double, str2num</code>	chaîne vers matrice ou nombre
<code>sprintf, sscanf</code>	écriture et lecture de données formatées
FIGURES ET TRACES	
<code>figure</code>	créer une figure
<code>close, close all</code>	fermer une ou toutes les figures
<code>clf</code>	vider le contenu d'une figure
<code>hold on/off/all</code>	gérer la superposition des traces dans un axe
<code>subplot</code>	décomposer la figure pour créer un axe
tracés 2D	
<code>plot</code>	tracé linéaire
<code>stem, stairs</code>	tracé discret, en escalier
<code>semilogx, semilogy</code>	tracé semi-logarithmique
<code>loglog</code>	tracé logarithmique

couleurs		marqueurs					
	[1 1 0]	'y'	'yellow'	'.'	♦	'v'	▽
	[1 0 1]	'm'	'magenta'	'o'	○	'^'	△
	[0 1 1]	'c'	'cyan'	'x'	×	'<'	◁
	[1 0 0]	'r'	'red'	'+'	+	'>'	▷
	[0 1 0]	'g'	'green'	'*'	*	'p'	☆
	[0 0 1]	'b'	'blue'	's'	□	'h'	✱
	[1 1 1]	'w'	'white'	'd'	◇		
	[0 0 0]	'k'	'black'				

tracés 3D

surf	tracé de surface colorée
mesh	tracé de surface maillée
plot3	tracé linéaire 3D
pcolor	tracé pseudocouleur

autres tracés

pie	camembert
hist	histogramme
bar	tracé en barres
contour	isocontour

annotations

legend	légende
xlabel, ylabel, zlabel	label des axes
title	titre du graphe
box	gérer le contour du graphe
text	afficher un texte dans le système d'axes

grille et échelles

grid	afficher la grille
axis, xlim, ylim, zlim	limites des axes
zoom	gérer le zoom
linkaxes	lier les zooms de plusieurs axes
colorbar	afficher l'échelle des couleurs
caxis	limites de l'échelle de couleur

échelle des couleurs

colormap		échelle des couleurs	
	Jet		Autumn
	HSV		Winter
	Hot		Gray
	Cool		Bone
	Spring		Copper
	Summer		Pink

GESTION DES FICHIERS

edit	ouvrir un fichier dans l'éditeur Matlab
which	localiser des fonctions et des fichiers
copyfile	copier des fichiers
delete	détruire des fichiers
fileparts	décomposer un chemin complet de fichiers en chemin, nom de fichier et extension
fullfile	construire un chemin de fichiers
filesep	séparateur de fichier de la plateforme
mkdir	créer un répertoire
rmdir	détruire un répertoire

LECTURE ET ECRITURE DE FICHIERS

haut niveau

<code>dlmread, dlmwrite</code>	lire, écrire un fichier tabulé avec délimiteur
<code>csvread, csvwrite</code>	lire, écrire un fichier tabulé (séparé par un ;)
<code>xlsread, xlswrite</code>	lire, écrire un fichier Excel
<code>wkload, wkloadwrite</code>	lire, écrire un fichier Lotus
<code>load, save</code>	lire, écrire un fichier binaire Matlab (.mat)
<code>imread, imwrite</code>	lire, écrire un fichier image

bas niveau

1 – ouvrir le fichier	2 – se positionner, lire, écrire...	3 – fermer le fichier
<code>fopen, fclose</code>	ouvrir, fermer un fichier	
<code>fread, fwrite</code>	lire, écrire un fichier binaire	
<code>fprintf, fscanf</code>	lire, écrire un fichier de données formaté	
<code>fgetl, fgets</code>	lire une ligne de fichier formaté	
<code>feof</code>	tester la fin d'un fichier	
<code>frewind</code>	retourner au début d'un fichier	
<code>ftell</code>	indiquer la position de lecture dans le fichier	
<code>fseek</code>	positionner le curseur de lecture dans un fichier	

STRUCTURES DE CONTROLE

```

for var = vector
    % instructions Matlab
end
if expression logique 1 % Obligatoire
    % Instructions Matlab
elseif expression logique 2 % Facultatif
    % Instructions Matlab
else % Facultatif
    % Instructions Matlab
end % Obligatoire
switch expression % Chaîne, double, booléen
    case value 1 % Obligatoire
        % Instructions Matlab
    case {value 2, value 3} % Facultatif
        % Instructions Matlab
    otherwise % Facultatif mais recommandé
        % Instructions Matlab
end
while
    % Instructions Matlab
end
break                terminer l'exécution d'une boucle
continue             interrompt l'exécution d'une itération et passe à la
                    suivante
return              retour à l'appelant
pause               fait une pause
    
```

TEST DE CAS

<code>isempty</code>	est vide ?
<code>isnan</code>	est un NaN ?
<code>exist</code>	existe ? (variable, fichier, répertoire, ...)
<code>isequal</code>	est égal ?
<code>isinteger, isfloat</code>	est de type entier, est de type flottant ?
<code>isnumeric</code>	est numérique (entier, flottant, mais pas booléen) ?
<code>ischar</code>	est une chaîne ?
<code>isfinite, isinf</code>	est fini ? est infini ?

GESTION DES ERREURS

```
try
    % Instructions Matlab
catch
    % Instructions Matlab
end
lasterr, lastwarn    renvoie la dernière erreur, la dernière alerte
warning             afficher ou gérer les messages d'alerte
error               afficher un message d'erreur et terminer l'exécution
```

GESTION DES FONCTIONS

Créer un fichier MaFonction.m :

```
function [S1, S2, ...] = MaFonction(E1, E2, ...)
% MaFonction : description succincte
% Entête de la fonction (affichée par help)
nargin, nargout    nombre d'arguments passés en entrée et en sortie
                  de la fonction
nargchk            valider le nombre d'arguments d'entrée
varargin, varargout cell arrays des arguments variables d'entrée et de
                  sortie
```

COMMUNICATION AVEC L'UTILISATEUR

```
disp              afficher des données dans la fenêtre de commandes
input            afficher un message et attend un retour utilisateur
pause           faire une pause
waitbar         gérer une boîte de dialogue d'attente
inputdlg        boîte de dialogue de saisie de réponse utilisateur
warndlg, errordlg, helpdlg boîtes dialogue d'alerte, d'erreur et d'aide
uigetfile, uiputfile boîtes de sélection de fichiers
```

ANALYSE DE PERFORMANCES

```
tic, toc         mesurer le temps écoulé
profile         gérer l'analyse des temps d'exécution
memory         renvoyer les informations de répartition de la mémoire
```

POLYNOMES

```
poly            calculer les coefficients d'un polynôme en fonction de ses racines
roots          calculer les racines d'un polynôme en fonction de ses coefficients
polyfit        réaliser une approximation polynômiale sur des données
polyval        évaluer un polynôme sur des données
conv           multiplier des polynômes
deconv         diviser des polynômes
```

DATES

```
format
chaîne         format défini par 'dd' 'mm' 'yy' 'HH' 'MM' 'SS'
nombre        nombre de jours écoulés depuis le 1er janvier 0000
vecteur       [année mois jour heures minutes secondes]
```

conversion

```
datenum        convertir une chaîne en nombre
datestr        convertir un nombre en chaîne
datevec        détaille un nombre ou une chaîne en vecteur
DateMatlab = DateExcel + datenum('30-Dec-1899');
```

autres

```
date, now, clock    date courante
datetick           formater les échelles en date
```

1.3 PROGRAMMES MATLAB

```

clear all
clc

disp('*****
***** ')
disp('**      OUTILS D AIDE A L ETUDE ET AU DIMENSIONNEMENT DES DIGUES EN
TERRE      ** ')
disp('*****
***** ')

disp('=====')
disp('**      ETUDE HYDROLOGIQUE      ** ')
disp('=====')

disp('-----')
disp('**  Détermination des paramètres BV  ** ')
disp('----- ')

% calcul paramètre BV

% A surface du bassin versant
% P périmètre du BV
% Ltw : longueur du talweg principale
% SLtw somme des longueurs des cours d'eau
% Hmax altitude max
% Hmin altitude min
% Li: somme des longueurs des cours d'eau
% Pmoy: pluie moyenne annuelle

disp('.....')
disp('**  Saisie des données géométriques du BV  ** ')
disp('..... ')

kk=input('[0]lecture des données a partir d un fichier ou [1] saisie des
donnees a l ecran: ');

if kk ==1
    A=input('Entrer la surface du BV [km²]: A= ');
    P=input('Entrer le Périmètre du BV [km]: P= ');
    Ltw=input('Entrer longueur du talweg principale [km]: Ltw= ');
    SLtw =input('Somme de la longueur des talweg [km]: SLtw= ');
    Hmax =input('Entrer longueur du talweg principale [m] : Hmax= ');
    Hmin =input('Entrer longueur du talweg principale [m]: Hmin = ');
    Pmoy =input('Entrer pluie moyenne annuelle sur le BV [mm]: Pmoy = ')
else
    BV_data= textread('BV_data.txt','%f');
    A=BV_data(1);
    P=BV_data(2);
    Ltw=BV_data(3);
    SLtw=BV_data(4);

```

```

Hmax=BV_data(5);
Hmin=BV_data(6);
Li=BV_data(7);
Pamoy=BV_data(8);
end

%=====
%   FORME DU BV
%=====

% Kc coefficient de compacité
% L: longueur équivalente
% l: largeur équivalente

% coefficient de compacité
disp('Calcul du coefficient de compacité de Graviulis ')

Kc=(P/(2*sqrt(pi*A)))
if Kc> 1.12
    % forme du BV rectangulaire
    disp(' selon la valeur de Kc le BV est de forme rectangulaire')

    disp('La longueur équivalente L [km] est : ')
    L=(Kc*sqrt(A)/1.12)*(1+(sqrt(1-((1.12/Kc)^2))))
    disp('La largeur équivalente l [km] est : ')
    l=(Kc*sqrt(A)/1.12)*(1-(sqrt(1-((1.12/Kc)^2))))
elseif Kc<1.12
    disp('BV de forme carré')
else Kc=1.12
    disp('BV de forme circulaire')
end

%+++++
% programme courbe hypsométrique
% +++++
disp('=====')
disp('Construction de la courbe hypsometrique')
disp('=====')
% liste des variables
% ALinf
% ALsup

% C: les cotes en mètre
% Sp: surface partielle entre deux cotes en km2*
% Sc: surface cumulée km2
% Hp: hauteur partielle en mètre
% Hc: hauteur cumulée en mètre
% Sm: surface moyenne en km2
% Vp : volume partielle en HM3
% Vt: volume totale en HM3
% nbre: nombre de ligne
% Tc: Temps de concentration

% lecture des données ;
[ALinf,ALsup,Sp]= textread('Data_hypso.txt') ;
n=length (ALinf); % nombre de ligne ;

```

```
for i=1:n;
    Elevation(i)=ALsup(i)-ALinf(i) ;
end

% Surface Cumulée
Sc(1)=Sp(1);

for i=2:n;
    Sc(i)=Sc(i-1)+ Sp(i);
end

% Surface partielle et cumulée en %

for i=1:n;
    Spp(i)=(Sp(i)/Sc(n) )*100;
    Scp(i)=(Sc(i)/Sc(n) )*100;
end

% tableau de calcul global

disp('Tableau des calcul pour courbe hypsometrique :')

tab_final=[ALinf, ALsup, Elevation', Sp, Spp', Sc', Scp'];
num2str(tab_final)

% dessin des courbes

figure(1)
plot(Scp, ALsup)
hold on
grid on

title('Courbe Hypsometrique du bassin versant de Mazzer');
legend('Surface cumulée en %', 'Altitude en m');
axis([0 100 400 1200])

xlabel('Surface cumulée [%]');
ylabel('Altitude [m]');
hold off

% calcul à partir du plot de l'altitude Altitude à 95%           H95% =560
m
disp('calcul à partir du plot de l'altitude Altitude à 95% [m]: ')

AL95= interp1 ( Scp, ALsup, 95)
% calcul à partir du plot Altitude à 5%           H5% =1090 m
disp('calcul à partir du plot de l'altitude Altitude à 5% [m]: ')
AL5= interp1 ( Scp, ALsup, 5)
% calcul à partir du plot Altitude médiane à 50%           H50% =690 m
disp('calcul à partir du plot de l'altitude mediane [m]: ')
AL50= interp1 ( Scp, ALsup, 50)

%=====
% Caractéristique du relief
%=====
```

```

disp('=====')
disp('Caractéristique du relief du BV')
disp('=====')

% I: indice de pente moyenne
% Hmoy: altitude moyenne
% D: Dénivelé spécifique
% Ig: indice de pente global
% Ip: indice de pente de Roche
% Dd: densité de drainage

% Indice de pente moyenne
disp('calcul de l indice de pente moyenne [%]: ')
I=(Hmax-Hmin)/(10*L) % 10 pour la conversion en pourcentage

% l'Altitude Moyenne

for i=1:n

ah(i)=((ALinf(i)+ALsup(i))/2)*Sp(i);
end
disp('altitude moyenne [m]: ')
Hmoy=sum(ah)/A

% Dénevelé
disp('la denivelee [m]: ')
D=AL5-AL95

% indice de pente global
disp('indice de pente global [m/km]: ')
Ig=D/L
% densité de drainage
disp('densité de drainage [km/km2]: ')
Li=input('Preciser la valeur de Li [km]: Li= ')
Dd=Li/A

%=====
% Temps de concentration
%=====
disp('=====')
disp('Calcul du Temps de Concentration')
disp('=====')
% Formule de Giordotti
disp('Temps de concentration par la formule de Giordotti [h]: Tc1= ')
Tc1=(4*sqrt(A)+(1.5*Ltw))/(0.8*(sqrt(Hmax-Hmin)))

% Formule de Ventura
disp('Temps de concentration par la formule de Ventura [h]: Tc2= ')
Tc2=0.13*sqrt(A/(I))

% Formule de Kirpich
disp('Temps de concentration par la formule de Kirpich [h]: Tc3= ')
Tc3=(0.1147/60)*((Ltw^(0.77))/(I^(0.385)))

% Formule de Passini
disp('Temps de concentration par la formule de Passini [h]: Tc4= ')
Tc4=(1.08*(Ltw*A)^(-1/3))/sqrt(I)

```

```
disp('moyenne des temps de concentration [h]: Tc= ')
Tc=mean([Tc1,Tc2,Tc3,Tc4,])
disp('choix de la valeur du temps de concentration a prendre en
consédration dans la suite de l étude : ')
Tc=input('tapez la valeur prendre en consideration : = ')

%=====
% ESTIMATION DES APPORTS
%=====

disp('=====')
disp('** ESTIMATION DES APPORTS **')
disp('=====')

% A: apport moyen en HM3
% Le: lame d'eau écoulé

% Formule ANRH

disp('Apport liquide par la formule de l ANRH [Hm3]: A1= ')
A1=0.513*((Pamoy/1000)^(2.683))*(Dd^(0.5))*(A^(0.842))

% Formule de Samie

disp('Apport liquide par la formule de SAMIE [Hm3]: A2= ')
Le1=(Pamoy/1000)*(293-2.2*sqrt(A));
A2=Le1*A/1000

% Formule de Deri 1

disp('Apport liquide par la formule de DERI I [Hm3]: A3= ')

A3=0.915*((Pamoy/1000)^(2.684))*(A^(0.842))

% Formule de Deri 2

% M0=11.8*((Pamoy)^2.82)
% Le3=M0*31.56
% A4=(Le3*A)/1000

% Formule de Mallet Gautier

disp('Apport liquide par la formule de Maillet Gautier [Hm3]: A4= ')
A4=0.6*(Pamoy/1000)*(1-(10)^(-0.36*(Pamoy/1000)^2))*1000

disp('moyenne des apports [Hm3]: Apport= ')
Apport=mean([A1,A2,A3,A4,])

disp('choix de la valeur de l apport a prendre en consédration dans la
suite de l étude : ')
Apport=input('tapez la valeur prendre en consideration : = ')

%=====
% APPORT FREQUENTIEL
%=====
```

```

%=====

disp('=====')
disp('**   APPORT FREQUENTIEL   **')
disp('=====')

disp('                                ')

disp('**   Formule de Padoum selon le guide ANBT - 2004   **')

% Formule de Padoum
% Guide ANBT, 2004

% Af: apport fréquentiel en hm3
% Uf:Variable réduite de Guass
% A0 apport moyen interannule en HM3
% Cvq coeffienct de variation de l'apport moyen
% M0 module spécifique de l apport annuel exprimé en l/s/km²
% K1 coefficient de réduction : 0,25<=K<=1. on consid-re K=0.25

disp('.....')
disp('**   Saisie des données pour l étude des apports frequentiels   ** ')
disp('.....')

kkk=input('[0]lecture des données a partir d un fichier ou [1] saisie des
donnees a l ecran: ');

if kkk ==1
    K1=input('coefficient de réduction qui augmente avec la pluviométrie
[0.25 < K1 < 1] choisir la valeur de K1: k1= ');
    M0=input('Module spécifique de l apport annuel, saisir la valeur de M0
[l/s.km2]: M0= ');
    Uf =input('Variable réduite de Gauss qui est en fonction de F: Uf= ');
else
    Apport_frequentiel_data= textread('Data_apport_frequentiel.txt','%f');
    K1=Apport_frequentiel_data(1);
    A0=Apport;
    M0=Apport_frequentiel_data(2);
    Uf=Apport_frequentiel_data(3);
end

disp('Cvq coefficient de variation de l apport moyen :')

Cvq=(0.93*K1)/((M0)^(0.23))

disp('Valeur de l apport fréquentiel par la formule de Padoum [Hm3] : Af=
')
Af=(A0/(sqrt((Cvq^2)+1)))*(exp((-Uf)*(sqrt(log((Cvq^2)+1))))))

%=====
%   APPORT SOLIDE
%=====

disp('=====')

```

```

disp('**   APPORT SOLIDE   **')
disp('=====')

% Ta: taux d'abbarasion en T/Km2.année
% H: lame d'ecoument en mm
% K2: paramètre caractéristique de la perméabilité du bassin
% Vm: volume mort
% A surface du BV
% U: vie utile de l'ouvrage
% Pe densité volumétrique des sédiments en T/m3
% Vutile volume utile de la retenue

disp('.....')
disp('**   Saisie des données pour l'étude du transport solide   **')
disp('.....')

kkkk=input('[0]lecture des données a partir d un fichier ou [1] saisie des
donnees a l ecran: ');

if kkkk==1
    K2=input('Paramètre caractéristique du degré deperméabilité du bassin
versant selon guide ANBT:[Elevée=8.5,Moyenne=75, Moyenne Faible = 350,
Faible=1400, Imperméable=3200] K2= ');
    Pe=input('densité volumétrique des sédiments [T/m3] voir guide ANRH:
Pe= ');
    U =input('Durée de vie utile de l ouvrage [années]: U= ');
else
    K2=Apport_frequeletiel_data(4);
    Pe=Apport_frequeletiel_data(5);
    U=Apport_frequeletiel_data(6);
    zone=Apport_frequeletiel_data(7)
    b=Apport_frequeletiel_data(8)
    Cr=Apport_frequeletiel_data(9)
end

H=mean([Le1,A4])
disp('Taux d abbarasion [t/m2]: Ta= ')
Ta=K2*(H^(0.15))

disp('Volume mort dans la retenue [Hm3]: Vm= ')
Vm=(Ta*A*U)/Pe

% le volume utile de la retenue
disp('*****')
disp('Volume utile de la retenue [Hm3]: Vutile= ')
Vutile=(Apport*1e+006)+Vm
disp('*****')

%=====
% Estimation de la pluie journalière maximale
%=====

```

```

disp('.....')
disp('** Estimation de la pluie journalière maximale **')
disp('.....')

disp('situation du BV dans la zone: ')
zone =input('choix de la relation selon la zone de situation du BV [1, 2 ou
3 selon ANRH]: zone= ');

if zone==1
    Pj=(0.0525*Pamoy)+18.6
elseif zone==2
    Pj=(0.088*Pamoy)+9.2
else
    Pj=(0.233*Pamoy)+6.1
end

%=====
% Estimation de la pluie maximum de différente fréquence
%=====

disp('.....')
disp('** Estimation de la pluie maximum de différente fréquence **')
disp('.....')

%Cv : coeficient de cariation
% Z variable de gauss
Cv=0.45;
% T=10 ans
Z=1.25;
disp('Pluie maximum [mm]de periode deretour [T=10 ans]: PjT10= ')

PjT10=(Pj*exp(Z*(sqrt(log (Cv^2+1)))))/(Cv^2+1)
% T=50 ans
disp('Pluie maximum [mm]de periode deretour [T=50 ans]: PjT50= ')

Z=2.05;
PjT50=(Pj*exp(Z*(sqrt(log (Cv^2+1)))))/(Cv^2+1)
% T=100 ans
disp('Pluie maximum [mm]de periode deretour [T=100 ans]: PjT100= ')

Z=2.33;
PjT100=(Pj*exp(Z*(sqrt(log (Cv^2+1)))))/(Cv^2+1)

% T=1000 ans
disp('Pluie maximum [mm]de periode deretour [T=1000 ans]: PjT1000= ')
Z=3.10;
PjT1000=(Pj*exp(Z*(sqrt(log (Cv^2+1)))))/(Cv^2+1);

%=====
% Estimation de la pluie maximum de différente fréquence de courtes durées
%=====

disp('.....')
disp('** Estimation de la pluie maximum de différente fréquence de
courtes durées **')

```

```

disp('.....
.....')

% b: exposant climatique
% PjF: pluie de différentes fréquences et de différences durées
b=input('exposant climatique de la zone selon ANRH: b= ');
t=1:24;
for i=1:24;
    PjF10(i)=PjT10*((t(i)/24)^(b));
    PjF50(i)=PjT50*((t(i)/24)^(b));
    PjF100(i)=PjT100*((t(i)/24)^(b));
    PjF1000(i)=PjT1000*((t(i)/24)^(b));
end

disp('*** tableau de la hateur des pluies de différentes fréquences et de
courtes durées ** ')
tab_PjF=[t',PjF10',PjF50',PjF100',PjF1000']

%=====
% Prédétermination des crues
%=====

disp('=====')
disp('**  PREDITERMINATION DES CRUES  ** ')
disp('=====')

disp('**  Formule de Samie  ** ')
disp('-----')

% Formule de Samie
%=====

% Cr: coefficient de ruissellement
% Qjmoy10: débit moyen journalier de peériode de retour T
% PTc10: Pluie de durée TC et de période de retour 10 ans
% QmaxF10_Samie: Débit max de période de retour 10 ans selon Samie

Cr=input('coefficient de ruissellement: Cr= ')

% T=10 ans
Qjmoy10_Samie=(PjT10*A*1e+3*Cr)/86400;
PTc10=PjT10*((Tc/24)^(b));
QmaxF10_Samie=Qjmoy10_Samie *(PTc10/PjT10)*(24/Tc);

disp(['Débit decennale par la formule de Samie = ',num2str(QmaxF10_Samie),'
m3/s'])

% T=50 ans
Qjmoy50_Samie=(PjT50*A*1e+3*Cr)/86400;
PTc50=PjT50*((Tc/24)^(b));
QmaxF50_Samie = Qjmoy50_Samie *(PTc50/PjT50)*(24/Tc);
disp(['Débit cenquantenal par la formule de Samie =
',num2str(QmaxF50_Samie),' m3/s'])

```

```

% T=100 ans
Qjmoy100_Samie=(PjT100*A*1e+3*Cr)/86400;
PTc100=PjT100*((Tc/24)^(b));
QmaxF100_Samie= Qjmoy100_Samie *(PTc100/PjT100)*(24/Tc);

disp(['Débit centennale par la formule de Samie =
',num2str(QmaxF100_Samie),' m3/s'])

% T=1000 ans
Qjmoy1000_Samie=(PjT1000*A*1e+3*Cr)/86400;
PTc1000=PjT1000*((Tc/24)^(b));
QmaxF1000_Samie=Qjmoy1000_Samie *(PTc1000/PjT1000)*(24/Tc);
disp(['Débit millénal par la formule de Samie =
',num2str(QmaxF1000_Samie),' m3/s'])

%=====
% Formule de Turazza
%=====
disp('** Formule de Turazza ** ')
disp('-----')

% QmaxF10_Turazza: Débit max de période de retour 10 ans selon Turazza

% T=10 ans
QmaxF10_Turazza=(Cr*PTc10*A)/(3.6*Tc);
disp(['Débit decennale par la formule de Turazza =
',num2str(QmaxF10_Turazza),' m3/s'])

% T=50 ans
QmaxF50_Turazza=(Cr*PTc50*A)/(3.6*Tc);
disp(['Débit cequnatenale par la formule de Turazza =
',num2str(QmaxF50_Turazza),' m3/s'])

% T=100 ans
QmaxF100_Turazza=(Cr*PTc100*A)/(3.6*Tc);

disp(['Débit centennale par la formule de Turazza =
',num2str(QmaxF100_Turazza),' m3/s'])
% T=1000 ans
QmaxF1000_Turazza=(Cr*PTc1000*A)/(3.6*Tc);

disp(['Débit millénal par la formule de Turazza =
',num2str(QmaxF1000_Turazza),' m3/s'])

disp('
')

disp('** Valeurs moyennes des apports des diférentes formules ** ')
disp('-----')

Tab_Apport=[mean([QmaxF10_Samie,QmaxF10_Turazza]),mean([QmaxF50_Samie,QmaxF
50_Turazza]),mean([QmaxF100_Samie,QmaxF100_Turazza]),mean([QmaxF1000_Samie,
QmaxF1000_Turazza])];

disp('=====')
disp('** DIMENSIONNEMENT DE LA DIGUE ** ')

```

```

disp('=====')

%+++++
%   Calcul Hydraulique de la digue
%=====

% Qm(t) : débit instantané au moment de monté t
% Qd(t) : débit instantané au moment de la décrue t
% QmaxF : débit maximum de la décrue à une fréquence donnée.
% m : exposant de la parabole généralement égale à 2
% n : exposant de la parabole généralement égale à 3
% Pour le temps de montée et de décrue Sokolovski suppose que :
% Tm : temps de montée en heures = Tc
% Td : temps de descente en heures =3 Tc
% Tc : temps de concentration

m=2;
n=3;
Tm=Tc;
Td=3*Tc;
TD=Tm+Td;
% Période de la montée
%=====

QmaxF10=Tab_Apport(1);
QmaxF50=Tab_Apport(2);
QmaxF100=Tab_Apport(3);
QmaxF1000=Tab_Apport(4);
%t=[1:1:Tm,Tc]

%t=[1:1:Tc,Tc,(floor(Tc)+1):1:(Tm+Td),(Tm+Td)]
t=[1:1:Tc,Tc]
o=length(t)

% Période de montée

for i=1:o
    Qm_10(i)=QmaxF10*(t(i)/Tm)^m;
    Qm_50(i)=QmaxF50*(t(i)/Tm)^m;
    Qm_100(i)=QmaxF100*(t(i)/Tm)^m;
    Qm_1000(i)=QmaxF1000*(t(i)/Tm)^m;
end
Tab_Qm= num2str([t',Qm_10',Qm_50',Qm_100',Qm_1000']);

% Période de décrue
%=====

tt=[(floor(Tc)+1):1:(Tm+Td),(Tm+Td)];
oo=length(tt);

for j=1:oo
    Qd_10(j)=QmaxF10*((Td-(tt(j)-Tc))/Td)^(n);
    Qd_50(j)=QmaxF50*((Td-(tt(j)-Tc))/Td)^(n);
    Qd_100(j)=QmaxF100*((Td-(tt(j)-Tc))/Td)^(n);
    Qd_1000(j)=QmaxF1000*((Td-(tt(j)-Tc))/Td)^(n);
end

```

```
Tab_Qd= num2str([tt', Qd_10',Qd_50',Qd_100',Qd_1000']);

disp
('*****
*****')

disp ('Tableau des valeurs des hydrogrammes de crue de défférentes periodes
de retour')

disp
('*****
*****')

Tab_Crue=[Tab_Qm ;Tab_Qd]

figure(2)
BB=str2num(Tab_Crue(:,2:end));
plot (BB(:,2:end));
hold on ;
grid on ;

title('Hydrogramme de crue ');
legend('Hydrogramme de période de retour T=10 ans', 'Hydrogramme de période
de retour T=50 ans', 'Hydrogramme de période de retour T=100
ans','Hydrogramme de période de retour T=100 ans');
axis([0 (TD+4) 000 (QmaxF1000+200)]);

xlabel('temps [h]');
ylabel('Débit[m3/s]');
hold off;

disp('=====')
disp('** DETERMINATION DU NIVEAU NORMAL de RETENUE ** ')
disp('=====')

% ++++++
% programme courbe hauteur surface +
% hauteur volume +
% +
% ++++++

% liste des variables
% C: les cotes en mètre
% Sp: surface partielle entre deux côtes en km²*
% Sc: surface cumulée km²
% Hp: hauteur partielle en mètre
% Hc: hauteur cumulée en mètre
% Sm: surface moyenne en km²
% Vp : volume partielle en HM3
% Vt: volume totale en HM3

% lecture des données cote et Sp ;
```

```
[C,Sp]=textread('Data_H_V_S.txt') ;
i=1:17 ; % nombre de ligne ;

% calcul de la surface cuùulée

% pour la première ligne initialisation
Sc(1)= 0;

% pour les lignes de 2 à 17

for i=2:17;
    Sc(i)=Sc(i-1)+Sp(i) ;
end

% calcul de la hauteur partielle

% pour la première ligne initialisation
Hp(1)= 0;

% pour les lignes de 2 à 17

for i=2:17;
    Hp(i)=C(i)-C(i-1) ;
end

% calcul de la hauteur cumulée

% pour la première ligne initialisation
Hc(1)= 0;

% pour les lignes de 2 à 17

for i=2:17;
    Hc(i)=Hc(i-1)+Hp(i) ;
end

% calcul de la surface moyenne
% pour la première ligne initialisation
Sm(1)= 0;
% pour les lignes de 2 à 17

for i=2:17;
    Sm(i)= (Sp(i-1)+Sp(i))/2 ;
end

% calcul du volume partiel

% pour la première ligne initialisation
Vp(1)= 0;

% pour les lignes de 2 à 17

for i=2:17;
    Vp(i)= Hp(i)* Sm(i) ;
end

% calcul du volume totale
```

```

% pour la première ligne initialisation
Vt(1)= 0;

% pour les lignes de 2 à 17

for i=2:17;
    Vt(i)=Vt(i-1)+Vp(i) ;
end

% tableau de calcul global

disp('=====')
disp('**  Tableau calcul courbe Hauteur=F(surface/volume)  ** ')
disp('=====')
tab_final_2= num2str([C, Sp, Sc', Hp', Hc', Sm', Vp', Vt'])

% dessin des courbes
figure(3)
plot(Hc, Sc)
hold on
plot(Hc, Vt, 'k')
grid on
title('Courbe Hauteur-Surface-Volume');
legend('Hauteur-Surface', 'Hauteur-Volume');
axis([0 18 0 14])
xlabel('Hc');
ylabel('Sc/Vt');
hold off

disp('=====')
disp('**  Calcul de la régularisation  ** ')
disp('=====')

% %%%%%%%%%%%
%   Calcul de la régularisation           %
%                                         %
% %%%%%%%%%%%

% Mois
Mois =1:12;
% lecture des apports
apport= textread('apports.txt');
% lecture des infiltrations
Inf= textread('Infiltration.txt');
% lecture des besoins
[Irr, AEP, Ind]= textread('besoin.txt');
% lecture de l'évaporation
Evaporation= textread('Evaporation.txt');

disp('=====')
disp('**  Calcul de la régularisation  ** ')
disp('=====')
disp(' ')
disp(' ')
disp(' ')
disp('**  valeur du volume mort calculer précédement  ** ')

Vm %   afficher la valeur du volume mort calculée précédement

```

```
Vm=input('entrer la valeur du volume mort [hm3]: Vm= ');

Volume_Stock (1)= apport(1)+ Vm;
Hauteur_Plan_Eau(1)= interp1 (Vt,Hc, Volume_Stock (1));
% surface inondée par le barrage
Surface_Inondee (1) = interp1 (Hc,Sc,Hauteur_Plan_Eau(1) ) ;
% Volume perte évaporation
Volume_evapore(1)= (Surface_Inondee (1)* Evaporation(1))/ 1000 ;
% volume qui reste a la fin du mois
Volume_fin_mois(1)= Volume_Stock (1)- Volume_evapore(1)- Inf(1)-Irr(1)-
AEP(1)-Ind(1);
% hauteur d'eau dans le barrage à la fin du mois
Hauteur_Plan_Eau_2(1)= interp1 (Vt,Hc, Volume_fin_mois(1));

for i=2:12
Volume_Stock (i)= apport(i)+ Volume_fin_mois(i-1);
Hauteur_Plan_Eau(i)= interp1 (Vt,Hc, Volume_Stock (i));
% surface inondée par le barrage
Surface_Inondee (i) = interp1 (Hc,Sc,Hauteur_Plan_Eau(i) ) ;
% Volume perte évaporation
Volume_evapore(i)= (Surface_Inondee (i)* Evaporation(i))/ 1000 ;
% volume qui reste a la fin du mois
Volume_fin_mois(i)= Volume_Stock (i)- Volume_evapore(i)- Inf(i)-Irr(i)-
AEP(i)-Ind(i);
% hauteur d'eau dans le barrage à la fin du mois
Hauteur_Plan_Eau_2(i)= interp1 (Vt,Hc, Volume_fin_mois(i));
end

disp('=====')
disp('** Calcul de la régularisation ** ')
disp('=====')
disp(' ')
disp(' ')
NNR=max (Hauteur_Plan_Eau_2)
disp(' ')
disp(' ')
disp(' ')
disp(' ')
Vm=input('entrer la valeur du NNR adoptée [hm3]: Vm= ');
```

2 PARTIE EXPLOITATION DES PROGRAMMES

2.1 PRESENTATION DE LA REGION

La Daïra d'Igli s'étend sur une superficie de 6320 km², elle est située à 160 Km au Sud-Ouest de la commune de Béchar, (chef-lieu de la Wilaya de Bechar), située à 1000 Km de la capitale Alger au flanc du Sud-Ouest algérien. La Daïra d'Igli, qui est l'objet de cette étude est limitée par les communes suivantes :

- Au Nord par les communes suivantes : Taghit, Abadla, et Mechra Houari Boumediene,
- A l'Est et au Sud par la commune de Beni Abbès,
- A l'Ouest par la commune de Tabelbala.

Ces communes sont représentées dans les figures (1 et 2).

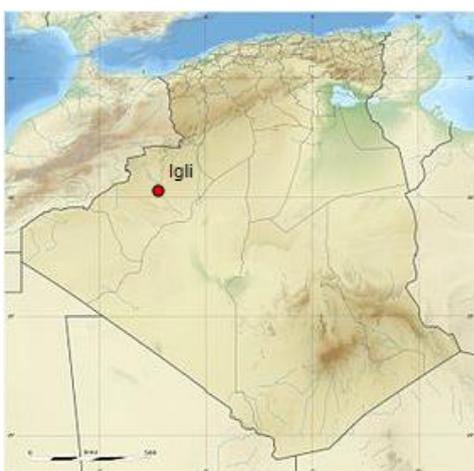


Figure 1 : Situation géographique de la daïra d'Igli

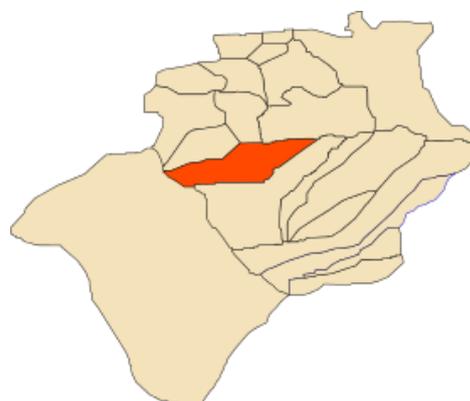


Figure 2 : Localisation de la commune d'Igli dans la wilaya de Béchar

Igli est le lieu de confluence de l'oued Guir et de l'oued Zouzfana, qui forment alors l'oued Saoura. Le site de notre projet se trouve en aval de la confluence de l'Oued Guir et Zouzfana, au niveau du village Mazzer situé à environ 20 km au sud d'Igli et à 170 km au sud de Béchar (fig. 3). Ce site présente les caractéristiques requises pour la construction d'une digue de retenue.

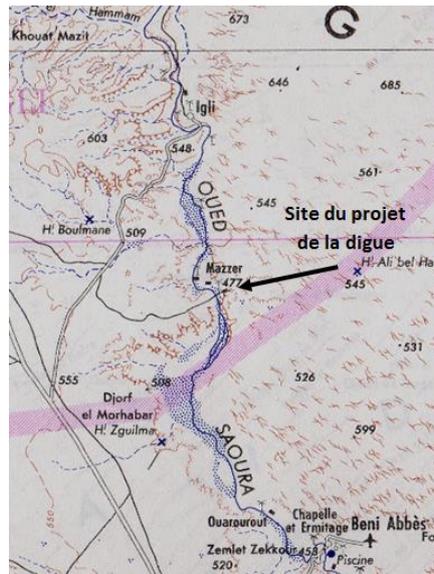


Figure 3 : Localisation du site de la digue au niveau du village de Mazzer

3 HYDROLOGIE ET CLIMATOLOGIE

3.1 CARACTERISTIQUES PHYSICO-GEOGRAPHIQUES DU BASSIN VERSANT DE LA REGION D'ETUDE.

3.1.1 Cadre générale du bassin versant de la Saoura

Le bassin versant de la Saoura, situé au Sud-Ouest du territoire algérien (fig.4), s'étend sur la totalité de la wilaya de Bechar. Il fait partie du grand bassin versant de Sahara d'indice 13 selon la codification de l'ANRH. Le bassin de la Saoura occupe une superficie de l'ordre 100 000 Km².

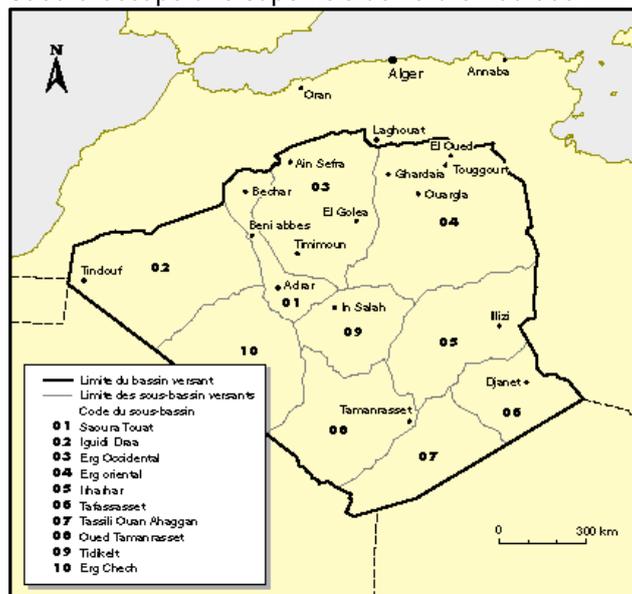


Figure 4 : Carte des sous bassins versants du grand bassin hydrographique SAHARA

3.1.1.1 Hydrographie

Le système hydrographique est constitué de deux importants oueds, le Guire et le Zouzfana, alimentant à leur confluence à Igli, le cours d'eau de la Saoura (fig. 5)

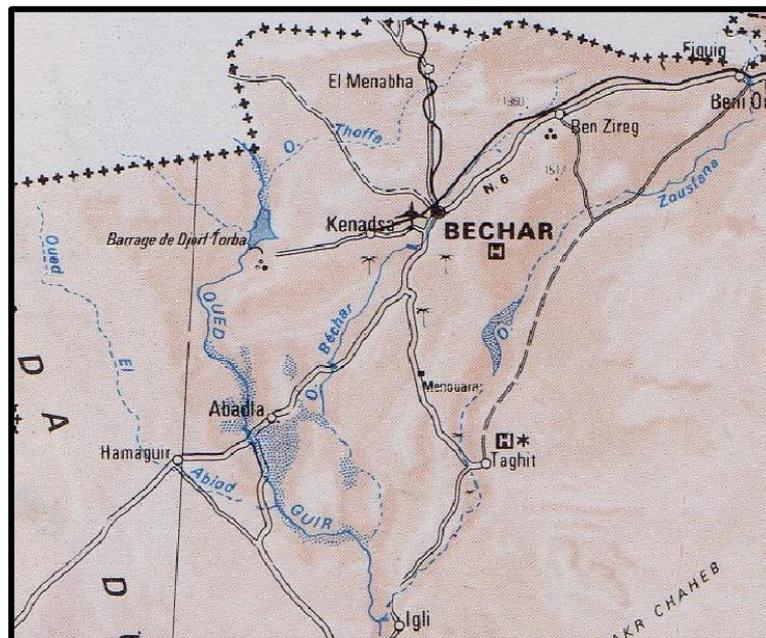


Figure 5 : Confluences des Oueds Guir, Bechar et Zouzfana à Igli

Le bassin versant de la Saoura est composé de quatre sous bassins de taille variée (fig. 6). Ils sont drainés par des cours d'eau descendants de l'Atlas Marocain et de l'Atlas saharien et coulent du Nord vers le Sud.

3.1.1.2 Oued Bechar

L'oued Bechar prend sa source vers 1600m d'altitude dans le Djebel Grouz. Il draine une surface de 5800 km² environ. Il est situé au pied du versant sud de l'Atlas Saharien. L'Oued descend rapidement sur la Hamada ou il reçoit de nombreux affluents venant des djebels Horriet et Bechar dont le plus important est l'oued Sfeiah. Après un parcours d'une centaine de kilomètres, il va se perdre dans la Dait Tior.

3.1.1.3 Oued Guir

Oued Guir est le plus important cours d'eau du bassin de la Saoura de 450 km de longueur. Il prend naissance à 2200 m d'altitude dans le Djebel Aichi (versant méridionale de l'Atlas marocain). Le Guir draine un bassin dont la surface avoisine 27000 km². Dans un but d'une meilleure gestion de ses eaux, et pour développer le domaine agricole et industriel de la vallée de la Saoura, un barrage a été construit en 1969 à Djorf Torba à 50km, en amont d'Abadla. La capacité de ce barrage est d'environ 360 millions de m³.

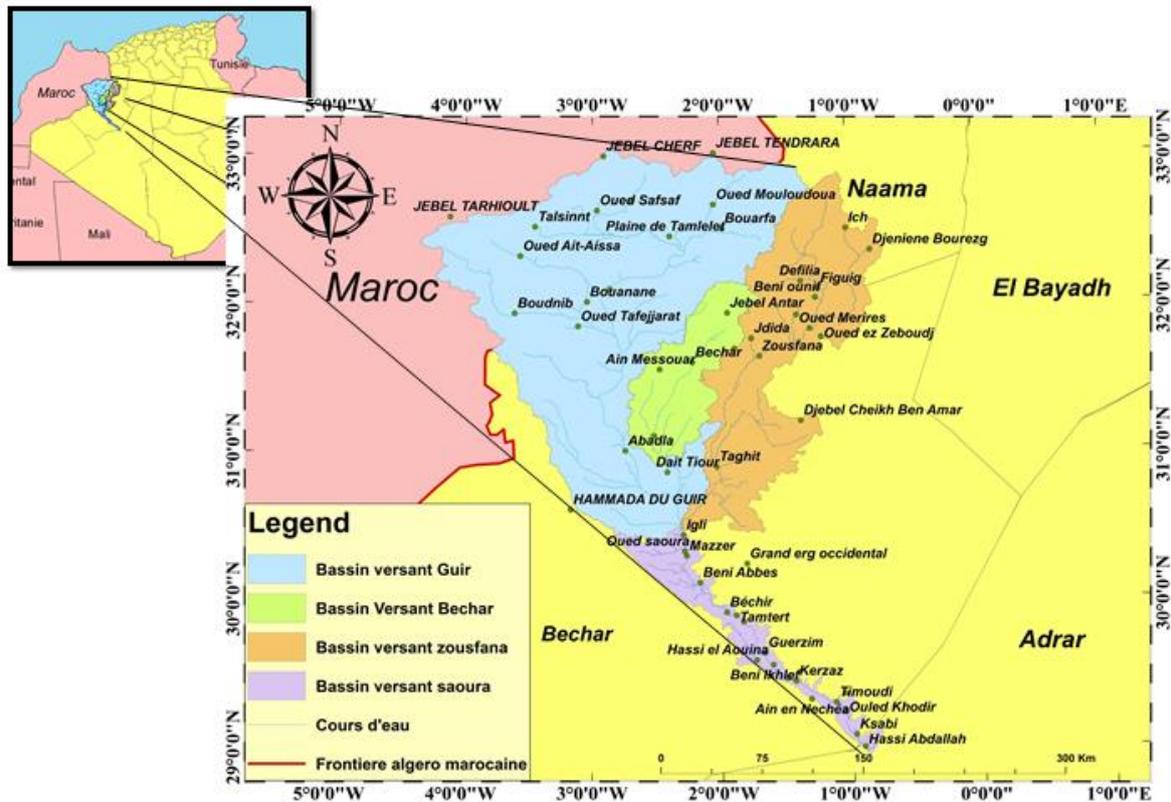


Figure 6 : Situation du bassin versant de la Saoura

3.1.1.4 Oued Zouzfana

Cet affluent du Guir descend de l'Atlas saharien d'où il prend sa source à 1600 m d'altitude à l'extrémité occidentale des monts des Ksour. Son bassin versant s'étend sur une surface de 16 600 km². L'Oued Zouzfana suit un parcours de 360 Km. Son principal affluent est l'oued Zoubia. A l'aval, le cours d'eau très dégradé fonctionne comme un canal de dérivation.

3.1.1.5 Oued Saoura

L'oued Saoura commence à Igli au confluent du Guir, Bechar et de la Zousfana, descendus respectivement du Haut Atlas Marocain et de l'Atlas Saharien (fig. 7).

Les écoulements provoqués généralement par les précipitations sur le haut bassin, déferlent plus ou moins loin en aval. Passant par la région de Béni Abbès ou le lit de l'oued devenu plus large, pour atteindre une cuvette fermée, la Sebkhah el Mellah, par l'intermédiaire de l'oued Es Souireg qui descend vers le Nord-Ouest à la sortie du Fom el Kheneg.

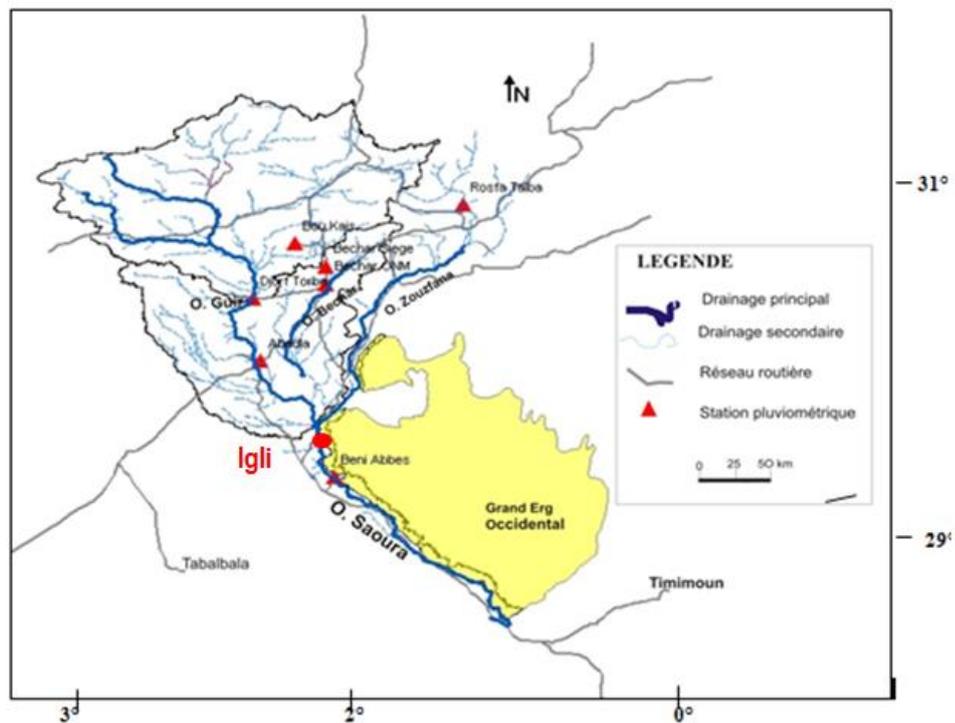


Figure 7: Réseau hydrographique du bassin versant de la Saoura

3.1.2 Description du bassin versant de la zone d'étude

Le bassin versant qui alimentera la future digue au niveau du site choisi à Mazzer, sera délimiter à partir d'un Modèle Numérique de Terrain en utilisant le programme ArcHydro® sous ArcGIS®. Les limites du bassin versant sont conditionnées par les nombreuses digues de retenues existantes sur les Oueds (Bechar, Guir, Zouzfana) qui forment la Saoura et du barrage Djorf Torba. Le bassin versant de la digue de Mazzer est illustrée dans la figure (8).



Figure 8 : Illustration du bassin versant de Mazzer (en jaune)

3.1.3 Caractéristiques morphométriques du bassin versant

Nous, nous intéresserons dans cette partie particulièrement aux unités hydrologiques contrôlées par des stations de jaugeage. Les formes des bassins correspondants étant donc plus ou moins semblables. Les différents paramètres décrivant les réseaux hydrographiques et les caractéristiques du bassin versant sont listés dans le tableau ci-dessous

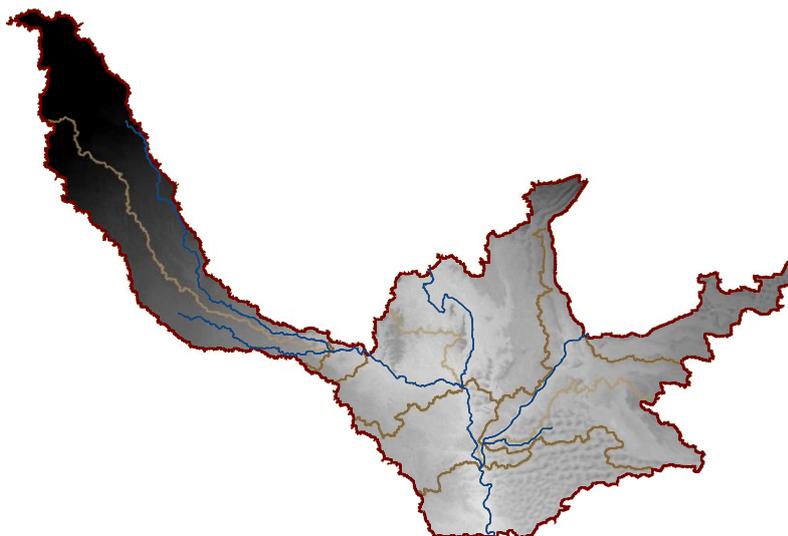


Figure 9 : Réseau hydrographique et sous bassins versants du bassin de Mazzer

3.1.3.1 Surface est périmètre du bassin versant

La surface, le périmètre et les caractéristiques morphométriques du bassin versant de Mazzer est obtenue en utilisant le logiciel ArcGIS®. Ces caractéristiques sont présentées au tableau n°1

Tableau 1 : Caractéristiques bassin versant de Mazzer

Caractéristiques	Unités	Valeur
- Surface du BV	Km ²	8463.49
- Périmètre du BV	Km	1651.52
- Longueur du Talweg principale	Km	116.79
- Somme des cours d'eaux	Km	383,52
- Hauteur : H_{max}	m	1195
H_{min}	m	421

3.1.3.2 La forme

La caractéristique de forme la plus utilisée est le coefficient de compacité de Gravelius K_c (1914). Il se définit comme le rapport du périmètre du bassin au périmètre du cercle ayant la même surface :

$$K_c = \frac{P}{2 \cdot \sqrt{\pi \cdot A}} = 0.28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Avec :

K_c est l'indice de compacité de Gravelius,

A : surface du bassin versant [km²],

P : périmètre du bassin [km].

$$K_c = 0.28 \cdot \frac{1651.52}{\sqrt{8463.49}} = 5.02$$

$K_c > 1.12$ la forme du bassin versant se représente par un rectangle équivalent.

$$(L, I) = \frac{K_c \cdot \sqrt{A}}{1.12} \cdot \left(1 \pm \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_c}\right)^2}\right)$$

Les dimensions du rectangle équivalent sont : $L=814.3$ km et $I=10.39$ km. La figure n°10 donne une représentation du rectangle équivalent avec la répartition hypsométrique

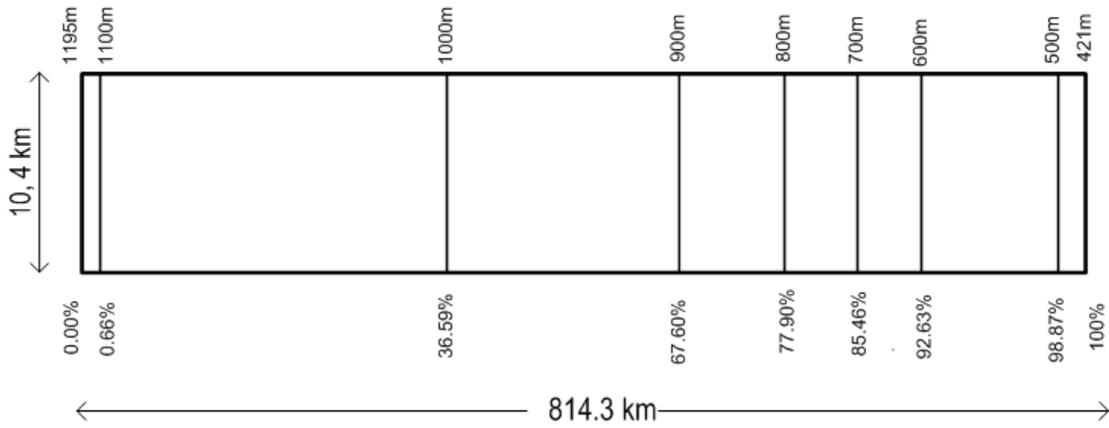


Figure 10 : rectangle équivalent du bassin versant de Mazzer avec la répartition hypsométrique

Calcul avec le programme Matlab

Les données seront entrées à partir d'un fichier texte comme suit

```

BV_data - Bloc-notes
Fichier Edition Format Affichage ?
8463.49
1651.52
116.79
383.52
1195
421
380.85
45
    
```

- Surface du BV
- Périmètre du BV
- Longueur du Talweg principale
- Somme des cours d'eaux
- Hmax
- Hmin
- Li: somme des longueurs des cours d'eau
- Pamoy: pluie moyenne annuelle

```
Current Directory: E:\Mes_Masters\Master_2018\Mazbour_Kheireddine  
v  
Command Window  
*****  
** OUTILS D AIDE A L ETUDE ET AU DIMENSIONNEMENT DES DIGUES EN TERRE **  
*****  
** ETUDE HYDROLOGIQUE **  
*****  
-----  
** Détermination des paramètres BV **  
-----  
.....  
** Saisie des données géométriques du BV **  
.....  
[0] lecture des données a partir d un fichier ou [1] saisie des données a l écran: 0  
Calcul du coefficient de compacité de Graviulis  
-----  
Kc =  
-----  
5.0641  
-----  
selon la valeur de Kc le BV est de forme rectangulaire  
La longueur équivalente L [km] est :  
-----  
L =  
-----  
821.6371  
-----  
La largeur équivalente l [km] est :  
-----  
l =  
-----  
10.3008  
-----  
Workspace  
Name Value  
A 8.4635e+0  
A0 8.7600  
A1 0.0469  
A2 34.5080  
A3 0.4504  
A4 0.0453  
AL5 1.1835e+0  
AL50 1.0568e+0  
AL95 662.0745  
ALinf [1100;1000  
ALsup [1195;1100  
Af 5.5482  
-----  
Command History  
15.89  
8.76  
0  
3  
0.45  
0.2  
0  
200  
15.89  
8.76  
0  
3  
0.45  
0.2
```

3.1.3.3 Le relief

Le relief est souvent caractérisé par la courbe hypsométrique du bassin versant. Les données des altitudes et surfaces sont extraites à partir de la carte des pentes (figure n°10).



Figure 11 : Carte des pentes du bassin versant de Mazzer

3.1.3.4 Caractéristiques hypsométriques du bassin versant

Les données hypsométriques du bassin versant sont données dans le tableau n°2

Tableau 2 : Données hypsométriques du bassin versant de Mazzer

Altitude (m)		Elévation (m)	Surface partielle (A_i) (km^2)	Surface partielle (A_i) (%)	Surface cumulée (A) (km^2)	Surface cumulée (%)	$A_i h_i$ $m.km^2$
Inferieur	supérieure						
1100	1195	95	55,74	0,66	55,74	0,66	63963,24
1000	1100	100	3041,19	35,93	3096,94	36,59	3193253,31
900	1000	100	2624,79	31,01	5721,73	67,60	2493554,19
800	800	100	871,22	10,29	6592,95	77,90	696978,34
700	800	100	639,96	7,56	7232,91	85,46	479971,60
600	700	100	607,15	7,17	7840,06	92,63	394644,46
500	600	100	528,05	6,24	8368,11	98,87	290425,65
421	500	79	95,39	1,13	8463,49	100,00	43925,37
Total			8463,49	100,00	$\sum A_i h_i$		7656716,17

Altitude à 95% $H_{95\%} = 560$ m

Altitude à 5% $H_{5\%} = 1090$ m

Altitude médiane à 50% $H_{50\%} = 690$ m

La courbe hypsométrique du relief du bassin versant de Mazzer est donnée par la figure n°11

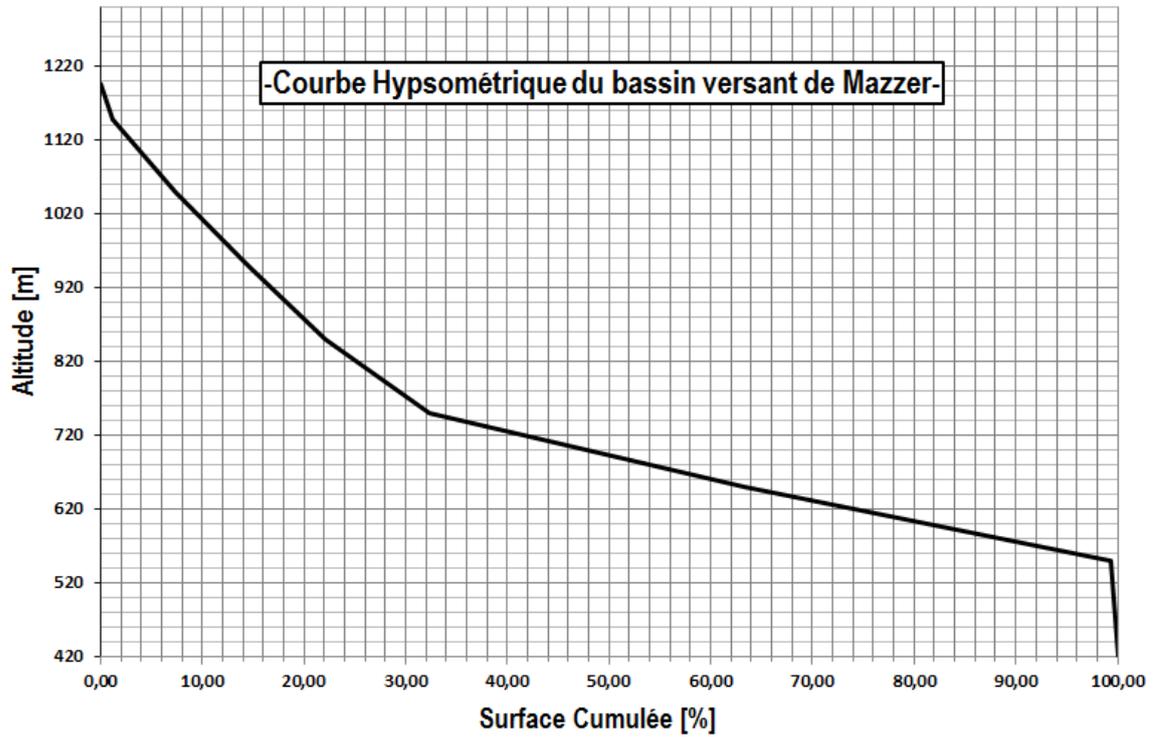


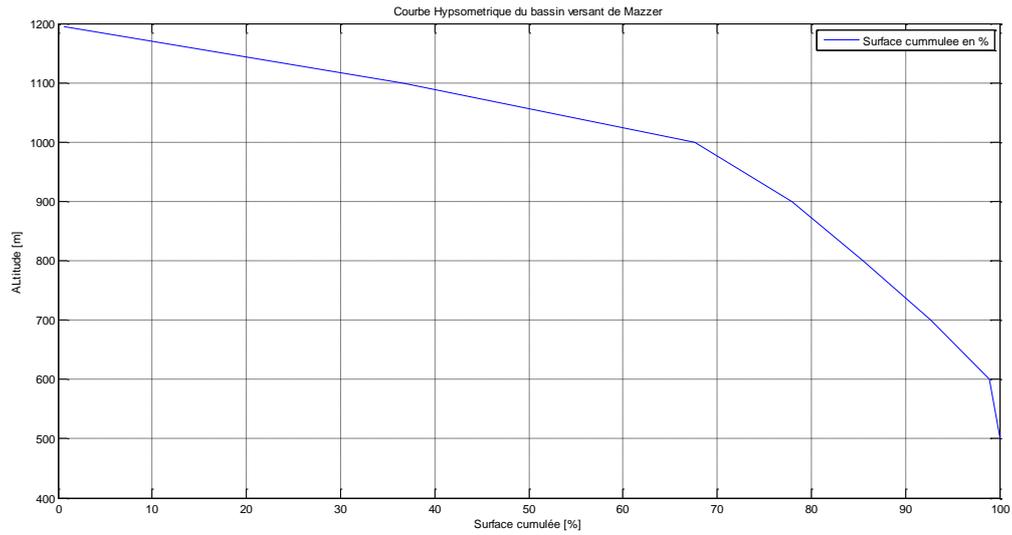
Figure 12 : Courbe hypsométrique du bassin versant de Mazzer

```
=====
Construction de la courbe hypsométrique
=====
```

Tableau des calcul pour courbe hypsométrique :

ans =

1100	1195	95	55.74	0.65859356	55.74	0.65859356
1000	1100	100	3041.19	35.933049	3096.93	36.591642
900	1000	100	2624.79	31.013093	5721.72	67.604735
800	900	100	871.22	10.293862	6592.94	77.898597
700	800	100	639.96	7.5614197	7232.9	85.460017
600	700	100	607.15	7.1737546	7840.05	92.633772
500	600	100	528.05	6.2391519	8368.1	98.872924
421	500	79	95.39	1.1270764	8463.49	100



calcul à partir du plot de l'altitude Altitude à 95% [m]:

AL95 =

662.0745

calcul à partir du plot de l'altitude Altitude à 5% [m]:

AL5 =

1.1835e+003

calcul à partir du plot de l'altitude mediane [m]:

AL50 =

1.0568e+003

3.1.3.5 Caractéristiques de relief

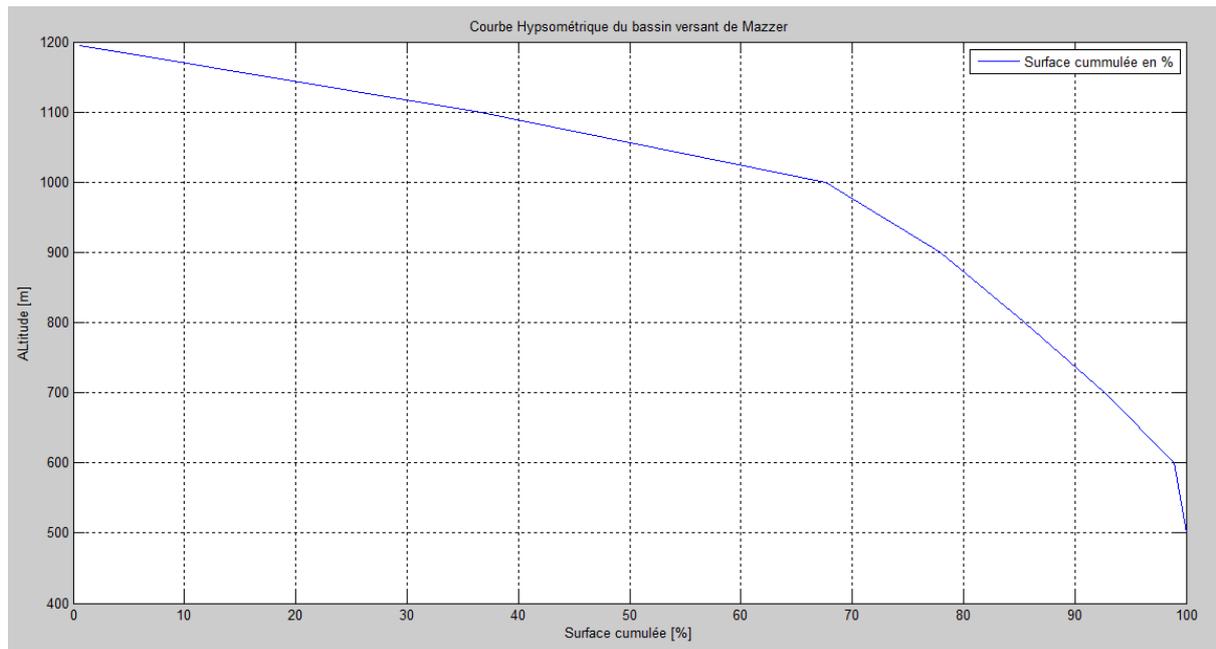
Les principales caractéristiques de relief et de pente sont regroupées dans le tableau suivant :

Tableau 3 : Caractéristiques de relief du bassin versant

Paramètres	Désignation	Formule	Unité	Valeur
Indice de pente moyenne	i	$i = \frac{H_{max} - H_{min}}{L}$	%	0.1
L'altitude moyenne	H_{moy}	$H_{moy} = \frac{\sum A_i h_i}{A}$	m	904.68
Dénivelé	D	$D = H_{5\%} - H_{95\%}$	m	530
Indice de pente globale	I_g	$I_g = \frac{D}{L}$ $= \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L}$	m/km	0.65
Indice de pente de Roche	I_p	$I_p = \frac{\sqrt{D}}{\sqrt{L}} \cdot \sum \sqrt{B_j}$	%	8.56
Dénivelée spécifique	D_s	$D_s = I_g \cdot \sqrt{A}$	m	59.80
Densité de drainage	D_d	$D_d = \frac{\sum L_i}{A}$	km/km ²	0.045
Pente moyenne du cours d'eau	i_r	$I_g = \frac{\Delta h}{L}$	m/km	1.13

Fichier de données

Fichier	Edition	Format	Affichage ?
1100	1195	55.74	
1000	1100	3041.19	
900	1000	2624.79	
800	900	871.22	
700	800	639.96	
600	700	607.15	
500	600	528.05	
421	500	95.39	



```

=====
Caractéristique du relief du BV
=====
calcul de l indice de pente moyenne [%]:

I =

    0.0942

altitude moyenne [m]:

Hmoy =

    909.8222

la dénivellation [m]:

D =

    521.4476

indice de pente global [m/km]:

Ig =

    0.6346

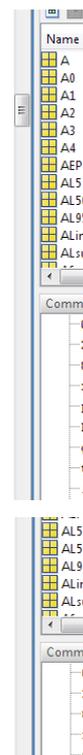
densité de drainage [km/km2]:
Préciser la valeur de Li [km]: Li= 200

Li =

    200

Dd =

    0.0236
=====
    
```



3.1.4 Caractéristiques hydrographiques du bassin versant

3.1.4.1 Le Temps de concentration

Le temps de concentration est une des caractéristiques importantes du bassin versant, car elle reflète sa réponse aux différentes sollicitations pluvieuses.

Il existe de nombreuses formules pour estimer le temps de concentration en fonction des caractéristiques du bassin versants. Les plus utilisées sont présentés ans le tableau suivant :

Tableau 4 : Différentes formules pour estimer le temps de concentration

Ordre	Nom	Formule	Valeur du t_c (heures)
1	Giondotti	$t_c = \frac{4 \cdot \sqrt{A} + 1,5L}{0,8\sqrt{H_{max} - H_{min}}}$	60.20
2	Ventura	$t_c = 0.13 \cdot \sqrt{\frac{A}{I}}$	112.51
3	Kirpich	$t_c = \frac{0,1147}{60} \cdot \frac{L^{0,77}}{I^{0,385}}$	85.68
4	Passini	$t_c = 1.08 \cdot \frac{\sqrt[3]{L \cdot A}}{\sqrt{I}}$	101.21
<p>Où :</p> <p>t_c = temps de concentration en heure I : pente moyenne [%] A = Surface du bassin versant (Km²)</p> <p>H_{max}: Altitude maximale (m) H_{min}: Altitude minimale (m) L = Longueur du talweg principal (km)</p>			

Nous remarquons que les valeurs du temps concentration du tableau n°4 sont très grandes et semblent supérieure à la réalité du terrain.

Par ailleurs, l'ANBT(2004) recommande l'utilisation de la formule suivante pour le calcul du temps concentration

$$t_c = 0.3 \left(\frac{L}{I r^{1/4}} \right)^{0.76}$$

Avec

Tc: Temps de concentration en heures.

L: Longueur de la rivière principale en km.

Ir: Pente moyenne de la rivière principale, en m/m.

La valeur du temps de concentration prise en compte est de **$t_c=16.91$ heures**

```

=====
Calcul du Temps de Concentration
=====
Temps de concentration par la formule de Giondotti [h]: Tc1=

Tc1 =

    24.4050

Temps de concentration par la formule de Ventura [h]: Tc2=

Tc2 =

    38.9662

Temps de concentration par la formule de Kirpich [h]: Tc3=

Tc3 =

    0.1855

Temps de concentration par la formule de Passini [h]: Tc4=

Tc4 =

    0.0353
    
```

```

moyenne des temps de concentration [h]: Tc=

Tc =

    15.8980

choix de la valeur du temps de concentration a prendre en consédiration dans la suite de l étude :
tapez la valeur prendre en consideration : = 15.89

Tc =

    15.8900
    
```

3.1.5 Récapitulation des résultats

Une synthèse des résultats des calculs des caractéristiques du bassin versant de Mazzer est donnée dans le tableau n° 5.

Tableau 5 : récapitulation des caractéristiques du bassin versant de Mazzer

Caractéristiques	Unités	Valeur
Surface du BV	Km ²	8463.49
Périmètre du BV	Km	1651.52
Longueur du Talweg principale	Km	116.79
Somme des cours d'eaux	Km	383 ,52
Hauteur : H _{min}	m	1195
Hauteur Hmin	m	421
Altitude à 95%	M	560
Altitude à 5%	M	1090
Altitude médiane à 50%	m	690
Indice de pente moyenne	%	0.1
L'altitude moyenne	m	904.68
Dénivelé	m	530
Indice de pente globale	m/km	0.65
Indice de pente de Roche	%	8.56
Dénivelée spécifique	m	59.80
Densité de drainage	km/km ²	0.045
<i>Pente moyenne du cours d'eau</i>	<i>m/km</i>	1.13
<i>Temps de concentration</i>	<i>heures</i>	16.91

3.2 PARAMETRES PLUVIOMETRIQUES

La région d'Igli est caractérisée par un climat continental (aride). Froid et sec l'hiver chaud et sec l'été avec une très faible pluviométrie. Dans notre étude, les principaux paramètres essentiels utilisés sont :

Les précipitations, les températures et l'évapotranspiration. Ces paramètres influencent le régime hydrologique.

3.2.1 Présentation des stations climatiques :

Globalement le bassin versant de la Saoura présente une faible couverture en matière de station climatique. Il existe quatre stations ANRH, dont chacune couvrent un sous bassins de la Saoura (Figure 7)

Les stations de Guir, Bechar et Zousfana se situe en amont du site de notre projet tandis que la station de Saoura (Beni Abbes) se situe en aval à 70 km.

Tableau 6 : Caractéristiques des stations climatiques

Sous B.V	Station	Code	X	Y	Z	Série	Paramètre relevé
Guir	Djorf Torba	13-01-01	31°00'30'N	02°44'26'W	580	98-2007	T, P
Béchar	Béchar	13-01-13	31°35'53N	02°13'32W	774	98-2007	T, P
Saoura	Béni Abbes	13-01-31	30°07'56'N	02°10'27'W	502	98-2007	T, P
Zousfana	Taghit	13-01-31	30°67'36'N	02°08'57'W	542	98-2007	T, P

En ce qui concerne l'étude de la pluviométrie, il paraît plus adéquat de ne prendre en compte que les stations, qui couvrent le phénomène pluviométrique sur notre bassin versant de Mazzer, en l'occurrence les stations de : Bechar, Guir et Zousfana.

Pour l'analyse de l'évapotranspiration, il est plus judicieux de prendre la station la plus proche du site de la futur retenue, en l'occurrence celle de Saoura à Beni-Abbes, car le phénomène d'évapotranspiration influence les pertes par évaporation de la surface de la retenue.

3.2.2 Caractéristiques générale du climat

3.2.2.1 La pluviométrie

3.2.2.1.1 Les données disponibles :

Le tableau ci-dessous donne une série de pluie annuelle recueillie aux stations météorologiques de la Saoura sur une période qui s'étale de 1998 à 2007.

Tableau 7 : Précipitations moyennes annuels des stations du bassin de la Saoura

Bassin	Zousfana	Saoura	Guir	Béchar
Station	Taghit	Béni Abbes	Djorf Torba	Bechar
Année	P (mm)			
1997-1998	35,24	13.2	31.4	26.6
1998-1999	26,45	7.4	24.3	61.3
1999-2000	15,8	38.4	14.4	33.0
2000-2001	14,32	10.3	9.5	15.3
2001-2002	27,01	15.7	23.9	16.5
2002-2003	47,36	17.7	44.6	21.3
2003-2004	28,94	26.0	23.3	81.0
2004-2005	27,56	12.1	22.2	73.9
2005-2006	51,21	51.1	47.8	88.7
2006-2007	43,33	30.2	49.2	.1268
Moyenne	31.72	22.21	29.06	54.44

L'estimation de la pluie moyenne interannuelle se fait en utilisant la moyenne des trois stations Bechar, Guir et Zousfana et selon trois méthodes suivantes

- La pluviométrie moyenne interannuelle sur le bassin versant est prise comme moyenne arithmétique :

$$\overline{P_{arithmétique}} = 38.41mm$$

- La précipitation interannuelle selon la méthode de Thiessen

$$\overline{P_{Thiessen}} = 32.93mm$$

- La précipitation interannuelle selon la méthode des isohyètes (Figure 13)

$$\overline{P_{isohyètes}} = 45.0mm$$

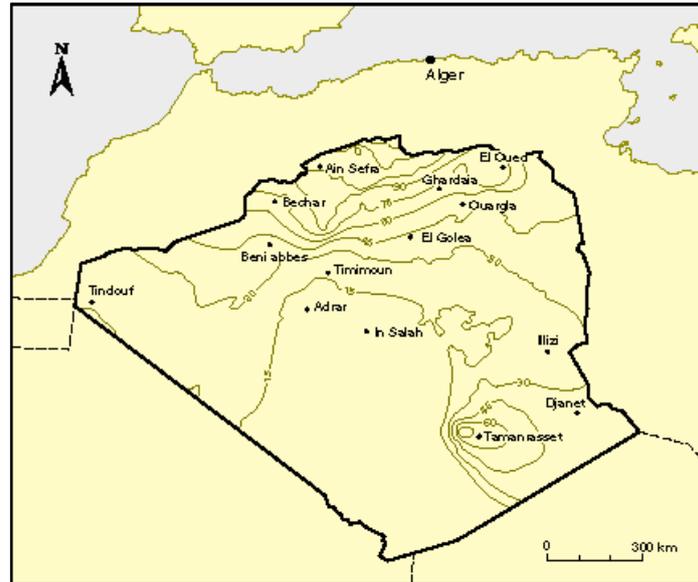


Figure 13 : Carte des Isohyètes du Sahara (Meddi et Al, 2009)

La valeur de la précipitation moyenne annuelle prise en compte est celle fournie par la méthode des isohyètes car elle permet de prendre la variation spatiale de la précipitation dans le bassin versant. Donc la pluie moyenne annuelle considérée dans la suite du travail est $P_{\text{moy annuelle}} = 45 \text{ mm}$

3.2.2.2 La température :

Les températures moyennes mensuelles et annuelles régissant le climat local de la Saoura en interaction avec les autres facteurs météorologiques. Nous disposons des données de la station de Saoura (Beni Abbès) qui est la plus proche du site de la future retenue

Tableau 8 : Températures minimales, maximales et moyennes mensuelles inter annuelles de la station de Béni Abbés (1998-2007)

T C°	IX	x	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	annuelle
Max	39,58	32,4	25,57	21,35	19,62	22,98	25,11	31,27	34,81	38,24	42,84	41,6	31,28
Min	24,45	18,53	11,1	7,3	5,2	7,33	12,42	14,3	19,36	25,13	29,18	32,15	17,20
Moy	32,015	25,465	18,335	14,325	12,41	15,155	18,765	22,785	27,085	31,685	36,01	36,87	24,24

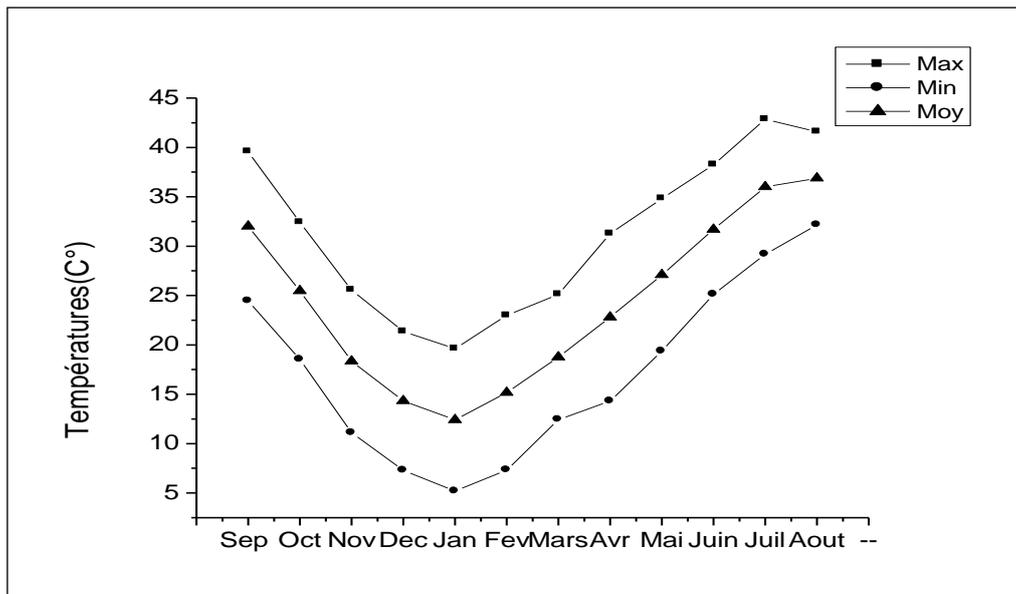


Figure 14 : Courbe des Températures minimales, maximales et moyenne mensuelles inter annuelle bassin de Saoura de la station de Béni Abbés (1998-2007).

- Les températures maximales présentent un minimum en janvier (19, 62°C), et un maximum en juillet (42.84°C).
- Les températures minimales présentent un minimum en janvier (5,2°C), et un maximum en Aout (32,15°C).
- Les températures moyennes présentent un minimum en janvier (12, 41°C), et un maximum en Aout (36.87°C).

L'indice d'aridité de MARTONNE pour notre région est compris entre 0.60 et 1.80 cela traduit que le climat est Hyper aride.

3.2.2.3 L'évaporation :

L'évaporation est une des composantes fondamentales du cycle hydrologique et son étude est essentielle pour connaître le potentiel hydrique du bassin versant de la Saoura.

Les valeurs de l'évaporation enregistrée à la station de Saoura (Beni Abbes) sont dans le tableau ci-dessous, d'une série s'étale de 1998-2007 :

Tableau 9 : valeurs des évaporations mensuelles inter annuelle de Beni Abbes (1998-2007)

Mois	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	Total
Evap (mm)	310,4	187,4	112,1	83	100,09	115,1	158,9	221,6	272,1	307,7	352,2	371,9	2592,5

3.2.2.4 Les Vents :

Les valeurs du vent sont fournies par la station de Béchar sur une période de 1965 à 1985 avec des moyennes mensuelles inter-annuelles.

Tableau 10: Vitesse des vents moyens de Bechar série (1965-1985)

Mois	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Vitesse (m/s)	2,5	3,1	3,6	4,6	5,2	4,5	4,2	3,9	3,2	2,4	2,4	2,4

Les valeurs des vitesses du vent le plus élevé dans les mois Avril -Mai avec une moyennes mensuelles respectivement de 4.6 et 5.2m/s)

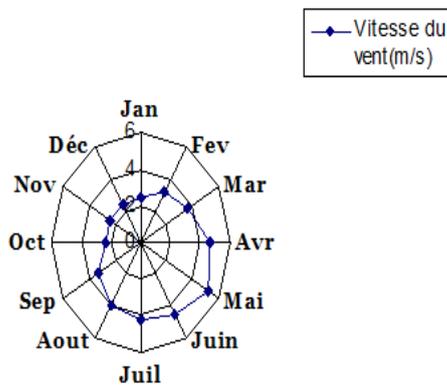


Figure 15 : Vitesse moyennes des vents Bechar (1965-1985)

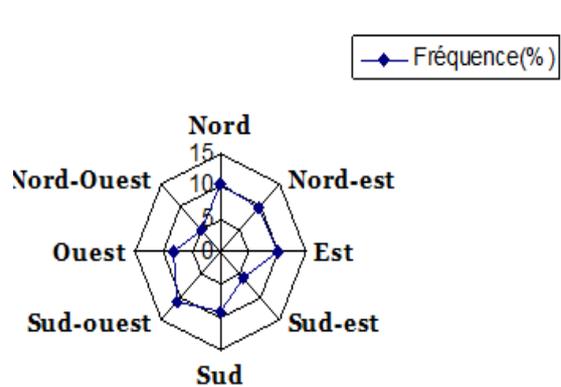


Figure 16: Répartition des fréquences selon les directions

Tableau 11 : Fréquences des vents selon les directions.

Direction	Nord	Nord-est	Est	Sud-est	Sud	Sud-ouest	Ouest	Nord-Ouest
Fréquence(%)	10,15	9,44	9,93	5,56	8,92	10,61	7,95	4,56

3.2.2.5 Synthèse sur le climat de la région

La zone de notre étude se caractérise par un climat hyper-aride à faible pluviosité de l'ordre de quelques dizaines de millimètres par ans. Le phénomène d'évaporation est conséquent. Les débits de l'Oued Saoura sont irrégulier est dépendent des précipitations. Le bassin versant est important, de plus des apports supplémentaires arrivent à notre bassin versant des bassins versant en amont (Guir, Bechar et Zouzfana).

3.3 APPORTS MOYEN INTERANNUEL.

Les potentialités en eau du bassin seront évaluées à partir de l'apport moyen interannuel. Le bassin versant ne disposant pas de station hydrométrique, on utilise les formules empiriques citées dans le guide de l'ANBT (2004). Il recommande l'utilisation de modèle l'emploi du modèle rationnel, dont la formulation est la suivante:

3.3.1 Formule ANRH

L'apport est donné par la relation suivante :

$$A = 0,513 * (Pa/1000)^{2,683} * D_d^{0,5} * S^{0,842}$$

A : apport moyen [hm³]

S : superficie du bassin versant en km².

Pa : précipitation moyenne annuelle en mm

Dd : densité de drainage Km/Km².

$$A=0.054 \text{ hm}^3$$

3.3.2 Formule de Samie :

$$A = L_e \cdot S \cdot 10^{-3}$$

$$L_e = P(293 - 2, 2\sqrt{S})$$

Avec :

A : apport moyen [m³]

S : superficie du bassin versant [km²]

L_e : lame d'eau écoulé [m]

P : pluviométrie moyenne annuelle [m]

$$Le=4.077 \text{ m} \quad A=34,51 \text{ hm}^3$$

3.3.3 Formule de Deri I

L'apport est donné par la relation suivante :

$$A = 0.915 P_0^{2.684} S^{0.842} \text{ (en hm}^3\text{)}$$

Avec P₀ = Pa/1000

$$A_0= 0,45 \text{ hm}^3$$

3.3.4 Formule de Deri II

L'apport est donné par la relation suivante :

$$A_0 = (Le \times S)/1000 \text{ (en hm}^3\text{)}$$

Avec Le = M₀* 31,56

$$M_o = 11.8 P_o^{2.82} \text{ (en l/s.km}^2\text{)}$$

$$Le = 0.059m \quad A_0 = 0,502 \text{ hm}^3$$

3.3.5 Formule de Mallet-Gautier

L'apport est donné par la relation suivante :

$$A_0 = (Le \times S)/1000 \text{ (en hm}^3\text{)}$$

$$\text{Avec } Le = 0,6 \cdot (Pa/1000) \cdot (1 - (10)^{-0,36 \cdot (Pa/1000)^2}) \cdot 1000$$

$$Le = 0.045m \quad A_0 = 0,38 \text{ hm}^3$$

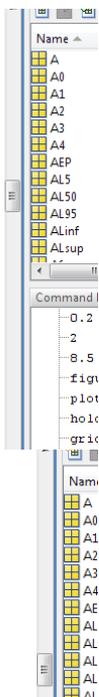
Les résultats des apports liquides interannuels sont regroupés dans le tableau n°7

Tableau 12 : Résultats de calcul des apports interannuel

No	Formule	A (hm3)
1	ANRH	0.054
2	Sami	34,51
3	Deri I	0.45
4	Deri II	0.502
5	Mallet- Gautier	0.38
Moyenne		14,70

```

=====
Apport liquide par la formule de l ANRH [Hm3]: A1=
A1 =
    0.0389
Apport liquide par la formule de SAMIE [Hm3]: A2=
A2 =
    34.5080
Apport liquide par la formule de DERI I [Hm3]: A3=
A3 =
    0.4504
Apport liquide par la formule de Maillet Gautier [Hm3]: A4=
A4 =
    0.0453
moyenne des apports [Hm3]: Apport=
Apport =
    8.7607
choix de la valeur de l apport a prendre en considération dans la suite de l étude :
tapez la valeur prendre en consideration : = 8.76
Apport =
    8.7600
    
```



```

Command Window

A1 =

    0.0537

A2 =

    34.5080

A3 =

    0.4504
    
```

3.4 APPORTS FREQUENTIEL

Pour déterminer les apports fréquentiels, il est recommandé d'employer la loi Galton ou la loi log-normal exprimée en termes d'apport moyen et de sa variabilité (guide ANBT, 2004). Le coefficient de variation de l'apport moyen C_{vq} qui intervient dans cette formule pourra être calculé par la relation de Padoun pour des rivières à écoulement temporaires, dans lesquelles la composante souterraine de l'écoulement est nulle ou peu significative. Les expressions sont les suivantes:

$$A_F = \frac{A_o}{\sqrt{(C_{vq}^2 + 1)}} e^{-u_F \sqrt{\ln(C_{vq}^2 + 1)}}$$

$$C_{vq} = \frac{0.93.K}{M_o^{0.23}}$$

- où:
- A_F : Apport fréquentiel, en hm³.
 - u_F : Variable réduite de Gauss, qui est fonction de F
 - A_o : Apport moyen inter-annuel en hm³.
 - C_{vq} : Coefficient de variation de l'apport moyen.
 - M_o : Module spécifique de l'apport annuel, exprimé en l/skm².
 - K : coefficient de réduction qui augmente avec la pluviométrie, $0.25 \leq k \leq 1$. On considère $K=0.25$

Dans le tableau ci joint, on donne les valeurs de la variable réduite de Gauss pour différentes fréquences d'emploi habituel en accord avec l'utilisation de l'eau.

Tableau 13 : Valeurs de la variable réduite de Gauss pour différentes fréquences
(Source guide ANBT, 2004)

Utilisation de l'eau	Fréquence (%)	UF
Agricole	80	0.841
Eau potable	95	1.645

	99	2.327
--	----	-------

$$A_0 = 14.7 \text{ hm}^3, M_0 = 0.055 \text{ l/skm}^2, C_{vq} = 0.45$$

Bassin	A 80%, hm ³	A 95%, hm ³	A 99%, hm ³
Mazzer	9.34	6.61	4.94

L'apport fréquentiel A_{80%}, à l'échelle du bassin serait de l'ordre de 9,34 hm³.

```

=====
**  APPORT FREQUENTIEL  **
=====

**  Formule de Padoum selon le guide ANBT - 2004  **
.....
**  Saisie des données pour l'étude des apports fréquentsiels  **
.....
[0] lecture des données a partir d un fichier ou [1] saisie des données a l ecran: 0
Cvq coefficient de variation de l apport moyen :

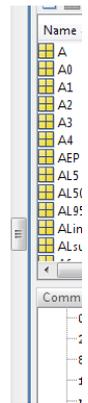
Cvq =

    0.4530

Valeur de l apport fréquentiel par la formule de Padoum [Hm3] : Af=

Af =

    5.5482
    
```



3.5 ESTIMATION DE L'APPORT SOLIDE

Sachant que les transports solides en suspension et charriés des cours d'eau sont susceptibles de diminuer le volume utile des ouvrages hydrauliques (retenues, barrages, canalisations,...), il est donc nécessaire de les étudier. Le volume de solides pour l'étape de faisabilité est déterminé par la formule de Tixeron-Sogreah, dont l'expression est la suivante:

$$T_a = K.H^{0.15} \tag{11}$$

- Ta: taux d'abrasion qui est le volume total de solides, en T/km² par année.
- H: Lamé d'écoulement en mm, déterminée à partir de l'apport moyen.
- K: Paramètre caractéristique de la perméabilité du bassin:

K	DEGRÉ DE PERMÉABILITÉ (source guide ANBT,2004)
8.5	Élevée
75	Moyenne
350	Moyenne faible
1400	Faible
3200	Imperméabilité

Nous considérons une perméabilité élevée K=8.5

$$T_a = 9.23 \text{ T/km}^2$$

Préliminairement, le volume mort (V_m) est déterminé en fonction du volume total des sédiments, le nombre d'années de vie utile de l'ouvrage et le poids spécifique des sédiments:

$$V_m = \frac{Ta.S.U}{Pe}$$

où:

U: Vie utile de l'ouvrage (années).

PE: Densité volumétrique des sédiments, en T/m³ (Voir tableau).

Tableau 14 Densité volumétrique des différents types de sédiments (source guide ANBT, 2004)

Typologie des sédiments	Poids volumétrique T/m ³	Typologie des sédiments	Poids volumétrique T/m ³
Boue fine	0.7 - 0.8	Sable fin	1.5 - 1.6
Boue fine	0.8 - 0.9	Sable moyen	1.6 - 1.7
Boue avec mélange de sable	0.9 - 1.1	Sable moyen et lourd	1.1 - 1.8
Sable fin sédimenté	1.1 - 1.2	Sable avec gravier	1.8 - 1.9
Sable fin et moyen sédimenté	1.2 - 1.3	Gravier	1.9 - 2.1
Sable moyen sédimenté	1.3 - 1.5	Cailloux avec gravier	2.1 - 2.4

Nous considérons un sable moyen de poids volumique 1.6 T/m³ et une durée de vie de l'ouvrage de 40 années. Le volume mort est égal au produit de l'écoulement moyen interannuel solide par le nombre d'années de la période U =40 ans et il est estimé à :

$$V_{mort} = = 1.95 \text{ hm}^3$$

3.5.1 Apports mobilisables :

De cette partie de l'étude, il en ressort :

- Un volume des apports moyens annuels avoisine les 14,70 hm³ ;
- Un apport solide est de 1,95 hm³.

Le volume utile théorique maximum est estimé à $V_{utile}=14,7 \text{ hm}^3$.

Alors que le volume total théorique maximum de la retenue est estimé à : $V_{total}= 14,7+1.95 = 16.65 \text{ hm}^3$

```

=====
**  APPORT SOLIDE  **
=====
.....
** Saisie des données pour l'étude du transport solide **
.....
[0] lecture des données a partir d un fichier ou [1] saisie des donnees a l ecran: 0

zone =

    3

b =

    0.1600

Cr =

    0.2000

H =

    2.0613
    
```



ESTIMATION DE LA CRUE DE PROJET

La prédétermination des crues a pour objectif de relever les crues fréquentielles les plus importantes afin de garantir un maximum de sécurité pour l'ouvrage.

3.5.2 Estimation de la pluie moyenne journalière maximale P_{jmax}

Pour l'estimation de la pluie moyenne journalière, nous utilisons les relations de K. Body (ANRH,1985). Ces relations proposent une estimation de la pluie journalière en fonction de la pluie moyenne annuelle pour chacun des 17 bassins hydrographiques de l'Algérie (figure n° 4).

Tableau 15 : Les types de relations donnant la relation $\overline{P_j} = f(\overline{P_{an}})$ pour les Bassins Versants de l'Algérie selon K.Body (1985) :

CODE ET NOM DU BASSIN	CODE DU SOUS-BASSIN	RELATION
1 Chlieff	01-36	I
2 Côtiers algérois	01-03	II
	01-20	I
3 Côtiers constantinois	01-18	I
4 Côtiers oranais	01-06	II
5 Chott Hodna	01-24	I
6 Chott Melrhir	01-30	I
7 Haut plateaux Constantinois	01-07	I
8 Hauts Plateaux Oranais	01-19	I
9 Isser	01-05	I
10 Kebir-Rhumel	01-07	I
11 Macta	01-16	II
12 Medjerdah	01-05	I
13 Sahara	Si $\overline{P_{an}} > 60$ mm	I
	Si $\overline{P_{an}} \leq 60$ mm	III
14 Seybouse	01-06	I
15 Soummam	01-10	I
16 Tafna	01-08	II
17 Zahrez	01-06	I

Les trois relations proposées sont les suivantes (tableau 10) :

Tableau 16 : Relations entre la moyenne des pluies journalière et la pluie moyenne annuelle pour les bassins versant algériens

Relation	Formule
I	$\overline{P}_j = 0.0525 \overline{P}_{an} + 18.6$
II	$\overline{P}_j = 0.088 \overline{P}_{an} + 9.2$
III	$\overline{P}_j = 0.233 \overline{P}_{an} + 6.1$

Dans le cas de notre Bassin versant il se situe dans le bassin Sahara et avec une pluie annuelle inférieure à 60 mm, nous appliquons la relation III :

$$\overline{P}_j = 0.233 \overline{P}_{an} + 6.1 = 16.6mm$$

```

.....
** Estimation de la pluie journalière maximale **
.....
situation du BV dans la zone:
choix de la relation selon la zone de situation du BV [1, 2 ou 3 selon ANPH]: zone= 3

Pj =

16.5850
    
```

3.5.3 Détermination de la pluie maximum de différentes fréquences :

La pluie journalière d'une fréquence donnée est déterminée par la formule suivante :

$$P_{j,\%} = \frac{\overline{P}_j}{\sqrt{C_v^2 + 1}} e^{U \sqrt{\ln(C_v^2 + 1)}}$$

Où

U : variable de Gauss

C_v : coefficient de variation =0.45

Fréquences (%)	10	2	1	0.1
-----------------------	----	---	---	-----

Période de retour (années)	10	50	100	1000
Variable de Gauss U	1.25	2.05	2.33	3.10
$P_{jmax, \%}$ (mm)	25.9	36.5	41.2	52.3

```

.....
** Estimation de la pluie maximum de differente frequence **
.....
Pluie maximum [mm]de periode deretour [T=10 ans]: PjT10=

PjT10 =

    23.5912

Pluie maximum [mm]de periode deretour [T=50 ans]: PjT50=

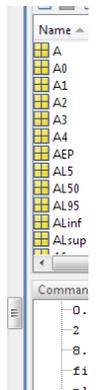
PjT50 =

    33.2618

Pluie maximum [mm]de periode deretour [T=100 ans]: PjT100=

PjT100 =

    37.5115
    
```



3.5.4 Hauteur de la pluie de courte durée

La répartition statistique des pluies de courte durée est déterminée à partir de la formule de Montanari (ANRH, 1985)

$$P_{t, \%} = P_{jmax, \%} \left(\frac{t}{24} \right)^b$$

t : durée de l'averse

b : exposant climatique, $b=0.16$ valeur donnée par L'ANRH pour la station de Bechar ONM

$P_{jmax, \%}$ Pluie journalière maximale de fréquence voulue (mm)

Le tableau n° 17 regroupe les valeurs des pluies de différentes durées et de différentes fréquences

Tableau 17 : Hauteur des pluies de différentes durées et de différentes fréquences

Durée de l'averse h	Période de retour (an)			
	10	50	100	1000
1	15,6	22,0	24,8	31,5
2	17,4	24,5	27,7	35,1
3	18,6	26,2	29,5	37,5
4	19,4	27,4	30,9	39,3
5	20,2	28,4	32,1	40,7
6	20,7	29,2	33,0	41,9
7	21,3	30,0	33,8	42,9
8	21,7	30,6	34,6	43,9
9	22,1	31,2	35,2	44,7
10	22,5	31,7	35,8	45,5
11	22,9	32,2	36,4	46,2
12	23,2	32,7	36,9	46,8
13	23,5	33,1	37,4	47,4

14	23,8	33,5	37,8	48,0
15	24,0	33,9	38,2	48,5
16	24,3	34,2	38,6	49,0
$t_c=16,91$	24,5	34,5	39,0	49,5
17	24,5	34,5	39,0	49,5
18	24,7	34,9	39,3	49,9
19	24,9	35,2	39,7	50,4
20	25,2	35,5	40,0	50,8
21	25,4	35,7	40,3	51,2
22	25,5	36,0	40,6	51,6
23	25,7	36,3	40,9	51,9
24	25,9	36,5	41,2	52,3

```

.....
** Estimation de la pluie maximum de différente fréquence de courtes durées **
.....
exposant climatique de la zone selon ANRH: b= 0.45
*** tableau de la hauteur des pluies de différentes fréquences et de courtes durées **

tab_PjF =

    1.0000    5.6449    7.9589    8.9757   12.4931
    2.0000    7.7111   10.8721   12.2612   17.0661
    3.0000    9.2546   13.0483   14.7155   20.4821
    4.0000   10.5337   14.8518   16.7493   23.3130
    5.0000   11.6464   16.4205   18.5185   25.7755
    6.0000   12.6422   17.8246   20.1019   27.9794
    7.0000   13.5503   19.1049   21.5458   29.9892
    8.0000   14.3895   20.2881   22.8802   31.8465
    9.0000   15.1727   21.3924   24.1256   33.5799
   10.0000   15.9094   22.4311   25.2970   35.2104
   11.0000   16.6066   23.4141   26.4056   36.7534
   12.0000   17.2698   24.3491   27.4600   38.2210
   13.0000   17.9031   25.2421   28.4671   39.6228
   14.0000   18.5102   26.0981   29.4325   40.9665
   15.0000   19.0939   26.9210   30.3606   42.2583
   16.0000   19.6566   27.7144   31.2553   43.5036
   17.0000   20.2002   28.4808   32.1197   44.7067
   18.0000   20.7266   29.2229   32.9566   45.8716
   19.0000   21.2370   29.9426   33.7683   47.0013
   20.0000   21.7329   30.6418   34.5568   48.0988
   21.0000   22.2154   31.3220   35.3239   49.1665
   22.0000   22.6853   31.9846   36.0711   50.2066
   23.0000   23.1437   32.6308   36.7999   51.2210
   24.0000   23.5912   33.2618   37.5115   52.2115
    
```

3.5.5 Prédétermination des crues

Le but de cette partie est de déterminer la crue fréquentielle, la plus importante dans le bassin, pour le dimensionnement des ouvrages, pour cela on utilise plusieurs formules

3.5.6 Formule de Samie

$$Q_{jmoy} = \frac{P_{jmax} \cdot S \cdot 10^3 \cdot C_r}{86400}$$

Et

$$Q_{max\%} = Q_{moy} \left[\frac{P_{t\%}}{P_{jmax\%}} \right] \frac{24}{t_c}$$

S : surface BV (km²)

C_r : coefficient de ruissellement

$$C_r = 0,2$$

Où

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau suivant

Estimation des crues par la formule de Samie				
Fréquences (%)	10	2	1	0.1
Période de retour (années)	10	50	100	1000
$P_{imax\%}$ (mm)	25.9	36.5	41.2	52.3
C_r	0,2	0,2	0,2	0,2
$P_{t\%}$ (%)	24,5	34,5	39,0	49,5
$Q_{j\text{moy}}$ (m ³ /s)	507,42	715,10	807,20	1024,63
Q_{max} (m ³ /s)	681,24	959,30	1084,40	1376,40

3.5.6.1 Formule de Turazza

Pour la détermination du débit de crues on utilise la méthode de Turazza. Cette relation est donnée par :

$$Q_{max}(F) = \frac{C \cdot P_{t_c} \cdot S}{3,6 \cdot t_c}$$

S : superficie du BV en Km²

C: coefficient de ruissellement (c=0,2).

Ptc: pluie au temps de concentration t_c , elle est déterminée par la relation :

$$P_{t_c} = P_{j_f} \left(\frac{t_c}{24} \right)^b$$

t_c : temps de concentration

b: exposant climatique dépendant de la station pluviométrique: b = 0,16 (ANRH, 1985).

P_{j_f} : pluie journalière de fréquence f, elle est déterminée par :

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau suivant

Estimation des crues par la formule de Turazza				
Fréquences (%)	10	2	1	0.1
Période de retour (années)	10	50	100	1000
P_{t_c} (mm)	25.9	36.5	41.2	52.3
Q_{max} (m ³ /s)	720,20	1014,91	1145,60	1454,2

3.5.6.2 Formule de Témez

En tenant compte des conditions et du régime des petits bassins de l'Algérie pour spécifier les résultats de l'analyse de crues, l'ANBT(2004) recommande d'employer le modèle rationnel dans la variante développée par Témez .

$$Q_{max} = \frac{C \cdot I \cdot S}{3.6} \cdot K$$

En applique la séquence de calculs indiqués dans le tableau suivant :

MODÈLE RATIONNEL / VARIANTE DE TÉMEZ	
Ordre	Formules
1	$T_c = 0.3 \left(\frac{L}{I_r^{1/4}} \right)^{0.76}$
2	$K = 1 + \frac{T_c^{1.25}}{T_c^{1.25} + 14}$
3	$C_e = \left(\left(\frac{P_j}{P_u} - 1 \right) \left(\frac{P_j}{P_u} + 9 \right) \right) / \left(\frac{P_j}{P_u} + 14 \right)$
4	$I = k_o \frac{P_{j_{T_c}}}{T_c}$
5	$P_{j_{T_c}} = \bar{P}_j \left(\frac{T}{24} \right)^b$ (relation de Montana)
6	$b = \frac{\ln P_j}{3.912} - 0.6352$
7	$T_b = T_c + D$ $D = 0.22 T_{dp}$ $T_{dp} = 0.35 T_c$
8	Finalement, le volume de la crue est déterminé en décrivant l'hydrogramme d'un triangle de base $T_b = T_c + D$ par la formule suivante, pour laquelle T_b est exprimé en minutes $V = 30 Q_{max} \cdot T_b$
<p> T_c: Temps de concentration en heures. L: Longueur de la rivière principale en km. I_r: Pente moyenne de la rivière principale, en m/m. I: Intensité moyenne maximale de la pluie dans l'intervalle de durée T_c. K: Coefficient d'uniformité de Témez. k_o: Coefficient de sécurité des précipitations maximales (voir annexe 4 du guide ANBT de 2004). P_j: Précipitations maximales quotidiennes de la probabilité de calcul, en mm. P_u: Seuil d'écoulement, en mm (voir annexe 5 du guide ANBT de 2004). T: Temps de durée de la pluie égale à T_c en heures. b: coefficient climatique des courbes de réduction des précipitations. \bar{P}_j: Précipitations maximales quotidiennes moyennes en mm (voir annexe 4 du guide ANBT de 2004). T_b: Temps de base de l'hydrographe en minutes. D: Temps de durée de la pluie. T_{dp}: Temps de déséquilibre de la pointe. </p>	

Estimation des crues par la formule de Témez				
Fréquences (%)	10	2	1	0.1
Période de retour (années)	10	50	100	1000
P_j (mm)	25.9	36.5	41.2	52.3
P_{j_{Tc}} (mm)	24,5	34,5	39,0	49,5
I	2,188	3,081	3,483	4,420
C	0,2	0,2	0,2	0,2
Q_{max} (m³/s)	1759,22	2477,0	2800,10	3553,95

Tableau récapitulatif des résultats

Débit maximum (m ³ /s)				
Méthodes	Fréquences (%)			
	10	2	1	0.1
Samie	681,24	959,30	1084,40	1376,40
Turazza	720,20	1014,91	1145,60	1454,2
Témez	1759,22	2477,0	2800,10	3553,95

La formule de Témez donne des valeurs de débits supérieurs à celle des résultats des formules de Samie et Turazza.

Conclusions sur les crues

Pour notre étude, nous adoptons les résultats données par la formule de Samie, ce qui va assurer un dimensionnement économique, d'autant que notre ouvrage bénéficiera de l'effet d'écrêtement des ouvrages à l'amont notamment le barrage de Djorf-Torba.

```

=====
** PREDETERMINATION DES CRUES **
=====
** Formule de Samie **
-----
coefficient de ruissellement: Cr= 0.2

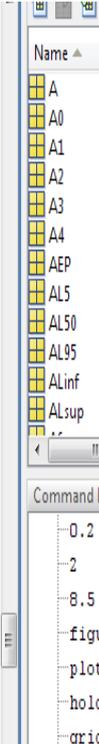
Cr =

    0.2000

Débit decennale par la formule de Samie = 579.8469 m3/s
Débit cequantenal par la formule de Samie = 817.5411 m3/s
Débit centenale par la formule de Samie = 921.9944 m3/s
Débit mellinal par la formule de Samie = 1283.3045 m3/s
** Formule de Turazza **
-----
Débit decennale par la formule de Turazza = 579.8469 m3/s
Débit cequantenal par la formule de Turazza = 817.5411 m3/s
Débit centenale par la formule de Turazza = 921.9944 m3/s
Débit milénale par la formule de Turazza = 1283.3045 m3/s

** Valeurs moyennes des apports des diférentes formules **
-----

```



4 ETUDE TOPOGRAPHIQUE

4.1 SITE DE LA DIGUE

Le site de la digue a fait l'objet d'un Relevé topographique (plan levé topographique). L'axe de la digue aura une orientation Nord-Est. La cote de l'oued se situe à environ 470m au niveau du site du projet. Au niveau du site les rives sont inclinées de 16° environ en rive gauche et de 55° environ en rive droite (figure 17).

4.2 CUVETTE

La cuvette de retenue de la digue de Mazzer est bien encaissée dans le lit de l'Oued. Elle est ceinturée par des crêtes culminant à une altitude d'environ 486,5.



Figure 17 : photos des rives de l'oued Saoura dans le site du projet

4.3 2.2 LOCALISATION ET ACCES AU SITE

4.3.1 2.2.1 Localisation du site

L'Oued Saoura se situe dans la Wilaya de Béchar, au Sud-Ouest de l'Algérie. Il prend naissance à la commune d'Igli et sa source respectivement du Haut Atlas Marocain et de l'Atlas Saharien.

Au niveau de l'Oued la digue se situera approximativement aux coordonnées suivantes (système UTM 32) :

X : 569'066
Y : 3'354'567

4.3.2 Accès au site

Le site du projet est accessible par la route depuis le centre de la commune d'Igli à environ 17 km de là en utilisant la RN6. Deux accès sont possible un mène à la rive gauche de l'Oued Saoura et le 2^{eme} accès nous mène à la rive droite.

4.4 CAPACITE DE LA RETENUE

4.4.1 Relation hauteur-surface.

Les surfaces de retenue obtenues par planimétrie peuvent être ajustées à une loi puissance avec un accord extrêmement satisfaisant :

$$S = 0,0001H^5 - 0,0054H^4 + 0,0813H^3 - 0,6192H^2 + 3,4557H + 469,26$$
$$R^2 = 0,9996$$

Où :

S : surface de la retenue en (km²)

H : hauteur de la retenue en (m)

R² : coefficient de détermination

Les hauteurs étant mesurées par rapport à la cote 469 m.

4.4.2 Relation hauteur-volume.

Les volumes sont calculés à partir des surfaces obtenues précédemment. Ces volumes peuvent être ajustés avec une loi puissance avec un accord extrêmement satisfaisant :

$$V = -0,0006H^4 + 0,0208H^3 - 0,3014H^2 + 2,808H + 469,12$$
$$R^2 = 0,9998$$

Où :

V : surface de la retenue en (hm³)

H : hauteur de la retenue en (m)

R² : coefficient de détermination

Les hauteurs étant mesurées par rapport à la cote 469 m.

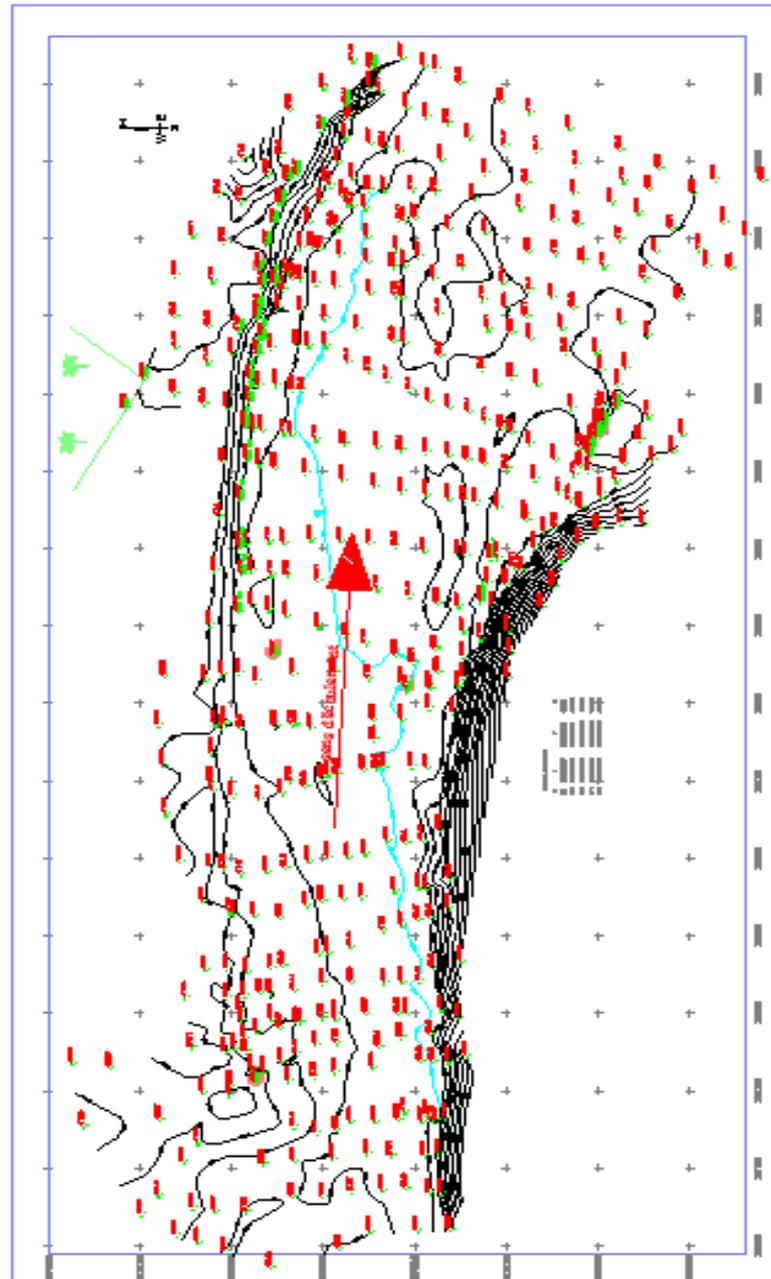


Figure 18 : Levé topographique du site de la digue de Mazzer

5 ETUDE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE

5.1 CADRE GEOLOGIQUE

La carte géologique simplifiée de la région (figure 19) est représentée ci-dessus. On y distinguera trois formations principales : le grand erg occidental (sable), l'Hamada du Guir et la petite Hamada.

Dans la partie méridionale de la Hamada du Guir c'est H. Schoeller qui fait la distinction entre les formations hamadiennes mio-pliocènes et un ensemble superposé, « les sables et grès de Mazzer », qu'il date du Pliocène terminal ou du Quaternaire ancien; il signale aussi l'existence d'une haute terrasse conglomératique à Mazzer, qu'il attribue au Quaternaire ancien. J. Margat [1954], dans le Tafilalet, attribue un âge villafranchien supérieur à la formation conglomératique du Jebel Erfoud qu'il considère comme contemporaine des « sables et grès de Mazzer ».

En ce qui concerne la « Petite Hamada » (terme employé par H. Schoeller pour cartographier les formations de type hamadien situées au Sud des affleurements primaires du km 30), J. Dresch [1953] donne quelques précisions sur sa nature et lui attribue un âge quaternaire ancien tout en confondant dans une même unité stratigraphique les formations de Mekitla, dans la Sebkhah el Melah, et les formations d'El Gouira qui sont en réalité équivalentes respectivement des « sables et grès de Mazzer » et de la « haute terrasse de Mazzer » ainsi que l'ont montré H. Alimen [1957] et J. Chavaillon [1964]. Les formations de la Petite Hamada se développent au Sud du km 30 (voir la carte fig. 19). On peut distinguer un secteur occidental (El Gouira) et un secteur oriental en bordure de l'Oued Saoura qui s'articulent au niveau de l'Erg el Atchane.

La partie occidentale est constituée, d'après H. Alimen, par un ensemble villafranchien, recouvert par des dépôts mazzériens. Quant au secteur oriental, J. Chavaillon lui attribue un âge mio-pliocène sur la carte géologique qui accompagne sa thèse ; le secteur occidental étant cartographié en Quaternaire ancien

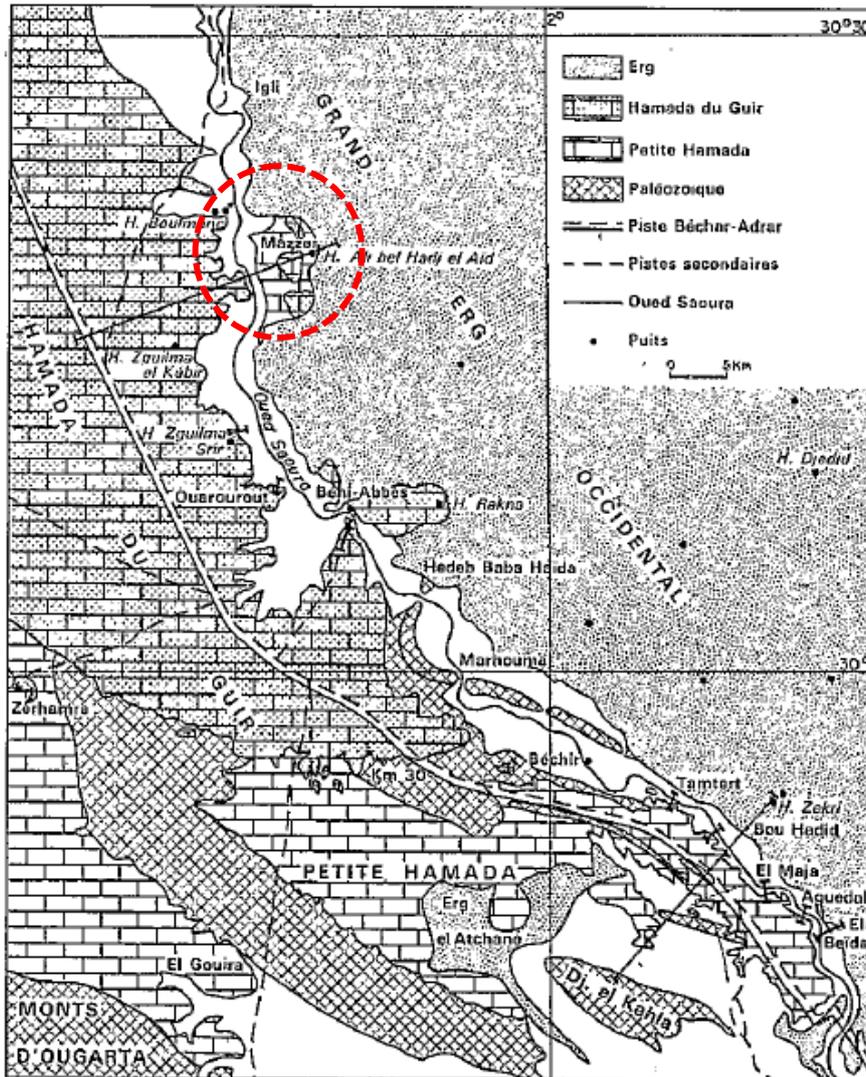


Figure 19 : Extrémité méridionale de la Hamada de Guir et de la petite Hamada (G. Conard et M-A. Roche, 1965)

5.1.1 Coupes géologiques de Mazzer

Les coupes dans la hamada de Guir, depuis l'oasis de Mazzer jusqu'aux affleurements dévoniens du km 30. - le long de l'oued Saoura, en rive droite, les formations hamadiennes néogènes sont entaillées jusqu'à leur base par les érosions quaternaires qui ont mis à nu le substratum primaire. G. Connard et M-A Roche (1965), présente une série de coupes de Mazzer, que nous décrivons rapidement.

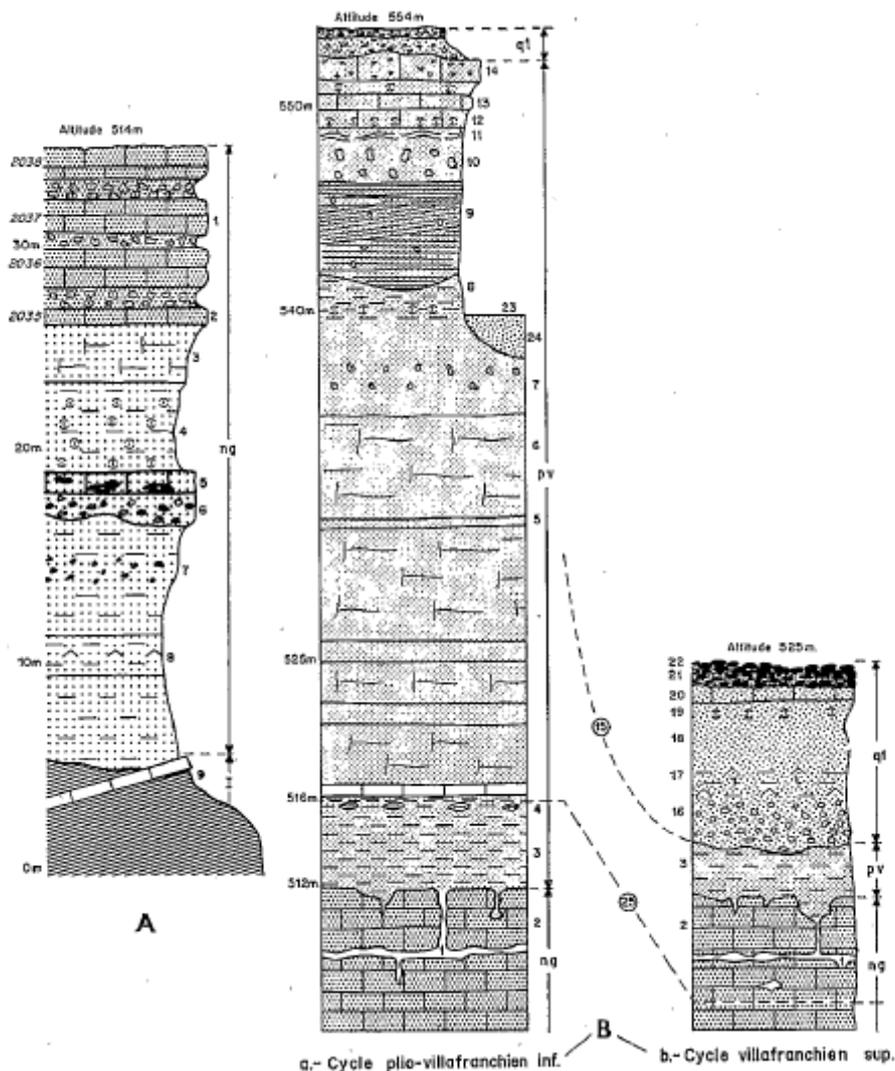
5.1.1.1 Coupe de Mazzer

La coupe de Mazzer (fig. 20 A). Sur les argiles et calcaires du Viséen supérieur (I) existent deux ensembles sédimentaires. L'ensemble erg inférieur est un grès à ciment argilo-calcaire, peu consolidé en moyenne, avec une passée plus gypseuse vers la base (sans doute en rapport avec la topographie du substratum) et un niveau de grès calcaire, plus massif. L'ensemble erg supérieur est représenté ici

par la dalle hamadienne inférieure au sens large, épaisse de 8 m environ et hétérogène. C'est un calcaire gréseux, silicifié. Observée dans le détail, cette dalle se révèle discontinue. De haut en bas la coupe est la suivante :

- 1) dalle hamadienne : calcaire gréseux, à passées plus sableuse alvéolaires ;
- 2) calcaire silicifié ;
- 3) grès;
- 4) grès argileux, à nodules calcaréo-gréseux ;
- 5) grès calcaire, à passées silicifiées ;
- 6) grès à altération foliacée, un peu conglomératique
- 7) grès argilo-calcaire ; une passée de graviers siliceux,
- 8) niveau gypseux ;
- 9) Viséen supérieur : argiles et calcaire.

A Mazzer, la Hamada est incomplète, le sommet de la dalle de calcaire silicifié (niveau résistant) constitue un palier morphologique auquel viennent se raccorder des glacis quaternaires, établis à l'ouest et à l'Est dans le golfe de Mazzer



(A) : Coupe de Mazzer.

(B) : Coupe du golfe de Mazzer

Figure 20 : Coupes géologiques de Mazzer

5.1.1.2 Coupes dans le golfe de Mazzer

Les coupes dans le golfe de Mazzer (fig. 20 B). A l'Est comme à l'Ouest de l'Oued Saoura, les formations plio-villafranchiennes, pv, sont bien développées. Les dépôts de la haute terrasse mazzérienne, q 1, sont visibles en rive gauche, dans le golfe de Mazzer, où elles sont emboîtées dans les formations plio-villafranchiennes qui sont les « sables et grès de Mazzer » de H. Schoeller (Aidien de J. Chavaillon) au-dessus du niveau de la dalle hamadienne inférieure, tertiaire (Pliocène inférieur).

La coupe est la suivante :

- 1) boyaux de dissolution ;
- 2) dalle hamadienne ;
- 3) argile rouge, sableuse, « tachenghit » ;
- 4) grès à nodules argileux ;
- 5) sable;
- 6) grès à ciment calcaire peu abondant ;
- 7) sable blanc, un peu grésifié, à nodules gréseux ;
- 8) grès argilo-sableux ;
- 9) sable et grès blancs, à passées graveleuses;
- 10) sable à nodules gréseux;
- 11) niveau argilo-gréseux, rouge, inconstant ;
- 12) tuf calcaire ;
- 13) croûte calcaréo-gréseuse ;
- 14) calcaire lacustre, gréseux ;
- 15) emboîtement de la haute terrasse dans les formations plio-villafranchiennes
- 16) sable à points de grésification, rouges ;
- 17) argile sableuse, gypseuse et salée;
- 18) sable grossier, blanc;
- 19) tuf calcaire ;
- 20) grès calcaire ;
- 21) conglomérat à galets patinés, à ciment calcaire ;
- 22) reg de galets patinés;
- 23) sommet du puits creuse au fond du golfe « Hassi Ali »
- 24) sable vert, un peu grésifié (Quaternaire récent) ;
- 25) niveau piézoélectrique.

Les sources de Mazzer sont alimentées par les eaux de l'erg, situé à l'Est ; le niveau piézométrique des sources supérieures est dans la dalle hamadienne. L'eau du puits d'Hassi Ali appartient à la même nappe de l'erg et il est inconcevable d'en situer le niveau piézométrique à une altitude inférieure à la dalle et à celle des sources situées à l'ouest, comme le fait J. Chavaillon [1964] qui place le sommet du puits de Hassi Ali dans la torba miocène, ce qui situe la nappe pratiquement au niveau du Paléozoïque, puisque le puits à 25 m de profondeur.

La fig. 20 Ba est la coupe des formations pliovillafranchiennes, relevée dans les buttes de Mazzer et dans le puits de Hassi Ali.

Sur la fig. 20Bb à droite, on voit la coupe des dépôts du Villafranchien supérieur (q 1 = Mazzérien) qui, dans le golfe de Mazzer, reposent sur les dépôts pliovillafranchiens, érodés, ou sur la dalle hamadienne.

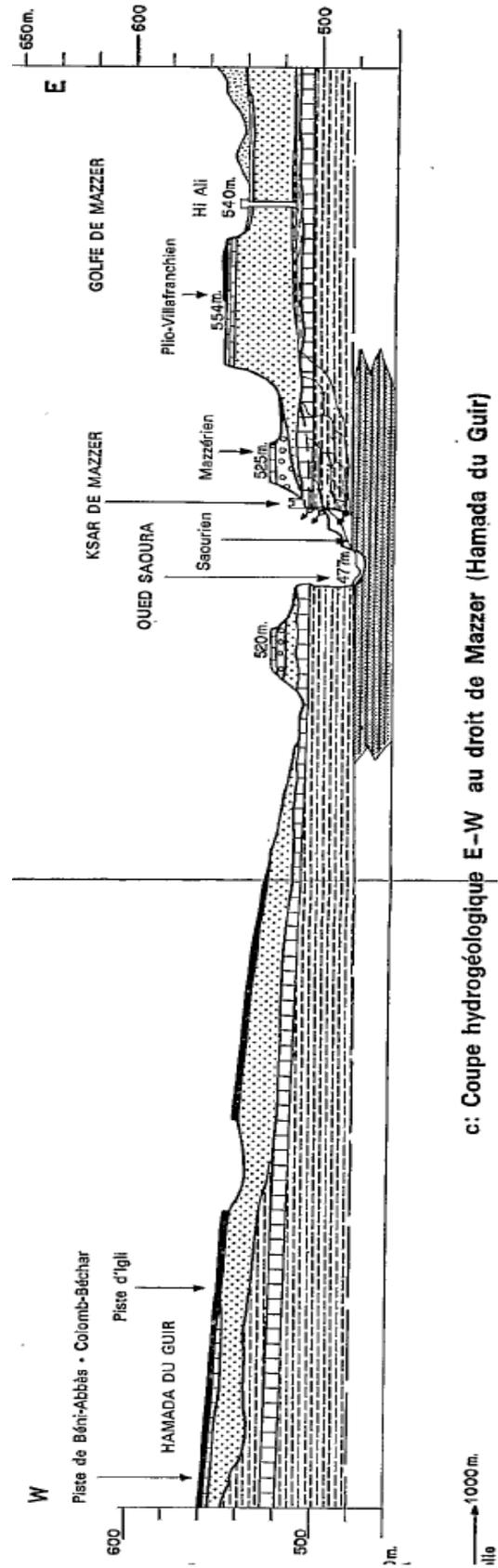
Ces dépôts, formant la haute terrasse, succèdent à un encaissement de la vallée de l'Oued Saoura dans la Hamada du Guir, constituée par les dépôts néogènes, surmontés des dépôts plio-villafranchiens. Le Mazzérien est donc le premier niveau de terrasse observable le long de l'Oued Saoura.

5.2 HYDROGEOLOGIE DE LA REGION DE MAZZER

Il existe sous l'erg une nappe aquifère capitale pour la région. H. Schoeller (1945) montre que l'écoulement de la nappe s'effectue vers le Sud-Ouest depuis le massif d'El Khella dans les terrains hamadiens, puis à travers les terrasses quaternaires de la vallée de la Saoura jusqu'à l'infero-flux de l'oued. L'eau circule dans la dalle pliocène qui possède une perméabilité « en grand », mais G. Conard et M-A. Roche ne croient pas, comme H. Schoeller, que les terrains néogènes sous-jacents à la dalle constituent un mur imperméable totalement efficace, en particulier sur la bordure de la hamada

A Mazzer, les sept sources s'observent (C. Conard et M-A. Roche, 1965) à tous les niveaux de la falaise jusqu'aux schistes viséens. Il y a donc un enfouissement partiel des eaux jusqu'au Primaire par les boyaux de dissolution très développés ici. Ce sont les vestiges de l'hydrogéologie quaternaire, mais la nappe actuelle les utilise encore en partie (fig. 21).

Au fond du golfe de Mazzer Hassi Ali Bel Hadj el Aid traverse des sables et grès calcaires du Plio-Villafranchien et rencontre la surface piézométrique à 24 m au niveau du « tachenghit » rouge brique à nodules. La dalle mio-pliocène doit se situer juste au-dessous.



c: Coupe hydrogéologique E-W au droit de Mazzer (Hamada du Guir)

Figure 21 : coupe hydrogéologiques dans la région d'étude

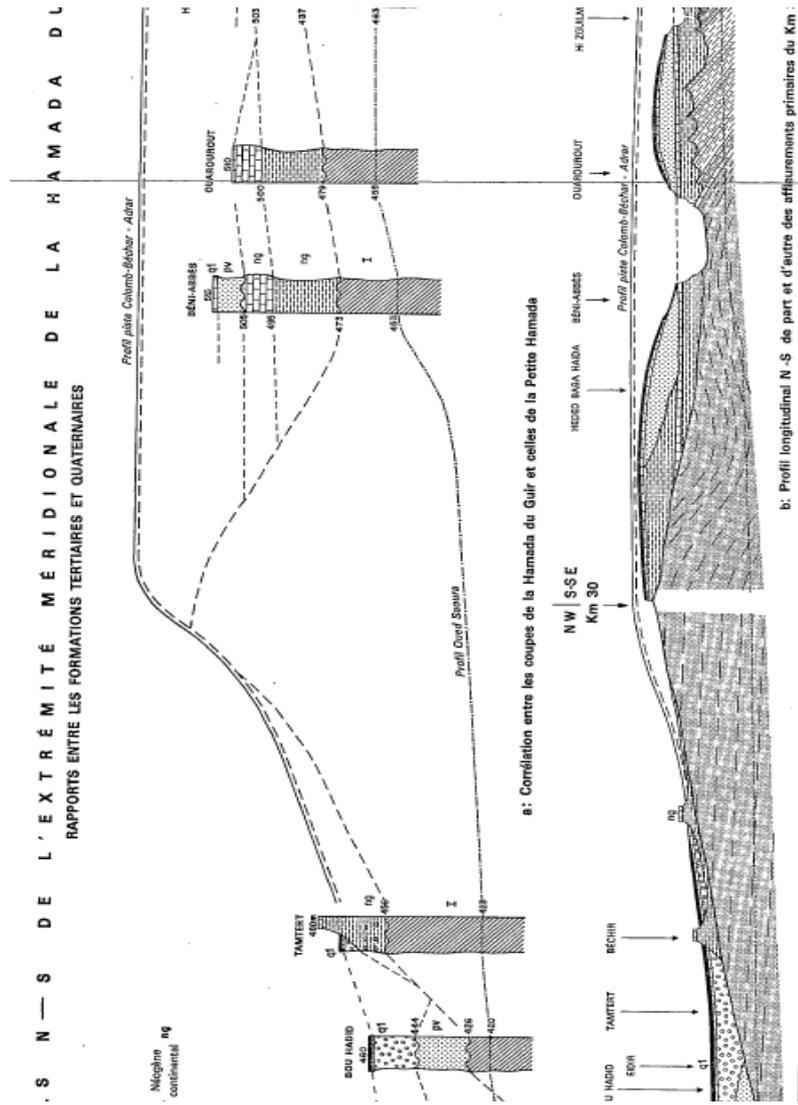


Figure 22: Profils n-s de l'extrémité méridionale de la hamada du Guir rapportés entre les formations tertiaires et quaternaires

6 CALCUL HYDRAULIQUE

6.1 ESTIMATION DES DIFFERENTS VOLUMES ET NIVEAUX

Cette partie exprime la variation du volume et de la surface de la retenue en fonction des hauteurs. A partir du plan topographique de la cuvette, on construit ces courbes qui permettent d'évaluer facilement les surfaces noyées et les volumes correspondants pour différentes cotes. Les données et les calculs nécessaires pour la construction des courbes sont mentionnés au tableau n°18

Tableau 18 : Caractéristiques volumétrique de la retenue

Cote	Surface Partielle	Surface Cumulée	hauteur partielle	hauteur cumulée	surface moyenne	volume partielle	volume total
<i>m</i>	<i>km²</i>	<i>km²</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>Km²</i>	<i>Hm³</i>	<i>Hm³</i>
469	0,00	0,00	0	0	0	0	0
470	0,34	0,34	1	1	0,17	0,17	0,17
471	0,35	0,69	1	2	0,34	0,34	0,51
472	0,42	1,11	1	3	0,38	0,38	0,90
473	0,50	1,60	1	4	0,46	0,46	1,35
474	0,59	2,19	1	5	0,54	0,54	1,90
475	0,62	2,81	1	6	0,60	0,60	2,50
476	0,67	3,48	1	7	0,65	0,65	3,15
477	0,82	4,30	1	8	0,74	0,74	3,89
478	0,85	5,14	1	9	0,83	0,83	4,72
479	0,98	6,13	1	10	0,91	0,91	5,63
480	1,07	7,19	1	11	1,02	1,02	6,66
481	1,19	8,38	1	12	1,13	1,13	7,78
482	1,24	9,62	1	13	1,21	1,21	9,00
483	1,38	11,00	1	14	1,31	1,31	10,31
484	1,55	12,55	1	15	1,47	1,47	11,78
485	1,64	14,19	1	16	1,60	1,60	13,37

A Partir des données du tableau n°18 nous construisons les courbes hauteur- volume $V=f(h)$ et la courbe hauteur-surface $S=f(v)$.

```
=====
** DETERMINATION DU NIVEAU NORMAL de RETENUE **
=====
** Tableau calcul courbe Hauteur=F(surface/volume) **
=====

tab_final_2 =

469      0      0      0      0      0      0
470      0.34    0.34    1      1      0.17    0.17    0.17
471      0.35    0.69    1      2      0.345    0.345    0.515
472      0.42    1.11    1      3      0.385    0.385    0.9
473      0.5     1.61    1      4      0.46     0.46     1.36
474      0.59    2.2     1      5      0.545    0.545    1.905
475      0.62    2.82    1      6      0.605    0.605    2.51
476      0.67    3.49    1      7      0.645    0.645    3.155
477      0.82    4.31    1      8      0.745    0.745    3.9
478      0.85    5.16    1      9      0.835    0.835    4.735
479      0.98    6.14    1     10     0.915    0.915    5.65
480      1.07    7.21    1     11     1.025    1.025    6.675
481      1.19    8.4     1     12     1.13     1.13     7.805
482      1.24    9.64    1     13     1.215    1.215    9.02
483      1.38    11.02   1     14     1.31     1.31     10.33
484      1.55    12.57   1     15     1.465    1.465    11.795
485      1.64    14.21   1     16     1.595    1.595    13.39

=====
** Calcul de la régularisation **
=====
```

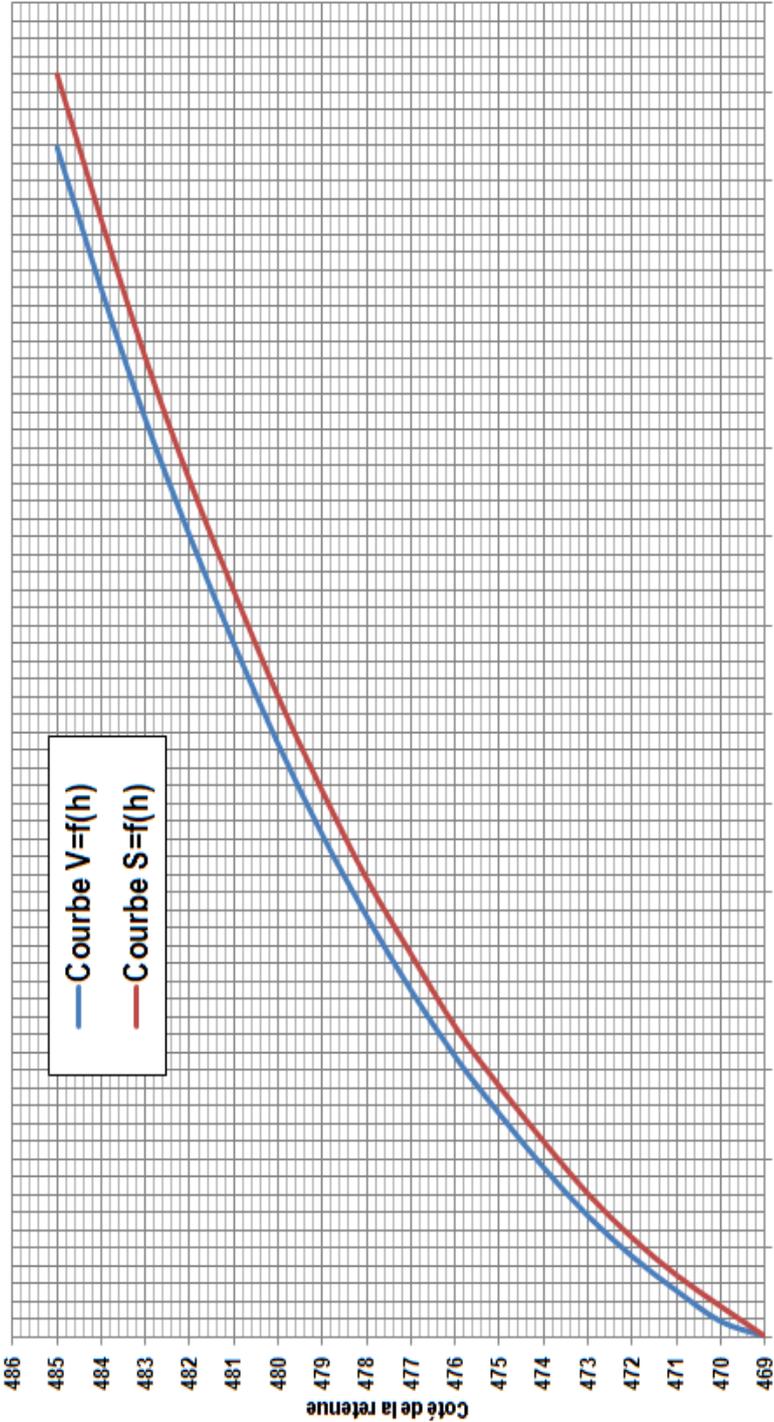
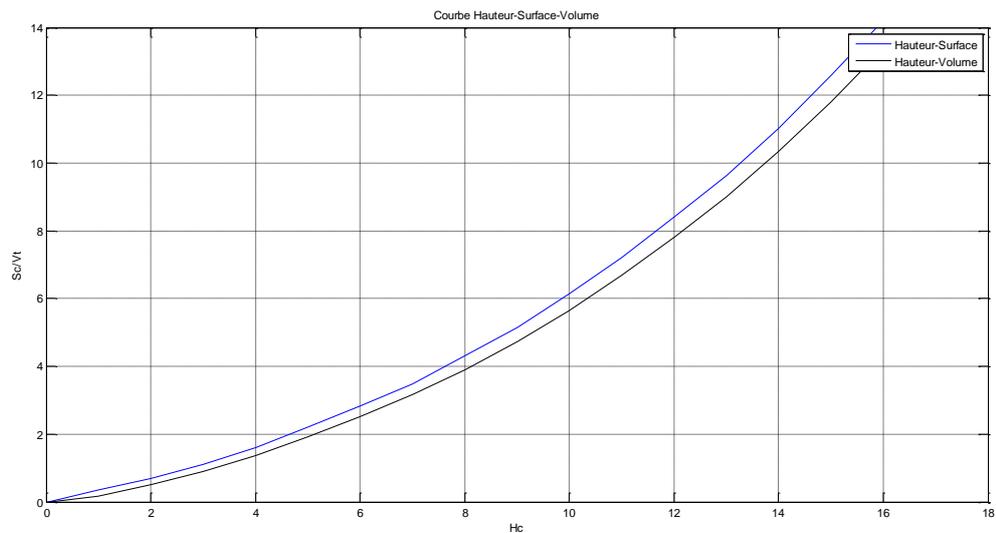


Figure 23 : Courbes : hauteur-surface (en bleu) et hauteur-volume (en rouge)



6.2 HYDROGRAMME DE CRUE

Afin de connaître les autres caractéristiques de la crue, telle son volume, ses temps de bases et de montée, nous utiliserons méthode de Sokolovski qui assimile en deux équations paraboliques

- Une équation pour la montée de la crue

$$Q_m(t) = Q_{max\%} \cdot \left[\frac{t}{t_m} \right]^m$$

- Une équation pour la décrue

$$Q_m(t) = Q_{max\%} \cdot \left[\frac{t_d - t}{t_d} \right]^n$$

Où :

$Q_m(t)$: débit instantané au moment de montée t

$Q_d(t)$: débit instantané au moment de la décrue t

$Q_{max\%}$: débit maximum de la décrue à une fréquence donnée.

m : exposant de la parabole généralement égale à 2

n : exposant de la parabole généralement égale à 3

Pour le temps de montée et de décrue Sokolovski suppose que :

t_m : temps de montée en heures = t_c

t_d : temps de descente en heures = $3 t_c$

t_c : temps de concentration

d'où

$t_c = 16,91h$, $t_m = 16,91h$, $t_d = 50,73 h$ et on aura un temps de base = $t_m + t_d = 16,91 + 50,73 = 67,64h$.

Les résultats de calcul sont représentés dans le tableau ci-dessus

Tableau 19 : Résultats de calcul des hydrogrammes de crue

PERIODE T(h)	PERIODE DE RETOUR (année)				PERIODE T(h)	PERIODE DE RETOUR (année)			
	10	50	100	1000		10	50	100	1000
0	0	0	0	0	34	198,64	279,7	316,2	401,3
1	2,38	3,4	3,8	4,8	35	181,45	255,5	288,8	366,6
2	9,53	13,4	15,2	19,3	36	165,28	232,7	263,1	333,9
3	21,44	30,2	34,1	43,3	37	150,10	211,4	238,9	303,3
4	38,12	53,7	60,7	77,0	38	135,88	191,3	216,3	274,5
5	59,56	83,9	94,8	120,3	39	122,58	172,6	195,1	247,7
6	85,77	120,8	136,5	173,3	40	110,18	155,2	175,4	222,6
7	116,74	164,4	185,8	235,9	41	98,65	138,9	157,0	199,3
8	152,47	214,7	242,7	308,1	42	87,95	123,9	140,0	177,7
9	192,97	271,7	307,2	389,9	43	78,06	109,9	124,3	157,7
10	238,24	335,5	379,2	481,3	44	68,94	97,1	109,7	139,3
11	288,27	405,9	458,9	582,4	45	60,55	85,3	96,4	122,3
12	343,06	483,1	546,1	693,1	46	52,88	74,5	84,2	106,8
13	402,62	567,0	640,9	813,5	47	45,88	64,6	73,0	92,7
14	466,95	657,5	743,3	943,4	48	39,53	55,7	62,9	79,9
15	536,04	754,8	853,3	1083,0	49	33,79	47,6	53,8	68,3
16	609,89	858,8	970,8	1232,2	50	28,64	40,3	45,6	57,9
16,91	681,24	959,3	1084,4	1376,4	51	24,04	33,9	38,3	48,6
17	677,62	954,2	1078,6	1369,1	52	19,96	28,1	31,8	40,3
18	638,26	898,8	1016,0	1289,6	53	16,37	23,1	26,1	33,1
19	600,46	845,6	955,8	1213,2	54	13,24	18,6	21,1	26,8
20	564,18	794,5	898,1	1139,9	55	10,54	14,8	16,8	21,3
21	529,40	745,5	842,7	1069,6	56	8,23	11,6	13,1	16,6
22	496,07	698,5	789,6	1002,3	57	6,29	8,9	10,0	12,7
23	464,17	653,6	738,9	937,8	58	4,67	6,6	7,4	9,4
24	433,67	610,7	690,3	876,2	59	3,37	4,7	5,4	6,8
25	404,54	569,7	643,9	817,3	60	2,33	3,3	3,7	4,7
26	376,74	530,5	599,7	761,2	61	1,53	2,2	2,4	3,1
27	350,24	493,2	557,5	707,6	62	0,94	1,3	1,5	1,9
28	325,02	457,7	517,4	656,7	63	0,52	0,7	0,8	1,1
29	301,03	423,9	479,2	608,2	64	0,25	0,4	0,4	0,5
30	278,26	391,8	442,9	562,2	65	0,10	0,1	0,2	0,2
31	256,67	361,4	408,6	518,6	66	0,02	0,0	0,0	0,0
32	236,22	332,6	376,0	477,3	67	0,00	0,0	0,0	0,0
33	216,89	305,4	345,2	438,2	68	0,00	0,0	0,0	0,0

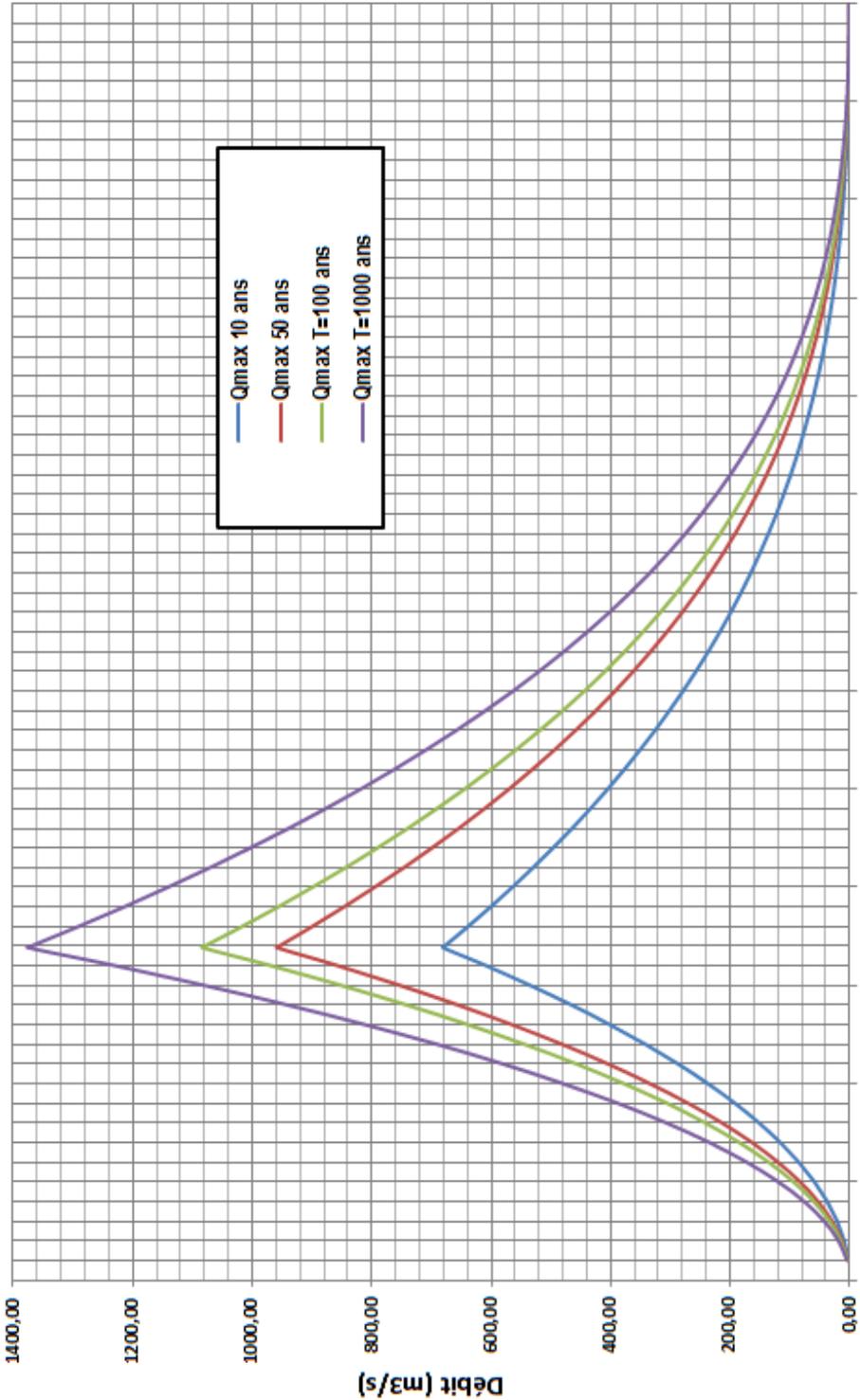


Figure 24 : hydrographes de crues de différentes fréquences

```

*****
** DIMENSIONNEMENT DE LA DIGUE **
*****

t =

Columns 1 through 8

    1.0000    2.0000    3.0000    4.0000    5.0000    6.0000    7.0000    8.0000

Columns 9 through 16

    9.0000   10.0000   11.0000   12.0000   13.0000   14.0000   15.0000   15.8900

o =

    16
    
```

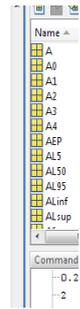
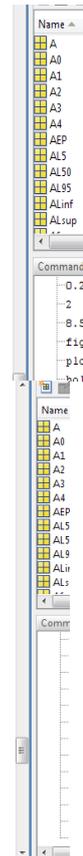
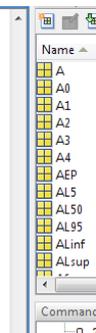


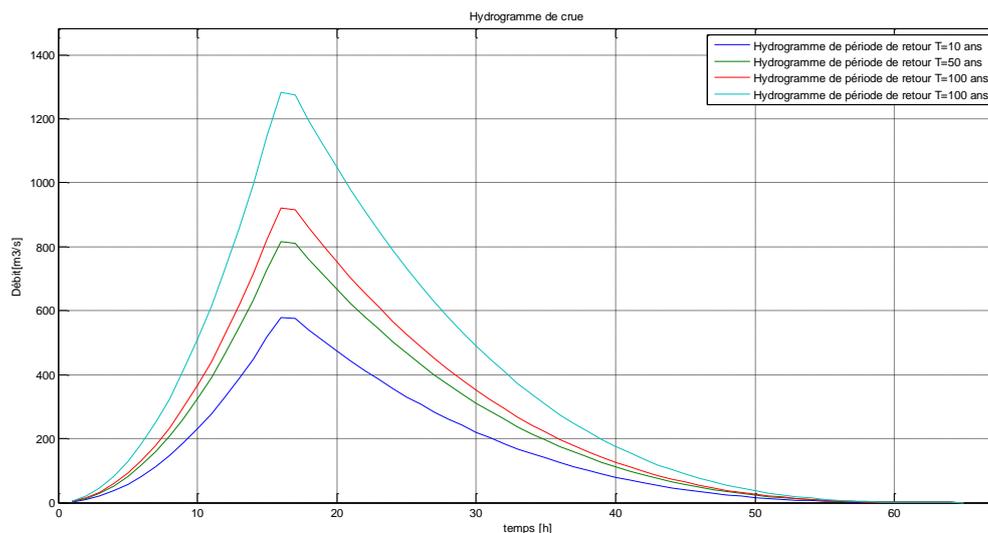
Tableau des valeurs des hydrogrammes de crue de différentes périodes de retour

Tab_Crue =	1	2	3	4	5
1	2.2964952	3.2378879	3.6515774	5.082553	
2	9.1858809	12.951552	14.40631	20.330212	
3	20.668457	29.140591	32.864196	45.742977	
4	36.743923	51.806207	58.425238	81.320948	
5	57.41238	80.947198	91.289435	127.06383	
6	82.673828	116.56397	131.45679	182.97191	
7	112.52827	158.65651	178.92729	249.0451	
8	146.97569	207.22483	233.70095	325.28339	
9	186.01611	262.26892	295.77777	411.68679	
10	229.64952	323.78879	365.15774	508.2553	
11	277.87592	391.78444	441.84086	614.98891	
12	330.69531	466.25586	525.82714	731.88763	
13	388.10769	547.20306	617.11658	858.95146	
14	450.11306	634.62604	715.70917	996.18039	
15	516.71142	728.52479	821.60491	1143.5744	
15.89	579.8469	817.54113	921.99444	1283.3045	
16	575.84211	811.89467	915.62657	1274.4412	
17	540.2774	761.75106	859.07635	1195.7301	
18	506.20803	713.71578	804.90383	1120.3285	
19	473.60189	667.74355	753.05794	1048.1654	
20	442.42687	623.78908	703.48762	979.16948	
21	412.65085	581.80709	656.1418	913.26984	
22	384.2417	541.75231	610.96941	850.39534	
23	357.16733	503.57944	567.91938	790.47492	
24	331.39556	467.24321	526.94064	733.43749	
25	306.8944	432.69834	487.98213	679.21197	
26	283.63161	399.89954	450.99279	627.72729	
27	261.57513	368.80153	415.92154	578.91235	
28	240.69282	339.35903	382.71731	532.69609	
29	220.95258	311.52676	351.32904	489.00743	
30	202.32229	285.25943	321.70566	447.77528	
31	184.76984	260.51177	293.79611	408.92856	
32	168.26309	237.23848	267.54931	372.3562	
33	152.76995	215.3943	242.9142	338.10711	
34	138.25829	194.93393	219.83971	305.99022	
35	124.69599	175.8121	198.27477	275.97444	
36	112.05094	157.98352	178.16832	247.9887	
37	100.29103	141.40292	159.46929	221.96192	
38	89.384133	126.025	142.12661	197.92301	
39	79.299135	111.80448	126.08921	175.5009	
40	70.009919	98.696104	111.30603	154.9245	
41	61.46037	86.654563	97.726002	136.02275	
42	53.64437	75.634584	85.298053	118.72455	
43	46.520804	65.590884	73.971117	102.95883	
44	40.057555	56.478181	63.694128	88.654505	
45	34.222505	48.251194	54.416019	75.740501	
46	28.983539	40.864641	46.085721	64.145736	
47	24.30854	34.273239	38.652167	53.79913	



47	24.30854	34.273239	38.652167	53.79913	
48	20.165392	28.431707	32.06429	44.629604	
49	16.521977	23.294762	26.271022	36.566078	
50	13.346179	18.817123	21.221297	29.537472	
51	10.605882	14.953507	16.864045	23.472707	
52	8.2689694	11.658634	13.148201	18.300702	
53	6.3033241	8.8872195	10.022697	13.950379	
54	4.6768297	6.5939831	7.4364648	10.350657	
55	3.3573698	4.7336424	5.3384372	7.4304574	
56	2.3128276	3.2609155	3.677547	5.1186996	
57	1.5110868	2.1305203	2.4027266	3.3443042	
58	0.92003057	1.2971749	1.4629087	2.0361916	
59	0.5075425	0.71559728	0.80702572	1.123282	
60	0.24150597	0.34050551	0.38401027	0.53449574	
61	0.098904434	0.12661759	0.14279492	0.19875321	
62	0.020321309	0.028651539	0.032312208	0.044974677	
63	0.00094003054	0.0013253734	0.00149471	0.0020804551	
63.56	0	0	0	0	





6.3 DIMENSIONNEMENT HYDROTECHNIQUE DE LA DIGUE

6.3.1 Hauteur du barrage

La hauteur du barrage sera égale :

$$H_b = NNR + H_{max} + R + h_s$$

Avec :

NNR : Niveau Normal de la Retenue (déterminé de la régularisation)

H_{max} : Charge maximale d'eau déversée (déterminé de l'étude du laminage des crues)

R : revanche pour les digues en terre

h_s : hauteur de sécurité

6.3.2 Régularisation des écoulements

La régularisation des apports est la distribution dans le temps par rapport à la modulation, du régime de la demande par rapports aux pertes par infiltration et évaporation. La régularisation de l'écoulement est l'accumulation de l'eau dans les périodes d'excès pour l'utiliser dans les périodes de déficit.

La régularisation nous permet de définir la variation du niveau du plan d'eau en fonction des volumes d'eau entrant et sortant, et cela pour déterminer la hauteur économique du barrage.

6.3.2.1 Données de la régularisation

Les données disponibles sont :

- **Un apport solide** : est donnée par l'étude hydrologique de 2 hm³ ;
- **Un apport liquide** : est donnée par l'étude hydrologique de 15 hm³ ;

▪ Répartition de l'écoulement

En réalité, le régime pluviométrique est très irrégulier, la quantité annuelle tombe souvent en une seule fois, causant des crues et beaucoup de dégâts. La répartition de l'écoulement est proportionnelle aux mesures des précipitations. A partir des mesures des précipitations, on estime la répartition mensuelle des écoulements. Les valeurs sont mentionnées dans le tableau

Tableau 20 : Répartition mensuelles des écoulements

Mois	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	Total
Apport (%)	4,36	4,36	9,97	14,64	9,35	3,43	0,31	3,74	7,79	14,02	15,26	12,77	100
Apport (hm ³)	0,65	0,65	1,50	2,20	1,40	0,51	0,05	0,56	1,17	2,10	2,29	1,92	15

▪ Répartition de l'évaporation

L'évaporation est un élément climatique important à prendre en considération compte tenu de son rôle, ainsi que son influence sur les précipitations. Elle est exprimée en millimètre d'eau. La station la plus proche à Mazzer est celle de Béni Abbès. Les mesures des moyennes mensuelles pour la période 1973-2008, sont disponibles (tableau n°14)

Tableau 21 : Evaporation moyenne mensuelle station de Béni Abbès (1973-2008)

Mois	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	Total
Evap (mm)	310,4	187,4	112,1	83	100,09	115,1	158,9	221,6	272,1	307,7	352,2	371,9	2592,5

Les données de la station de Béni Abbès montrent que l'évaporation augmente progressivement pour atteindre le maximum aux mois de Juillet et Août, (371.94 mm) puis diminue jusqu'aux valeurs de 83 à 100 mm, durant les mois de Décembre et Janvier.

▪ Perte par infiltration

Nous proposons de considéré les pertes d'infiltration égale à 1% de l'apport moyen annuels.

Tableau 22 : Répartition mensuelles de l'infiltration

Mois	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	Total
Infiltration (10 ³ m ³)	6.5	6.5	15	22	14	5	0.5	5.5	11.5	21	23	19	150

▪ Besoin en irrigation

La superficie des terres agricoles à Mazzer englobe quelques 210 hectares (source PDAU de IGLI, 2008), essentiellement des Oasis (90%). Ces terres sont irriguées à partir de puits (120 puits) et sources (6 sources). Le débit de ces puits et sources sera soutenu par la construction de la digue de Mazzer, qui va assurer une alimentation des puits et sources de la localité.

Nous considérons dans notre étude une surface irrigable de 210 hectares. Il est recommandé d'utiliser des volumes supérieurs à 25000 m³ par hectares et par ans (source : Cultiver le Palmier-Dattier de Gilles Peyron, 2000).

La distribution typique de l'irrigation pour les palmier-Dattier selon le guide INRA (2003) est donnée dans le tableau suivant :

Tableau 23 : Distribution typique généralisée de la demande pour l'irrigation

Mois	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	Total
Taux (%)	7	7	7	6	6	8.5	8.5	10	10	10	10	10	100
Besoins (hm ³)	0.368	0.368	0.368	0.351	0.351	0.45	0.45	0.525	0.525	0.525	0.525	0.525	5.25

6.3.2.2 Calcul de la régularisation

La régularisation des écoulements se fait selon la formule suivante :

$$V_{fi} = Y_i + V_m + V_{\text{évap}} - V_{\text{inf}} - V_{\text{irrig}}$$

Où :

Y_i : apport liquide du premier mois i

V_m : volume mort

$V_{\text{évap}}$: volume évaporé

V_{inf} : volume infiltré

V_{irrig} : volume irrigation

Tableau 24 : Calcul d la régularisation pour la retenue de Mazzer

mois	apport	volume stocké	surface inondée	évaporation	Volume évaporé	pertes infiltration	besoin irrigation	volume fin du mois	cote	Hauteur Plan d'eau
	hm ³	hm ³	km ²	mm	hm ³	hm ³	hm ³	hm ³	m	m
IX	0,65	2,600	3	310,4	0,931	0,0065	0,360	1,302	472,8	1,8
X	0,65	1,952	2,2	187,4	0,412	0,0065	0,360	1,174	472,5	1,5
XI	1,5	2,674	3	112,1	0,336	0,0150	0,360	1,962	474	3
XII	2,2	4,162	4,4	83	0,365	0,0220	0,350	3,425	476,2	5,2
I	1,4	4,825	5,2	100,09	0,520	0,0140	0,350	3,941	476,8	5,8
II	0,51	4,451	4,8	115,1	0,552	0,0050	0,450	3,443	476,4	5,4
III	0,05	3,493	3,8	158,9	0,604	0,0005	0,450	2,439	474,8	3,8
IV	0,56	2,999	3,4	221,6	0,753	0,0055	0,520	1,720	473,6	2,6
V	1,17	2,890	3,2	272,6	0,872	0,0115	0,520	1,486	473,2	2,2
VI	2,1	3,586	3,8	307,7	1,169	0,0210	0,520	1,876	473,9	2,9
VII	2,29	4,166	4,2	352,2	1,479	0,0230	0,520	2,143	474,3	3,3
VIII	1,92	4,063	4,25	371,9	1,581	0,0190	0,520	1,944	473,9	2,9

6.3.2.3 Détermination du Niveau Normal de Retenue NNR

Nous adoptons comme NNR la plus grande cote calculé dans le tableau n° 18.

Le Niveau Normal de Retenu **NNR = 476,8 m** soit une hauteur normale de **5,8 m** et un volume de la retenue de **3,94 hm³** et une retenue d'une superficie de **4,1 km²**.

```

Command Window
=====
Calcul de la régularisation
=====
** Calcul de la régularisation **
=====

** valeur du volume mort calculer précédement **

Vm =

    2.0046e+006

entrer la valeur du volume mort [hm3]: Vm= 2
=====
** Calcul de la régularisation **
=====

NNR =

    8.0618

entrer la valeur du NNR adoptée [hm3]: Vm= 8.5

```

6.3.3 Laminage des crues

L'étude du laminage consiste soit à déterminer la cote maximale atteinte par le plan d'eau pendant la crue (NPHE) ainsi que les dimensions de l'évacuateur de crue.

6.3.3.1 Principe du laminage

Le phénomène de laminage des crues est la transformation de l'onde de crue entre un point amont et un point aval d'un cours d'eau. Il a pour effet de diminuer le débit de pointe (le débit maximal) en répartissant le volume de la crue dans le temps. Ceci est possible grâce au stockage temporaire d'une partie du volume de la crue dans la retenue de la digue.

Le débit qui passe dans l'évacuateur de crue Q_e est inférieur à celui de la pointe de la crue à l'entrée de la retenue Q_c

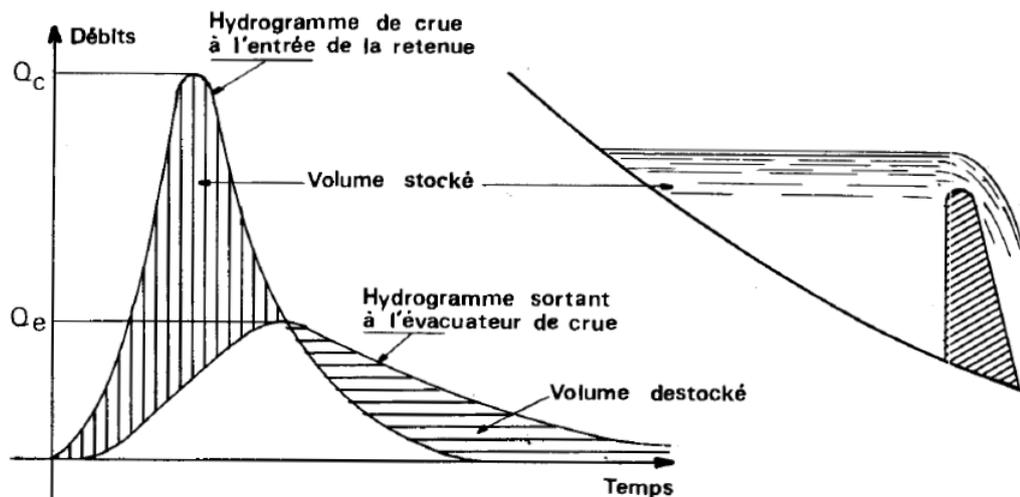


Figure 25 : Principe du laminage des crues par la retenue

Le mécanisme du laminage peut être traduit par l'équation suivante

$$Q_c(t).dt = Q_e(z).dt + A(z).dz$$

t : temps

z : côte du plan d'eau

Q_c : débit de crue entrant dans la retenue

Q_e : débit sortant de la retenue par l'évacuateur de la crue

$A(z)$: aire du plan d'eau à la côte z

6.3.3.2 Méthode de calcul

Il existe plusieurs méthodes pour la résolution de l'équation du laminage des crues. Nous utilisons dans cette étude la méthode Pulls ou connu aussi sous le nom de la méthode Storage Indication Curve (SIC)

- **Principe de la méthode de la « Storage Indication Curve ».**

La méthode de la « Storage Indication Curve » est une procédure de calcul qui permet d'obtenir l'hydrogramme sortant d'un réservoir connaissant l'hydrogramme entrant et les caractéristiques de vidange de ce réservoir. Elle repose sur la forme discrétisée de l'équation de continuité : la variation de stockage S entre deux instants $t=j$ et $t=j+1$ peut s'exprimer selon la relation (1) où O est le débit sortant, I le débit entrant et Δt le pas de temps :

$$S_{j+1} - S_j = \frac{I_j + I_{j+1}}{2} \cdot \Delta t - \frac{O_j + O_{j+1}}{2} \cdot \Delta t \quad (1)$$

L'expression (1) peut être réarrangée de manière à isoler dans le terme de gauche les deux inconnues S_{j+1} et O_{j+1} :

$$\left(2 \cdot \frac{S_{j+1}}{\Delta t} + O_{j+1}\right) = (I_j + I_{j+1}) + \left(2 \cdot \frac{S_j}{\Delta t} - O_j\right) \quad (2)$$

Afin de calculer le débit sortant O_{j+1} de la relation (2), une courbe reliant le terme $(2 S/\Delta t + O)$ au débit sortant O est nécessaire. Cette courbe Storage Indication Curve qui donne son nom à la méthode, est construite en se basant sur la relation Hauteur-Volume du réservoir et sur sa loi de vidange : pour une hauteur d'eau donnée H_j , la relation Hauteur-Volume de la retenue permet de calculer le volume stocké dans la retenue S_j , et l'équation de vidange permet d'obtenir le débit de vidange sortant O_j .

Pour le calcul de la propagation de la crue à travers le réservoir dans l'intervalle j , tous les termes de droite de l'équation (2) sont connus, et la valeur de $(2 \cdot S_{j+1}/\Delta t + O_{j+1})$ peut alors être calculer. La valeur correspondante de O_{j+1} peut être déterminée graphiquement ou numériquement grâce à la « Storage Indication Curve ». Pour passer au pas de temps suivant, la valeur de $(2 S_{j+1}/\Delta t - O_{j+1})$ est obtenue par le calcul suivant :

$$\left(2 \cdot \frac{S_{j+1}}{\Delta t} - O_{j+1}\right) = \left(2 \cdot \frac{S_{j+1}}{\Delta t} + O_{j+1}\right) - 2 \cdot O_{j+1} \quad (3)$$

Le calcul est ensuite répété sur l'ensemble de la période de laminage.

- **Largeur du déversoir**

On choisit un déversoir du type CREAGER d'une largeur de 50 m. Nous admettons que la crue survient lorsque le lac atteint le niveau NNR. Nous dimensionnons le réservoir dans le but d'évacué la crue centennale.

Le débit de déversement en fonction de la hauteur d'eau est donné par la formule suivante :

$$Q_{dév} = \mu \cdot L \cdot h^{2/3} \cdot \sqrt{2 \cdot g}$$

Avec :

$Q_{dév}$: débit déversé (m³/s)

μ : Coefficient de débit =0,49

L : Largeur de la crête de déversement (m)

g : accélération de la pesanteur $g=9,81$ m/s²

h : la charge d'eau au-dessus du déversoir (m)

6.3.3.2.1 Largeur du déversoir égale à 50 m

- **Etablir la Storage Indication Curve**

On applique les principes de la méthode SIC pour les données de la digue de Mazzer, nous construisons la courbe SIC de la figure n°16.

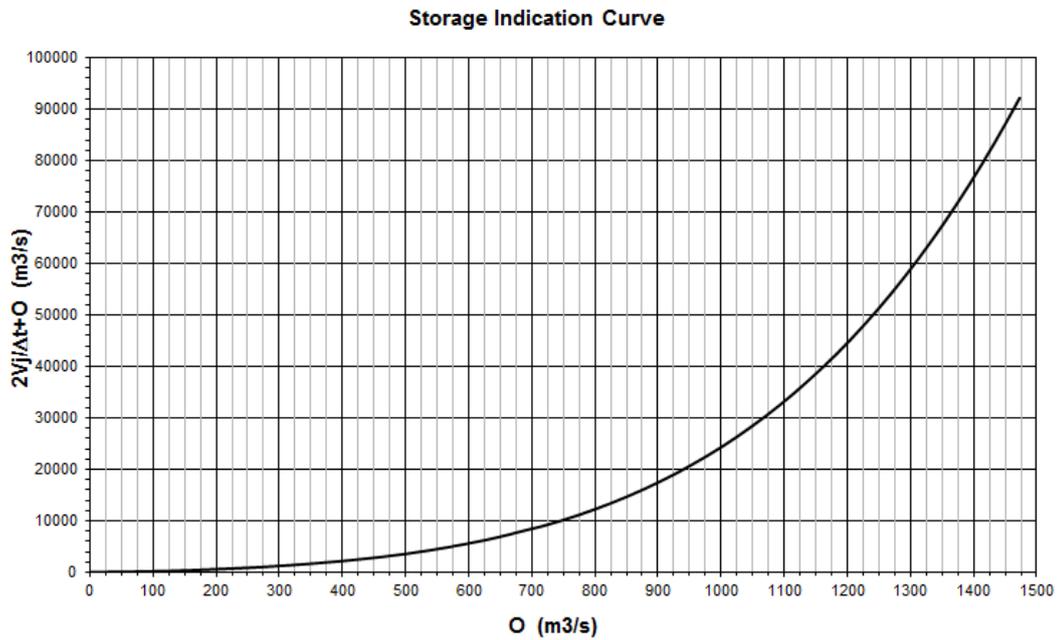


Figure 26 : Courbe SIC de la retenue de la digue de Mazzer (Largeur déversoir =50 m)

- **Calcul de l'hydrogramme laminé**

L'hydrogramme de la crue centennale et celui laminé par la crue sont donnée par la figure n°17

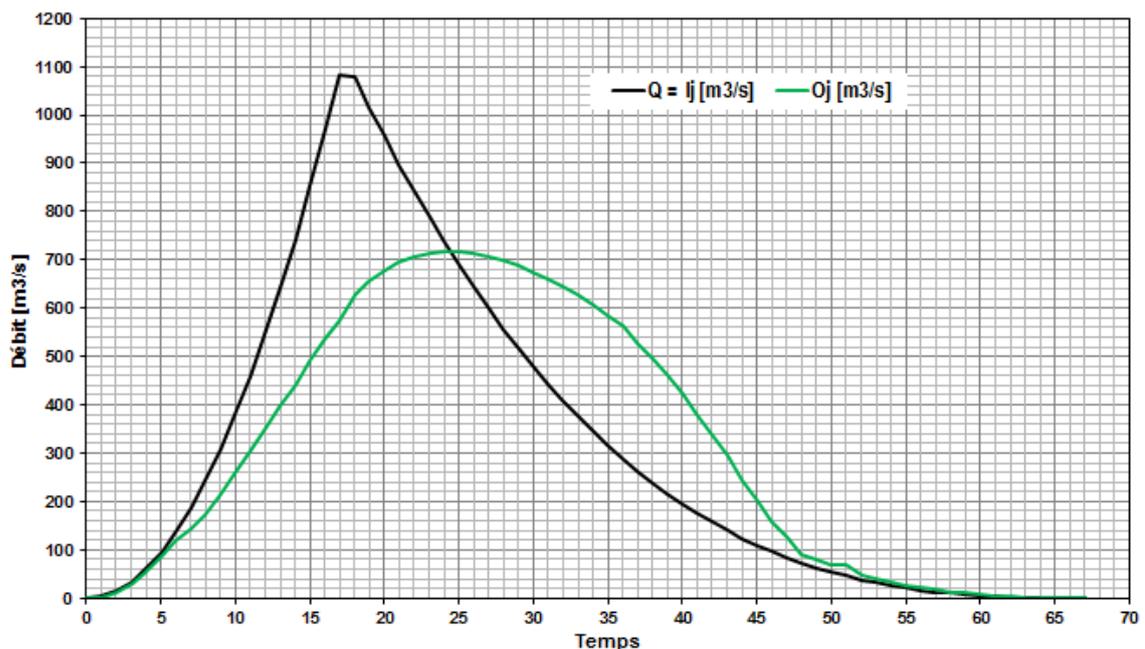


Figure 27 : Hydrogrammes : de crue entrant et laminé par la retenue (Largeur déversoir =50 m)

- **Détermination de l'altitude maximale du plan d'eau et le moment où ce niveau est atteint**

Le niveau maximal est atteint après 24 heures du débit de la crue avec un stock de $14,72 \text{ hm}^3$, avec une hauteur de $11,4 \text{ m}$, c'est-à-dire une hauteur du déversoir de $5,60 \text{ m}$.

Cette hauteur et ce volume ne sont pas acceptables. Nous devons augmenter la largeur du déversoir afin de déterminer une largeur adéquate.

6.3.3.2 Largeur du déversoir égale à 60 m

- **Etablir la Storage Indication Curve**

On applique les principes de la méthode SIC pour les données de la digue de Mazzer, nous construisons la courbe SIC de la figure n°18.

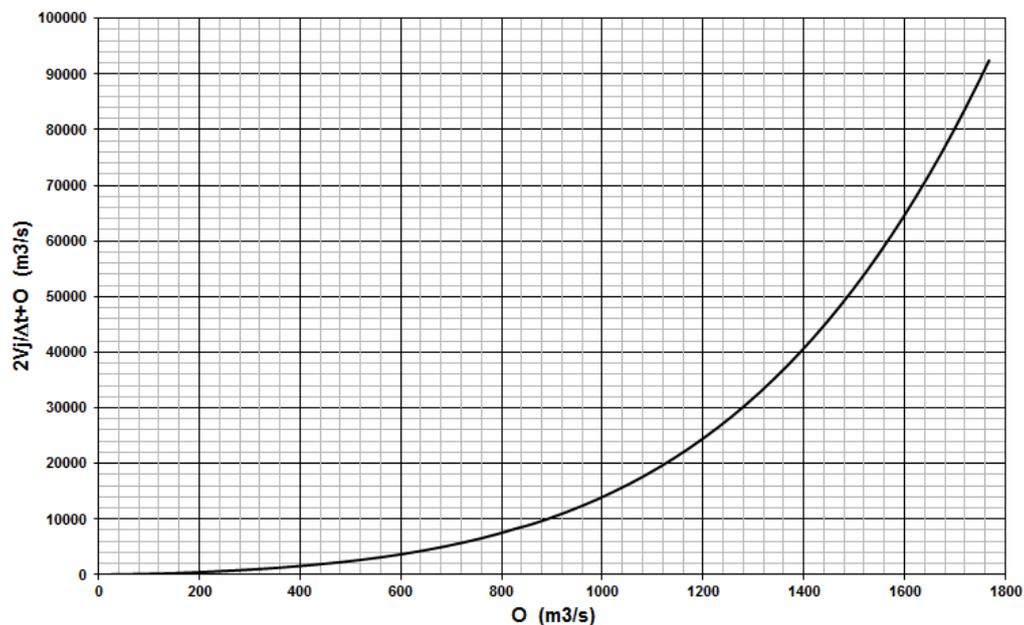


Figure 28 : Courbe SIC de la retenue de la digue de Mazzer (Largeur déversoir =60 m)

- **Calcul de l'hydrogramme laminé**

L'hydrogramme de la crue centennale et celui laminé par la crue sont donnée par la figure n°19

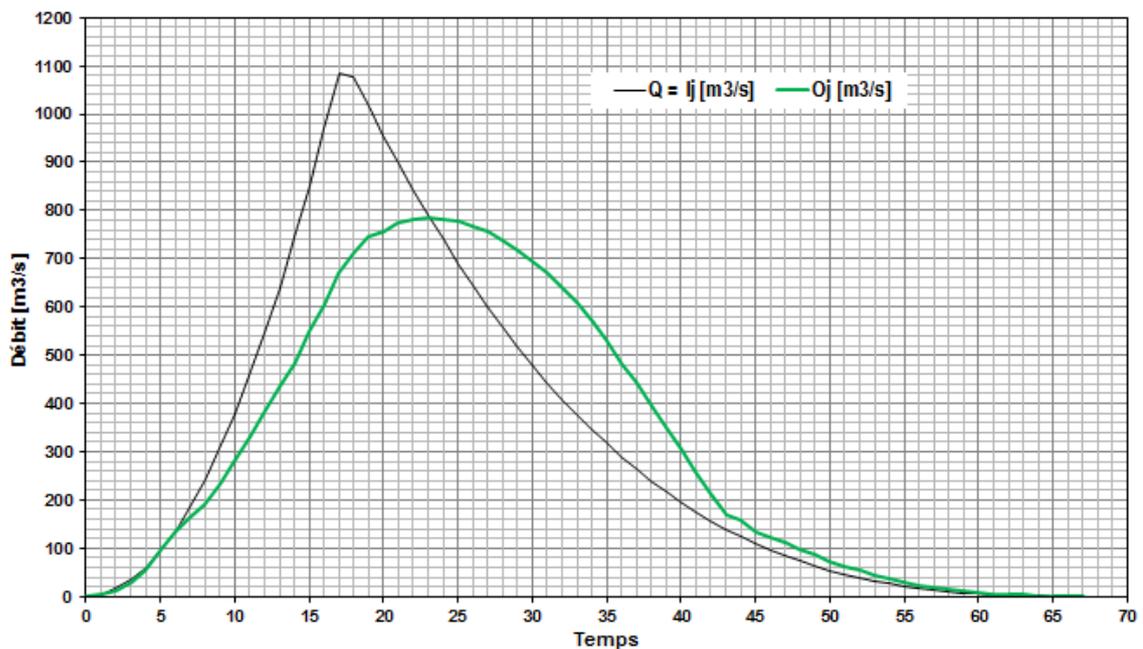


Figure 29 : Hydrogrammes : de crue entrant et laminé par la retenue (Largeur déversoir =60 m)

- Détermination de l'altitude maximale du plan d'eau et le moment où ce niveau est atteint

Le niveau maximal est atteint après 24 heures du débit de la crue avec un stock de $11,24 \text{ hm}^3$ avec une hauteur de 6,90 m. c'est-à-dire une hauteur du déversoir de 1,1

Cette hauteur et ce volume ne sont pas acceptables. Nous devons augmenter la largeur du déversoir afin de déterminer une largeur adéquate.

Le Niveau des plus hautes Eaux est pris égale à **NPHE= 6,9 m**.

6.3.3.3 Etude de la crue de Novembre 2014

La région de Béchar a subit une inondation importante le 30 Novembre 2014. A une centaine de kilomètres au sud-est de Béchar, la palmeraie de Taghit, 60km en amont d'Igli, a été complètement inondée.

Les mesures pluviométriques (Figure 30) au niveau des stations ONM : Béchar et Beni Abbes fait ressortir le constat suivant :

Ce n'est pas l'épisode pluvieux du 29 Novembre 2014, à lui seul, à l'origine de la crue qui à inonder la vallée de la Saoura. Les 24 et 25 Novembre une précipitation respectivement de 52,1mm et 15 mm a probablement dû :i) gonflé les cours d'eau, ii) saturé les sols et iii) remplir les retenu existantes.

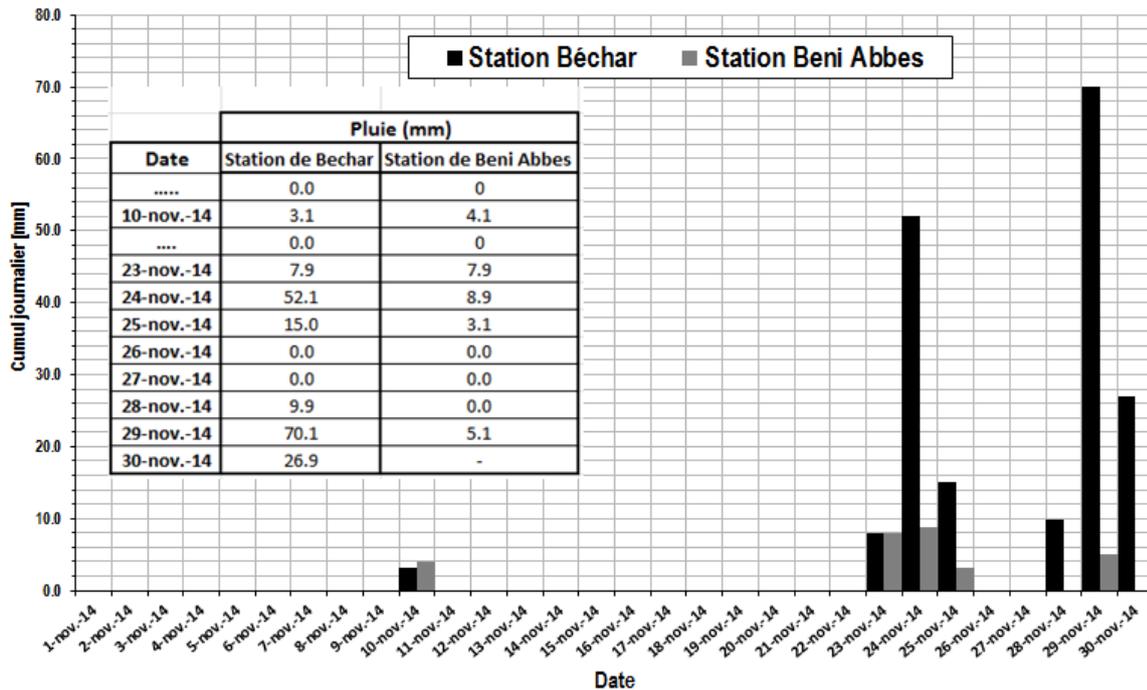


Figure 30 : histogramme des pluies du mois de Novembre 2014 à la station ONM de Béchar et Beni Abbes

La pluie du 29 et 30 Novembre (respectivement 70.1mm et 26.9 mm) ne peut être écartée ce qui a engendré une grande et large inondation. Le total des précipitations de ce mois de Novembre est estimé à 184,9 mm à la station de Béchar ONM.

La pluie journalière du 29 Novembre de 70,1 mm représente la plus grande valeur enregistrée au niveau de la station de Béchar ONM. Par contre, les valeurs de la pluie enregistrées au niveau de la station de Beni Abbes ONM ne font pas ressortir ce caractère exceptionnel de l'évènement.

Le débit donné par cette pluie selon la formule de Samie (page 58) est 1844.85 m³/s. L'hydrogramme de crue est donnée par (Figure 31) :

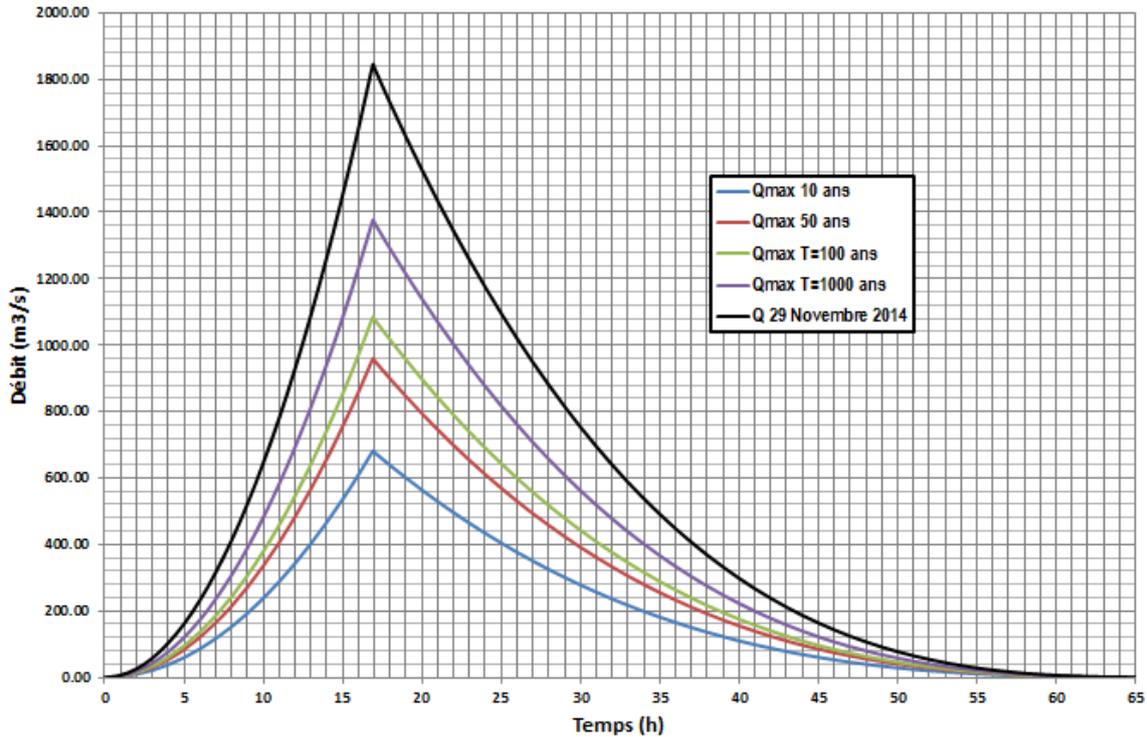


Figure 31 : hydrogramme de la crue du 29 Novembre 2014

Cette crue est générée par des pluies qui se précipitent en amont du bassin versant de Mazzer. Le programme de construction de retenus collinaires (12 retenus en tous) lancé par la DRE permettra, sans aucun doute, d'écrêter cette crue. La future digue de Mazzer se trouve en fin de série de ces retenus. Elle bénéficie de l'écrêtement généré par cette série de retenus. Il n'est pas ni nécessaire ni économique de revoir les dimensions de l'évacuateur de crue pour cet événement qui est de type extraordinaire (dépassant la période de retour de 2300 ans).

6.3.4 Calcul de la revanche

6.3.4.1 Formule de STEVENSON.

Pour F (fetch) < 18 km

$$R_v = 0,75h_v + \frac{V_v^2}{2g}$$

$$h_v = 0,75 + 0,34F^{1/2} - 0,26F^{1/4}$$

$$V_v = 1,5 + 0,66h_v^{1/2}$$

où:

R_v = hauteur de montée de la vague (m).

F = longueur maximale de la surface d'eau du lac en suivant la direction du vent (km). On l'appelle "fetch".

h_v = hauteur de la vague (m).
 V_v = vitesse de propagation de la vague (m / s).
 g = accélération de la gravité (9.81 m / s²).

6.3.4.2 Formule de MALLET et de PAQUANT.

$$R_v = h_v + \frac{V_v^2}{2g}$$

$$h_v = \frac{1}{2} + \frac{1}{3} F^{1/2}$$

$$V_v = \frac{3}{2} + \frac{2}{3} h_v$$

6.3.4.3 Formule de l'U.S.B.R.

$$R_v = 0,75h_v + \frac{V_v^2}{2g}$$

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

$$h_v = 0,75 + 0,34F^{1/2} - 0,26F^{1/4}$$

Formule			
Paramètres	Devis	Mallet et de Paquant	U.S.B.R.
F (km)		0,8	
h_v (m)	0,81	0,8	0,81
v_v (m/s)	2,1	2,03	3,12
R_v (m)	0,83	1.01	1,1

On adopte une revanche égale à 1 m

6.3.5 La hauteur de sécurité

Selon le guide de l'ANBT (2004) dans le volume : « manuel de conception et projets typiques De digues en terre » : la hauteur libre de sécurité (réserve constructive); dans le cas des petits barrages entre 0.40 et 0,60 m. **Nous adoptons a=0,4 m**

6.3.6 Calcul des tassements d'un barrage en terre :

Pour les petits barrages on calcule le tassement d' après la formule :

$$T = 0.01 H_b$$

Où

T=Tassement de la crête du barrage

H_b =Hauteur du barrage

La hauteur du barrage

$$H_b = PHE + R + a$$

$$H_b = 6,9 + 1 + 0,4 = 8,3 \text{ m}$$

Le tassement $T = 0,01 * H_b = 0,083 \text{ m}$

La hauteur finale de la crête du barrage est égale à $8,3 + 0,083 = 8,38 \text{ m}$

Nous adoptons une hauteur finale de la digue de 8,5 m

6.4 DETERMINATION DE LA LARGEUR DE LA CRETE.

Pour cela on utilise des formules; les plus appliquées parmi elles sont :

En étant: b la largeur de la crête et H_b la hauteur du barrage.

6.4.1 3.7.1. KNAPPEN.

$$b = 1,65 \cdot \sqrt{H_b}$$

$b = 4,81 \text{ m}$

6.4.2 3.7.2. PREECE.

$$b = 1,10 \cdot \sqrt{H_b} + 1$$

$b = 4,2 \text{ m}$

L'ANBT (2004) recommande pour les digues dont les hauteurs sont inférieures à 10 m, la largeur de la crête ne doit pas être inférieure à 3 m. Pour les digues de hauteur supérieure à 10 m, la largeur de la crête sera égale à 1/3 de la hauteur de la digue, mais en général il est recommandable que la largeur soit de 4 à 6 m.

Dans notre cas on adopte une largeur en crête de **4,2 m**

6.5 PENTE DES TALUS

La pente des talus de la digue est fixée par les conditions de stabilité mécaniques du massif et de ses fondations.

A titre indicatif, le tableau ci-après donne quelques valeurs qui devront être confirmées par une étude de stabilité.

Tableau 25 : valeurs des pentes de talus des barrages en terre (guide technique des barrages en aménagement rurale, 1977)

Hauteur du barrage	Type de barrage	Pentes des talus	
		Amont	Aval
<5 m	- Homogène	1/ 2,5	1/ 2,0
	- A zone	1/ 2,0	1/ 2,0
5 à 10 m	- Homogène à granulométrie étendue	1/ 2,0	1/ 2,0
	- Homogène à fort % en argile	1/ 2,5	1/ 2,5
	- A zones	1/ 2	1/ 2,5
10 à 20 m	- Homogène à granulométrie étendue	1/ 2,5	1/ 2,5
	- Homogène à fort % en argile	1/ 3,0	1/ 2,5
	- A zones	1/ 2,0	1/ 3,0
>20 m	- Homogène à granulométrie étendue	1/ 3,0	1/ 2,0
	- Homogène à fort % en argile	1/ 3,0	1/ 2,5
	- A zones	1/ 3,0	1/ 3,0

Dans notre étude nous avons une digue de hauteur inférieur à 10 m nous considérons des talus a pente de 1/2 en amont et de 1/2 en aval

7 CONCLUSION

Dans ce travail de master, nous avons développé une série de programme sous Matlab qui permet de faire les principales étapes d'une étude d'une digue.

Une application à été faite sur un cas d'étude validée et approuvée. Les premiers résultats sont satisfaisants.

La suite du travail sera de compléter les parties qui reste et de développera une interface au programme.

8 REFERENCES

1. Boutaghane H. 2016 , polycopié initiation a Matalab, avec des applications en hydrologie.
2. Gilles Peyron, 2000, Cultiver le palmier-dattier, Livre, édition CIRAD, 112 p
3. ANBT, 2004, procédures méthodologiques pour l'exécution d'études des retenues collinaires et petits barrages, hydrologie appliquée, 103 p.
4. ANBT, 2004, procédures méthodologiques pour l'exécution d'études des retenues collinaires et petits barrages, manuel de conception et projets typiques de digues en terre, 32 p.
5. Moulay Hassan Sedra, 2003, Le palmier Dattier base de mise en valeur des oasis au Maroc. techniques phoénicoles et création d'oasis, édition INRA, 265 p.
6. Benoît Hingray, Cécile Picouet et André Musy, 2009, Hydrologie 2, Une science pour l'ingénieur, édition PPUR, 600 p.
7. Ministère de l'agriculture (France), 1977, Technique des barrages en aménagement rural, 325p.
8. Gérard Degoutte 1997, Petits barrages - Recommandations pour la conception, la réalisation et le suivi, Comité Français des Grands Barrages (CFGGB), 163p.
9. Conard G. et Roche M-A., 1965, Etude stratigraphique et hydrogéologique de l'extrémité méridionale de la Hamada du Guir, Extrait du bulletin de la société géologique de France, 7eme série, t. VII, p.695 à 712.
10. Schleiss Anton J. et Pougatsch Henri (2011), Les barrages (Traité de Génie Civil, volume 17) Du projet à la mise en service, édition PPUR, 738 p.
11. Alain CARRÈRE, 1994, Barrages, Techniques de l'Ingénieur, traité Construction, C 5 555, 26 pages.
12. ANBT, 2004, procédures méthodologiques pour l'exécution d'études des retenues collinaires et petits barrages, manuel de conception et projets typiques de digues en terre, 32 p.
13. ANBT, 2004, procédures méthodologiques pour l'exécution d'études des retenues collinaires et petits barrages, manuel de conception et projet typiques de prises d'eau et vidanges de fond. 23p.
14. ANBT, 2004, procédures méthodologiques pour l'exécution d'études des retenues collinaires et petits barrages, manuel de conception et projets typiques des évacuateurs de crues. 64p.
15. Georges Posi et Pierre Londe, 1953, Les Barrages en terre compactée pratiques américaines. Edition Gauthier-Villars, 185 p.