

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur Et de La Recherche Scientifique



Université de Ghardaïa

N° d'ordre :
N° de série :

Faculté des Sciences et Technologies
Département des Sciences et Technologies

Projet de fin d'étude présenté en vue de l'obtention du diplôme de

LICENCE

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Hydraulique

Spécialité : Sciences de l'eau et de l'environnement

Thème

**CONTRIBUTION A L'ETUDE HYDROLOGIQUE
ET HYDROGRAPHIQUE DE LA VALLEE DU
M'ZAB .WILAYA DE GHARDAÏA
PERIODE (1978-2012)**

Par :

BOUCHAREB Redouane

Mr .OULED BELKHIR Cheikh

Maître Assistant A

Univ. Ghardaïa **Encadreur**

Année universitaire 2012/2013

الملخص:

تتميز ولاية غرداية بواديتها الشهيرة وادي ميزاب الذي يتأثر بسلسلة من العوامل المناخية من بينها الأمطار والتي بدورها تؤدي في بعض الأحيان إلى خلق فيضانات كارثية تتميز بعشوائيتها.

هذا ما أدى بنا إلى دراسة هذا التصرف العشوائي للأمطار والوديان دراسة إحصائية وهيدرولوجية بالاعتماد على عدة عوامل مناخية وهيدروغرافية لحوض ميزاب.

الكلمات المفتاحية: واد ميزاب ، الأمطار ، الوديان ، دراسة، إحصائية، هيدرولوجية.

Résumé :

La wilaya de Ghardaïa Caractérisé à son fameuse vallée du M'Zab, qui est affecté par une série des facteurs climatiques, notamment des précipitations, qui à son tour parfois conduire à la création d'inondations catastrophiques caractérisé à son mener aléatoire. C'est ce qui nous a amenés à étudier ce comportement aléatoire dès ces précipitations et crues une étude hydrologique et statistique basée sur plusieurs facteurs, climatiques et hydrographiques de bassin du M'Zab.

Mots-clés : vallée M'Zab, précipitation, les crues, étude, statistique, hydrologique.

Abstract:

The state of Ghardaïa Characterized by a famous valley's M'Zab that is affected by a series of climatic factors including rainfall, which in turn sometimes lead to the creation of disastrous floods characterized by indiscriminate. This is what led us to study this random discipline of rain and floods hydrological and statistical study based on several factors, climatic and hydrographic of M'Zab basin.

Keywords: M'zabValley, precipitations, floods, study, statistical, hydrological.

REMERCIEMENT

*Tout d'abord je tiens à remercier infiniment le bon DIEU puissant de la bonne santé,
la volonté et la patience qu'il m'a donnée tout le long de mes études.*

*Je présente mes sincères remerciements avec mes profonds respects à mon promoteur
Pr. Mr OULEDBELKHIR Cheikh pour son suivi, sa patience, ses conseils et son aide,
tout au long de la réalisation de ce modeste travail.*

*Je tiens à remercier également Mr BENADDA Lotfi pour sa collaboration et ses
conseils.*

*Je remercie Mustapha CHOUIREB, Missuom BEN REITAB et OULED ABDALLAH
Hormma pour ses aides et tous les gens de service de l'assainissement et protection
contre les inondations dans la direction des ressources en eau de Ghardaïa.*

Je tiens à remercier aussi les membres de jury.

*Mes remerciements vont également à toutes mes enseignantes, mes collègues et les
personnes qui m'ont aidé.*

*Enfin, je voudrais remercier mes familles qui n'ont jamais cessé de croire en moi et de
m'encourager à continuer.*

DEDICACE

*Je dédie ce modeste travail à mes chers parents qui m'ont toujours soutenu et
encouragé tout au long de ma vie.*

A mon très cher frère,

A mes très chères sœurs,

A toute la famille.

A mes camarades de classe : Oussama, Saïd.

Je vous

Souhaite que de la joie et la réussite.

A mes amis Oussama, Mustapha, Yacine, Ahmed,

Younes, Lakhder et Messaoud.

Et à tous ceux qui me sont chers.

RESUME

REMERCIEMENT ET DEDICACE

SOMMAIRE

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

INTRODUCTION GÉNÉRALE 1

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE 01 - METHODOLOGIE D’EVALUATION DES PRECIPITATIONS

1.1.	Etude des précipitations	3
1.1.1.	Définition des précipitations	3
1.1.2.	Mesures de la hauteur d'eau précipitée	3
1.1.3.	Instruments de mesure	3
1.1.4.	Analyse des données pluviométriques et le choix du type de loi d'ajustement.....	5
1.1.4.1.	Analyse des données statistiques	5
1.1.4.2.	Choix de la loi d'ajustement	6
A.	La loi de Gumbel	6
B.	La loi de Galton (Log Normal)	7
1.1.4.3.	Calcul des précipitations en fonctions de fréquences	8
1.1.4.4.	Pluies de courtes durées	9
1.1.4.5.	Intensités maximales de courte durée	9
1.1.4.6.	Construction des courbes IDF.....	9

CHAPITRE 02 - METHODOLOGIE D’EVALUATION DES CRUES

2.1.	Etude de crues	11
2.1.1.	Définition des crues	11
2.1.2.	Hydrogramme de crue	11
2.1.3.	Méthodes régionale d'évaluation des crues	13
2.1.3.1.	Selon Rodier et Auvray.....	13
2.1.3.2.	Selon Cadier, et Aguiar.....	14
2.1.3.3.	Selon Puech et Chabi-Gonni.....	16
2.1.3.4.	Formules type Myer.....	17

PARTIE EXPERIMENTALE

CHAPITRE 03 - CONTEXTE GENERALE.

3.1.	Aspect Géographique.....	18
3.1.1.	Localisation géographique et limites	18
3.1.2.	Les régions naturelles de la wilaya	19
3.1.3.	Situation de la zone d'étude (Vallée du M'Zab)	20
3.2.	Aspect Géomorphologique	22
3.4.	Aspect climatologique	24
3.4.1.	Présentation de la station climatique	24
3.4.2.	Analyse de la température.....	24
3.4.3.	Vents	26
3.4.4.	Humidité relative	28
3.4.5.	Evaporation	29

CHAPITRE 04 - ETUDE HYDROGRAPHIQUE DE BASSIN VERSANT DU M'ZAB

4.1.	Description générale	30
4.2.	La délimitation du bassin versant (exutoire de l'Ateuf)	30
4.3.	Détermination des principaux affluents du bassin versant (exutoire de l'Ateuf) ..	31
4.4.	Caractéristiques géométriques du bassin	31
4.4.1.	Superficie	31
4.4.2.	Périmètre	32
4.4.3.	Longueur du thalweg principale	32
4.4.4.	Indice de compacité	32
4.4.5.	Dimensionnement du rectangle équivalent.....	33
4.5.	Caractéristiques hydrographiques.....	33
4.5.1.	La courbe hypsométrique.....	33
4.5.2.	La dénivelée	34
4.5.3.	Indice de pente globale	35
4.5.4.	Indice de pente moyenne	35
4.5.5.	Temps de concentration	36
4.5.6.	Vitesse de ruissellement.....	37
4.5.7.	Densité de drainage (exutoire de l'Ateuf).....	37
4.5.8.	Profil en long du cours d'eau	37
	conclusion	38

CHAPITRE 05 - ETUDE STATISTIQUE ET DETERMINATION DE REGIME PLUVIOMETRIQUE

5.1	Introduction.....	39
5.2	Caractéristiques de la station pluviométrique de Ghardaïa.....	39
5.3	Analyse de la précipitation	39
5.3.1	Répartition des pluies par intensité.....	40
5.3.2	Précipitation annuelle	40
5.3.3	Précipitation mensuelle.....	41
5.3.4	Précipitations maximales journalières	41
5.4	Analyse des données statistiques	43
5.5	Choix de la loi d'ajustement	43
5.6	Calcul des paramètres de la loi choisie et vérification de son adéquation.....	43
5.6.1	Ajustement de la série pluviométrique à la loi de Gumbel.....	43
5.6.2	Ajustement de la série pluviométrique à la loi de Galton (Log Normal).....	46
5.6.3	Test de Khi ²	49
A.	Loi de gembel	49
B.	Loi de Galton (log normal)	50
5.7	Le régime pluviométrique.....	50
5.7.1	Calcul des précipitations en fonctions de fréquences	50
5.7.2	Pluies de courtes durées	51
5.7.3	Intensités maximales de courte durée	51
5.7.4	Construction des courbes IDF.....	52

CHAPITRE 06 - RECONSTITUTION DES CRUES SUR L'OUED M'ZAB

6.1	Introduction.....	53
6.2	Principaux paramètres intervient dans la reconstitution des crues	53
6.1.1	Temps concentration Tc.....	53
6.1.2	Temps de base Tb et temps de montée Tm.....	54
6.1.3	Coefficient de ruissellement	55
6.1.4	Evaluation du volume de la crue à partir Kr, Pj et A.....	55
6.1.5	Coefficient de pointe α	56
6.1.6	Coefficient d'abattement des écoulements	56
6.3	Application au Oued M'Zab	57
6.3.1	Formule de Myer	57
6.3.2	Méthode de Rodier-Auvray (1988).....	58
6.3.3	Méthode de Peuch et Chabbi-Gonni (1984)	58

SOMMAIRE

6.3.4	Méthode de Cadier-Aguiar (1993).....	59
6.4	Hydrogrammes des crues.....	59
6.5	Conclusion	62
6.6	Calcul du débit max de la crue d'Octobre 2008	63
6.6.1	Introduction.....	63
6.6.2	Etude synoptique.....	64
6.6.3	Situation en surface.....	65
6.6.4	L'application de la formule de Manning-Strickler dans Le calcul du débit	66
6.6.4.1	Conditions d'application de la formule de Manning – Strickler	67
6.6.4.2	Relevé de laisses de crue	67
6.6.4.3	Calcul du débit en différents sections sur L'Oued M'Zab.....	68
A.	Section d'Oued Laadira	68
B.	Section de Mlaga (Oued laadira et Oued boubrik)	69
C.	Section d'entrée de la palmeraie	70
6.6.5	Détermination des zones inondables.....	71

CHAPITRE 07 - CORRELATION PLUIES-DEBITS

7.1.	Introduction.....	73
7.2.	Calcul de débits maximums de différentes périodes de retour	73
7.3.	Fondation de la relation pluie-débit	74
7.4.	L'application de ces équations sur l'inventaire des crues.....	75
7.5.	Conclusion	75
CONCLUSION GENERALE.....		76
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....		78

LISTE DES TABLEAUX

Tab N° 01 - coefficients qui dépendent du type de bassin versant	15
Tab N° 02 - cordonnées de la station météorologique	24
Tab N° 03 - Données de température de la région	25
Tab N° 04 - Fréquences des vents selon leur direction	26
Tab N° 05 – Moyenne mensuelles des vitesses maximal du vent.....	27
Tab N° 06 - Humidité relative moyen	28
Tab N° 07 - Evaporation moyenne mensuelle (mm).....	29
Tab N° 08 - La superficie du bassin versant du M'Zab	31
Tab N° 09 - La périmètre du bassin versant du M'Zab.....	32
Tab N° 10 - La longueur du cours d'eau principale.....	32
Tab N° 11 - Indice de compacité du bassin versant du M'Zab	32
Tab N° 12 - Dimensionnement du rectangle équivalent	33
Tab N° 13 - Répartition des surfaces en fonction des côtes.....	34
Tab N° 14 - Dénivelée du bassin versant du M'Zab	35
Tab N° 15 - Indice de pente globale du bassin versant du M'Zab	35
Tab N° 16 - Indice de pente moyen du bassin versant du M'Zab	36
Tab N° 17 - Temps de concentration du bassin versant du M'Zab.....	36
Tab N° 18 - Vitesse de ruissellement du bassin versant du M'Zab	37
Tab N° 19 - Les altitudes du cours d'eau principal p/p les distances cumulées	37
Tab N° 20 - Récapitulatif des Caractéristiques Morphométriques du Bv.....	38
Tab N° 21 - Caractéristiques de la station pluviométrique de Ghardaïa.....	39
Tab N° 22 - Intensités des pluies.....	40
Tab N° 23 - Caractéristiques des Précipitations Annuelles (1964-2004).....	40
Tab N° 24 - Précipitations Moyennes Mensuelles	41
Tab N° 25 - Pluies journalières maximales observées à Ghardaïa (1978-2012).....	42
Tab N° 26 - Caractéristiques des précipitations journalières maximales.....	42
Tab N° 27- Les caractéristiques empiriques de la loi de Gumbel.....	44
Tab N° 28 - Les caractéristiques empiriques de la loi de Galton.....	47
Tab N° 29 - Test de Khi 2 appliqué sur la série des pluies (Gumbel). (xlstat)	49
Tab N° 30 - Test de Khi 2 appliqué sur la série des pluies (Galton). (xlstat)	50
Tab N° 31 - Pluies journalières maximales fréquentielles	50
Tab N° 32 - Pluies de courtes durées pour différentes périodes de retour	51
Tab N° 33 - Intensités maximales de durée t (h) et de période de retour T (an).....	52
Tab N° 34 - Temps de base Tb et temps de montée Tm	54
Tab N° 35 - Coefficient de ruissellement de chaque sous bassin	55
Tab N° 36 - Coefficient d'abattement de chaque sous bassin.....	55
Tab N° 37 - Coefficient de pointe de chaque sous bassin.....	56

LISTE DES TABLEAUX

Tab N° 38 - calcul des débits avec la formule de Myer	57
Tab N° 39 - calcul des débits avec la formule de Rodier-Auvray (1988).....	58
Tab N° 40 – calcul des débits avec la formule de Peuch et Chabbi-Gonni.....	58
Tab N° 41 - calcul des débits avec la formule de Cadier-Aguiar (1993).....	59
Tab N° 42 - Largeur d'Oued p/p leur altitudes.(Laadira)	68
Tab N° 43 - Largeur d'Oued p/p leur altitudes.(Mlaga)	69
Tab N° 44 - Débits max de crue pour différentes périodes de retour.....	73

LISTE DES FIGURES

Fig. N° 01- pluviomètre	4
Fig. N° 02 - pluviographe a augets basculeurs et pluviographe a siphon	4
Fig. N° 03 - Ajustement graphique a la loi de Gumbel.....	7
Fig. N° 04 - Ajustement graphique Loi de Galton	8
Fig. N° 05 - Représentation schématique des courbes IDF.....	10
Fig. N° 06 - Hydrogramme de crue.....	12
Fig. N° 07 - Schéma de localisation de la wilaya de Ghardaïa	19
Fig. N° 08 - Schéma structural de la wilaya.....	19
Fig. N° 09 - Situation d'ensemble.	21
Fig. N° 10 - Coupe géomorphologique schématique de la vallée du M'Zab.....	22
Fig. N° 11 - Carte géologique locale (BG, 2004).....	23
Fig. N° 12 - La répartition de la moyenne des températures mensuelles.....	25
Fig. N° 13 - Direction des vents dominants	27
Fig. N° 14 - vitesse maximale du vent	27
Fig. N° 15 - humidité relative moyen en %.....	28
Fig. N° 16 - Evaporation moyenne mensuelle (mm)	29
Fig. N° 17 - une carte représente la délimitation du bassin versant du M'Zab.....	30
Fig. N° 18 - une carte représente la délimitation des principaux affluents	31
Fig. N° 19 - Courbes hypsométrique du bassin versant de l'Oued M'Zab	34
Fig. N° 20 - Profil en long du cours d'eau principal.....	38
Fig. N° 21 - Précipitations Moyennes Mensuelles.....	41
Fig. N° 22 - Ajustement graphique d'une loi de Gumbel	46
Fig. N° 23 – Ajustement graphique d'une loi de Galton.....	49
Fig. N° 24 - Courbe IDF « Intensité – Durée – Fréquence	52
Fig. N° 25 - L'hydrogramme de crues SB1	59
Fig. N° 26 - L'hydrogramme de crues SB2	60
Fig. N° 27 -L'hydrogramme de crues SB3	61
Fig. N° 28 - L'hydrogramme de crues SB4	62
Fig. N° 29 - la crue d'octobre 2008 dans la vallée selon le niveau d'eau	64
Fig. N° 30 - Image satellite du 30 /09/2008 (ONM.2009)	65
Fig. N° 31 - Image satellite du 01 /09/2008 (ONM.2009)	65
Fig. N° 32 - Situation en surface du 30/09/2008.....	66
Fig. N° 33 - Situation en surface du 01/10/2008.....	66
Fig. N° 34 - profile en traves d'oued Laadira	69
Fig. N° 35 - profile en traves d'oued Mlaga	70
Fig. N° 36 - Carte des zones inondables d'après la crue d'octobre 2008	71
Fig. N° 37 – Pluies journalières fréquentielles en fonction des débits.....	74

INTRODUCTION GENERALE

Les précipitations constituent la principale « entrée » des principaux systèmes hydrologiques continentaux que sont les bassins versants. Ce sont l'ensemble des eaux météoriques qui tombent sur la surface de la terre, tant sous forme liquide (bruine, pluie, averse) que sous forme solide (neige, grésil, grêle).

A l'échelle mondiale, on peut classer les précipitations en plusieurs régimes pluviométriques. Ces régimes sont définis à partir des précipitations journalières maximales ou moyennes mensuelles ou moyennes annuelles mesurées par des stations météorologiques voisines de la zone d'étude. Les différentes caractéristiques des précipitations se rapportent aussi à la région de Ghardaïa car aucune autre station pluviométrique n'a été observée sur les bassins versants du M'Zab situés en amont de cette ville.

Dans les régions arides le caractère exceptionnel de certaines pluies tombées en 24 h est très important à considérer puisqu'elle peuvent être à l'origine du ruissellement des Oueds et la recharge des nappes phréatiques. A cet égard, ce caractère provoque des crues aléatoires et parfois catastrophiques. Les crues des oueds des régions désertiques ont la réputation d'être très graves par rapport au néant habituel, l'arrivée des eaux peut être brutale et provoque des dégâts colossaux sur le plan matériels et humains dans le lit d'Oued qui constitue l'occupation majeure du sol dans la région.

Pour les raisons mentionnées ci-dessus, nous proposons d'étudier les principales caractéristiques des précipitations et des crues dans la vallée du M'Zab, par des méthodes analogiques expertisées dans des zones similaires à notre région.

En effet, l'étude est divisée en deux parties, la première, consiste à présenter l'aspect théorique de la détermination des différents paramètres tel que le régime pluviométrique et ceux des crues, cette partie contient deux chapitres. La deuxième partie consiste à présenter l'aspect pratique, elle se divise en 05 chapitres sont respectivement :

- Chapitre 03: présentation du milieu physique de la wilaya de Ghardaïa et de la vallée du M'Zab contenant les aspects géographiques, géologiques et climatiques.
- Chapitre 04 : étude de régime pluviométrique.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

- Chapitre 05 : étude hydrographique du bassin du M'Zab.
- Chapitre 06 : étude de régime des crues, notamment la crue octobre 2008.
- Chapitre 07 : essai de corrélation pluie-débit.

A la fin, une conclusion générale viendra faire une synthèse des travaux effectués. Avec les recommandations qui s'y rapportent.

CHAPITRE 01 - METHODOLOGIE D'EVALUATION DES PRECIPITATION

1.1. Etude des précipitations

1.1.1. Définition des précipitations

Sont dénommées précipitations, toutes les eaux météoriques qui tombent sur la surface de la terre, tant sous forme liquide (bruine, pluie, averse) que sous forme solide (neige, grêle) et les précipitations déposées ou occultes (rosée, gelée blanche, givre,...). Elles sont provoquées par un changement de température ou de pression. Les précipitations constituent l'unique entrée » des principaux systèmes hydrologiques continentaux que sont les bassins versants.

1.1.2. Mesures de la hauteur d'eau précipitée

Comme les précipitations varient selon différents facteurs (déplacement de la perturbation, lieu de l'averse, influence de la topographie, etc.), leur mesure est relativement compliquée.

Quelle que soit la forme de la précipitation, liquide ou solide, on mesure la quantité d'eau tombée durant un certain laps de temps. On l'exprime généralement en hauteur de précipitation ou lame d'eau précipitée par unité de surface horizontale (mm). On définit aussi son intensité (mm/h) comme la hauteur d'eau précipitée par unité de temps. La précision de la mesure est au mieux de l'ordre de 0,1 mm. En Algérie toute précipitation supérieure à 0,5 mm est considérée comme pluie effective. [1]

1.1.3. Instruments de mesure

Les différents instruments permettant la mesure des précipitations sont décrits dans le chapitre 7 "mesures hydrologiques. Roche". Citons toutefois les deux appareils de mesures fondamentaux que sont :

- **Le pluviomètre** : instrument de base de la mesure des précipitations liquides ou solides. Il indique la quantité d'eau totale précipitée et recueillie à l'intérieur d'une surface calibrée dans un intervalle de temps séparant deux relevés. Il se compose d'un seau tronconique de contenance variable suivant l'abondance des pluies journalières et d'un entonnoir surmonté d'une bague à arête chanfreinée matérialisant la surface de réception. [2]

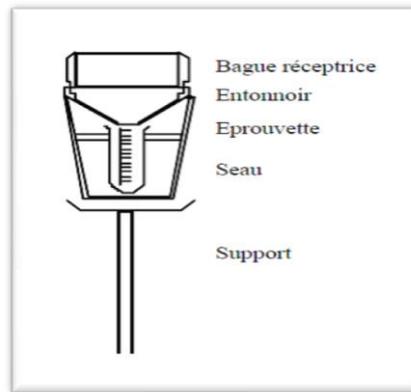


Fig. N° 01- pluviomètre

- **Les pluviographes** : Ces appareils sont destinés à l'enregistrement de la hauteur de pluie cumulée en fonction du temps. Deux types principaux ont eu un certain développement : les pluviographes à augets basculeurs et ceux à siphons. Actuellement, ces derniers tendent à être abandonnés. [1]

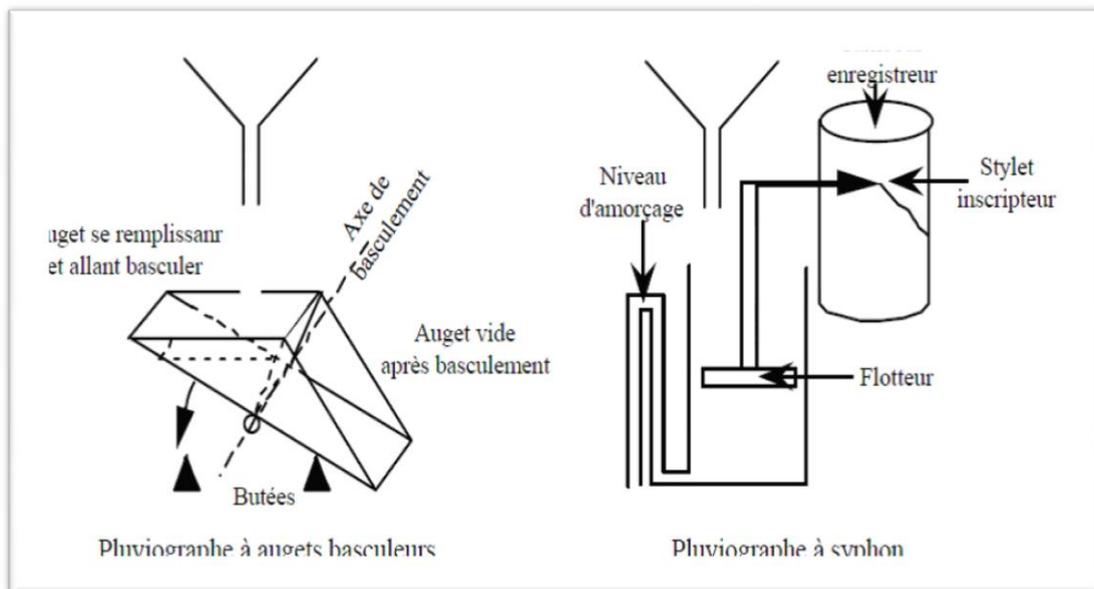


Fig. N° 02 - pluviographe a augets basculeurs et pluviographe a siphon

1.1.4. Analyse des données pluviométriques et le choix du type de loi d'ajustement

1.1.4.1. Analyse des données statistiques

Pour l'étude des précipitations, nous avons besoin d'une série pluviométrique qui comporte les précipitations maximales journalières pour la période la plus longue possible.

Nous prenons comme base de calcul la série pluviométrique de station météorologique).

L'analyse statistique des données pluviométriques consiste à déterminer les caractéristiques empiriques d'un échantillon d'une série d'observations de précipitations maximales journalières, de 34 années.

Les caractéristiques de cette série sont :

- **Moyenne des précipitations maximales journalières (X):**

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{N} \dots\dots\dots(I.1)$$

Où :

X_i : précipitations journalières maximales afférentes à l'année considérée (**mm/j**)

N : taille de l'échantillon (**N=34**)

\bar{X} : Pluie journalière maximale annuelle moyenne (**mm/j**).

- **Coefficient de variation (Cv):**

$$C_v = \frac{\delta_x}{\bar{X}} \dots\dots\dots(I.2)$$

- **Ecart type :**

$$\delta_x = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{X})^2}{N}} \dots\dots\dots(I.3)$$

- **Médiane.** La médiane d'une série de nombres disposés en ordre croissant est la valeur centrale ou la moyenne arithmétique des deux valeurs centrales. Dans un polygone cumulatif de fréquences, la médiane est la valeur correspondant à 0,5.
- **Mode.** Le mode est la valeur de fréquence maximale.

• **L'exposant climatique :**

B : Selon les études régionales.

L'ensemble de ces valeurs ponctuelles, condensées sous forme statistique, est utilisé pour déterminer la fréquence et les caractéristiques d'un événement pluvieux isolé ou encore pour étudier la variabilité de la pluviométrie dans l'espace : [1]

- La hauteur totale de pluie.
- la durée.
- l'intensité moyenne.
- les intensités maximales sur des intervalles de temps quelconques.
- la distribution d'intensité instantanée $i(t)$.

1.1.4.2. Choix de la loi d'ajustement

A. La loi de Gumbel

Cette loi a une fonction de répartition qui s'exprime selon la formule suivante :

$$F(x) = e^{-e^{-u}} \dots\dots\dots(I.4)$$

Tel que : $u = a(x - x_0) \dots\dots\dots(I.5)$

Avec,

U: Variable réduite de Gumbel.

x : Précipitation maximale journalière (mm).

x_0 : Ordonnée à l'origine en (mm).

Nous pouvons écrire : $u = - \ln (- \ln (F (xi))) \dots\dots\dots (1.6)$

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

- Classer les valeurs des précipitations par ordre croissant avec attribution d'un rang 1, 2,3..., n (m).
- Calculer pour chaque valeur de précipitation la fréquence expérimentale par la formule de Hazen :

$$F(x) = m - \frac{0.5}{n} \dots\dots\dots(I.7)$$

m : Rang de précipitation

n : Nombre d'observations

- Calculer la variable réduite de Gumbel donnée par la formule suivante :

$$u = -\text{Ln}(-\text{Ln}(F(x_i))) \dots \dots (I.8)$$

- Calculer les paramètres d'ajustement « a » et « x₀ ».
- Représenter graphiquement les couples (x_i, y_i) sur papier Gumbel.

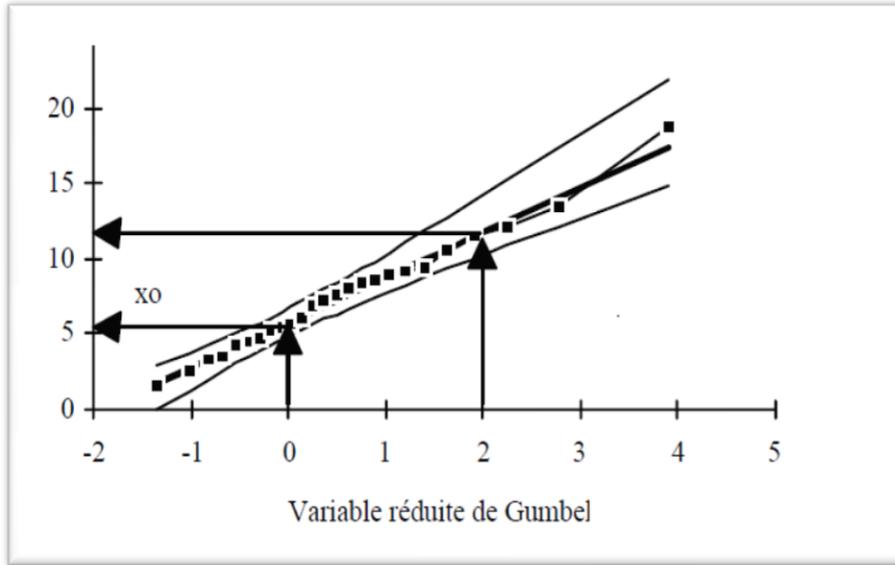


Fig. N° 03 - Ajustement graphique a la loi de Gumbel [7]

B. La loi de Galton (Log Normal)

La loi de Galton a une fonction de répartition qui s'exprime selon la formule suivante :

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_u^{+\infty} e^{-1/2u^2} du \dots \dots \dots (I.9)$$

Ou,

$$u = \frac{x - \bar{x}}{\sigma} \text{ (variable réduite de GAUSS)}$$

Ensuite, on fait les mêmes étapes d'ajustement de loi de Gumbel.

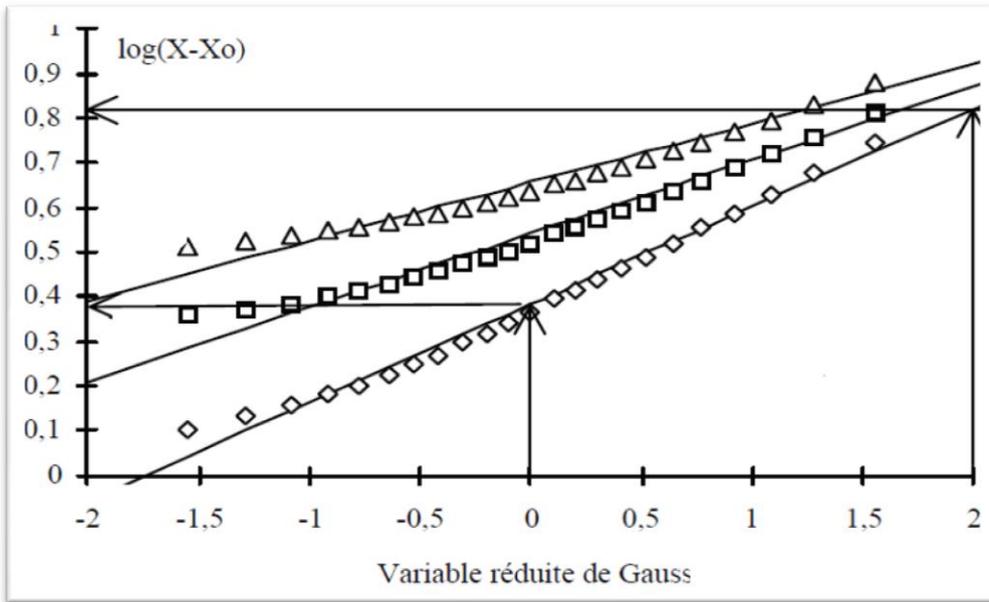


Fig. N° 04 - Ajustement graphique Loi de Galton [7]

1.1.4.3. Calcul des précipitations en fonctions de fréquences

L'Ajustement des pluies maximales de 24 heures d'une station métrologique (suit une loi de distribution statistique Log-normale (loi des valeurs extrêmes de Gumbel). Le calcul d'une pluie de fréquence (f) donnée est calculé en fonction de différents périodes de retour (2.5.10.20.50.100) par la relation résultant à la loi:[3]

Gumbel: $P_j \text{ max (p \%)} = (1/a) u + x_0$

Ou :

Galton: $\text{Log } x_i \text{ (p\%)} = \log \bar{x} + \delta \log u \text{ (p\%)}$

Et la relation sera

$$P_j \text{ max(\%)} = 10^{\log \bar{x} + \delta u \text{ (p\%)}}$$

1.1.4.4. Pluies de courtes durées

La pluie de durée t(h) et de fréquence donnée (f) est calculée par la relation :

$$P_t = P_{jf} \left(\frac{t}{24} \right)^b \dots\dots\dots (I.10)$$

- P_j : Pluie journalière maximale annuelle moyenne (en mm),
- P_{jf} : pluie journalière maximale annuelle de fréquence f (en mm),
- P_t : pluie maximale annuelle de durée (t) et de fréquence (f) (en mm),
- t : durée de pluie (en heure),
- b : exposant climatique de la station pluviométrique : b = 0,45, [3]

1.1.4.5. Intensités maximales de courte durée

Les intensités maximales annuelles de durée t(h) et de période de retour T (an) sont calculées par la relation suivante :

$$I = \frac{P_t}{t} \dots\dots\dots (I.11)$$

Au cours d'une même averse, l'intensité des précipitations varie à chaque instant suivant les caractéristiques météorologiques de celle-ci. Plutôt que de considérer l'averse entière et son intensité moyenne, on peut s'intéresser aux intensités observées sur des intervalles de temps au cours desquels.

On aura enregistré la plus grande hauteur de Pluie. Donc on parle alors d'intensité maximale.

$$I_{\max} = \frac{H_{\max}}{t} \dots\dots\dots (I.12)$$

I_{max} : est l'intensité maximale de la pluie (mm/h). [9]

1.1.4.6. Construction des courbes IDF

Les courbes IDF représentent les relations entre les intensités, la durée et la fréquence d'apparition des pluies.

Elles permettent d'une part de synthétiser l'information pluviométrique au droit d'une station donnée et, d'autre part de calculer grossièrement des débits de projet, d'estimer des débits de crue, et aussi de déterminer des pluies de projet.

Elles sont établies de manière analytique (formule de Montana ou de Talbot) ou statistique (analyse fréquentielle). [1]

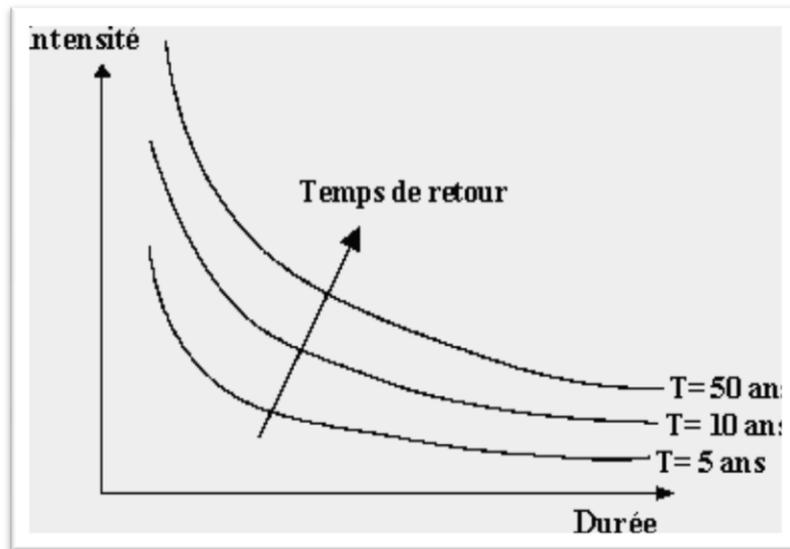


Fig. N° 05 - Représentation schématique des courbes IDF

CHAPITRE 02 - METHODOLOGIE D'EVALUATION DES CRUES

2.1. Etude de crues

2.1.1. Définition des crues

Les crues sont l'augmentation de la quantité d'eau qui s'écoule dans la rivière (vallée) et peut concerner l'ensemble du lit majeur de la vallée. L'importance de l'inondation dépend de trois paramètres : la hauteur d'eau, la vitesse du courant et la durée de la crue. Ces paramètres sont conditionnés par les précipitations, l'état du bassin versant et les caractéristiques du cours d'eau (profondeur, largeur de la vallée, etc...). ces caractéristiques naturelles peuvent être aggravées par la présence d'activités humaines. [4]

La conception d'ouvrages hydrauliques tels que les barrages se fait sur la base de valeurs caractéristiques de crues de fréquences données :

- Le débit maximum instantané.
- Le volume total écoulé.
- Les temps de base, de montée.
- L'hydrogramme de crue, correspondant aux débits instantanés.
- Les vitesses de propagation et d'écoulement.

Les méthodes utilisées pour évaluer une crue de projet se fondent principalement sur la connaissance et l'analyse des écoulements observés, d'une part, et des pluies d'autre part.

2.1.2. Hydrogramme de crue

C'est l'Expression des débits en fonction du temps, se rapportant à une station donnée et au cours d'une période déterminée. Elle est habituellement représentée sous forme graphique.

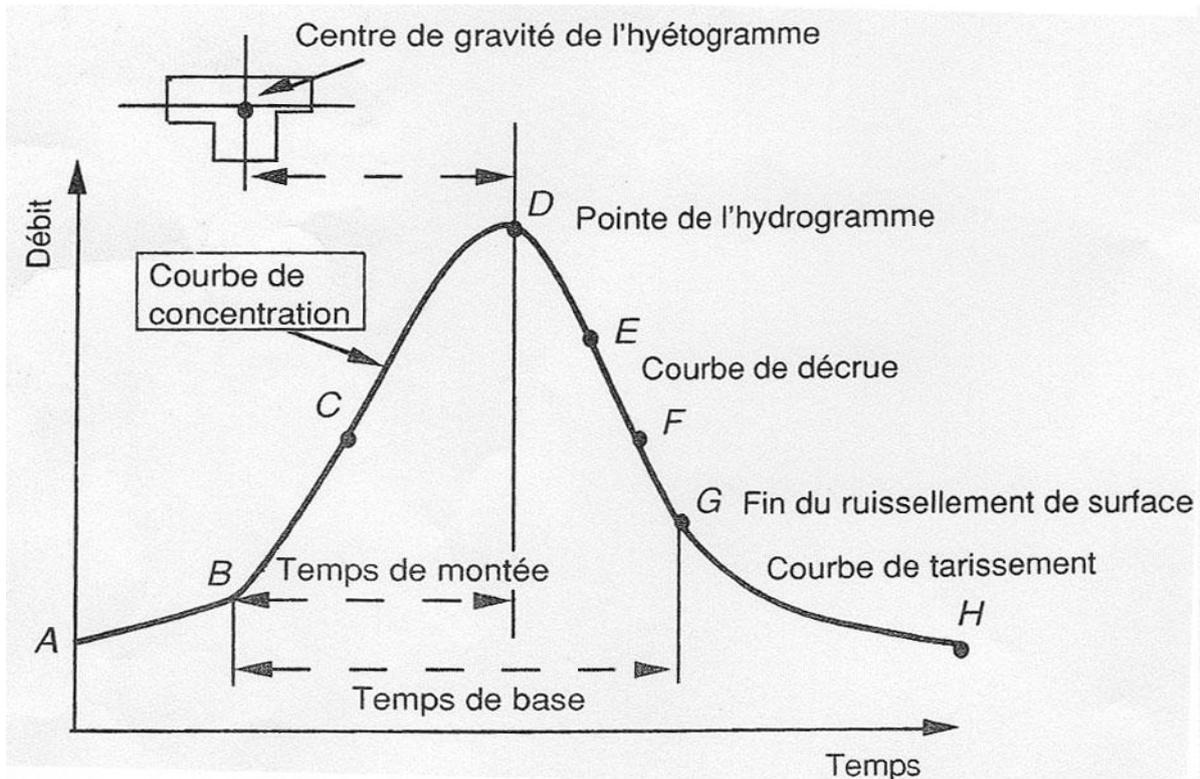


Fig. N° 06 - Hydrogramme de crue

L'Hydrogramme est composé de trois parties différentes :

- Le segment d'approche AB.
- La courbe de montée ou de concentrations BD.
- La courbe de récession ou de décrue DH.

Le point B s'appelle point de montée, les points C et E sont des points d'inflexion et le point D est la pointe de l'hydrogramme. De plus, la courbe de concentration est généralement voisine d'une droite, et la courbe de décrue peut être représentée par une fonction exponentielle de la forme :

$$Q_t = Q_0 e^{-at} \dots\dots\dots(II.1)$$

Q_t = débit à l'instant t.

Q_0 = débit à un instant antérieur t_0 arbitrairement pris comme origine.

a = paramètre d'ajustement.

La courbe de tarissement représente la décrue des eaux souterraines plus le résidu de l'écoulement hypodermique. A l'aide de la Fig. N° 06 on peut également définir certains paramètres de temps :

- Le temps écoulé entre le point de montée B et la pointe D de l'hydrogramme est le temps de montée.
- Le temps écoulé entre le point de montée B et la fin du ruissellement de surface G est le temps de base.
- Le temps écoulé entre le centre de gravité de l'hydrogramme de l'averse et la pointe de l'hydrogramme est le lag. [6]

2.1.3. Méthodes régionale d'évaluation des crues

En absence de données des mesures hydrométriques sur les crues du bassin d'étude, il est important d'utiliser de différentes méthodes d'évaluation. Parmi ces méthodes on peut citer celle de l'analogie. Elle consiste à transposer les résultats acquis dans d'autres régions du monde aussi semblables que la région étudiée, ainsi que, d'interpoler les valeurs des caractéristiques des crues pour cette région, en fonction des caractéristiques pluviométriques et physiques (Surface, relief, perméabilité).

2.1.3.1. Selon Rodier et Auvray

Permet d'évaluer le volume de la crue à partir de la pluie ponctuelle mesurée à une station de référence. L'évaluation est faite avec des abaques, transformés ici en équations, donnant les coefficients de ruissellement K_r en fonction de la superficie A du bassin, et des indices de relief et de perméabilité. Deux valeurs de coefficient de ruissellement K_{r70} et K_{r100} , à un indice de perméabilité globale P qui se rattache aux états de surface (imperméable, peu perméable par exemple),

Ainsi le volume de la crue, qui correspond à l'intégrale des débits instantanés durant le temps de base, est obtenu en calculant le produit de la superficie A du bassin par la pluie. La pluie ponctuelle P est affectée en outre d'un coefficient de réduction K_a (« coefficient d'abattement ») pour tenir compte de la diminution de la hauteur moyenne sur le bassin lorsque la superficie augmente.

$$V = H \cdot K_a \cdot A \dots \dots \dots (II.2)$$

Le temps de montée T_m et le temps de base T_b sont déterminés par des abaques, traduites ici en équations, en fonction de la superficie et selon des indices de perméabilité et de pente, sur le même principe que l'évaluation du coefficient de ruissellement (Rodier, 1992). Ces courbes sont représentées par des équations de puissance dans lesquelles les paramètres a et b varient avec I_g . Pour les bassins inférieurs à 10 km^2 , Rodier et Ribstein (1988) ont remis à jour ces relations, en leur attribuant un ajustement linéaire.

Le coefficient de pointe $\alpha = Q_{\max}/Q_{\text{moy}}$ est le rapport du débit maximum ruisselé et du débit moyen ruisselé. Ce dernier est égal au volume divisé par le temps de base:

$$Q_{\text{moy}} = V/T_b \dots \dots \dots (II.3)$$

D'où

$$Q_{\max} = (\alpha \times V)/T_b \dots \dots \dots (II.4)$$

Le coefficient de pointe α est généralement compris entre 2 et 4. Il s'accroît avec la superficie du bassin versant.

Le débit de pointe Q_{\max} de la crue décennale est égale au Prodi du débit moyen par un coefficient de pointe égal au produit du débit moyen $Q_{\max} = \alpha \cdot Q_{\text{moy}}$. L'analogie des zones subdésertiques au sud du Sahara, donne l'équation suivante :

$$Q_{100} = 32,6 \cdot A^{0,426} \dots \dots \dots (II.5)$$

Pour résumer : l'évaluation d'une crue s'effectuera ainsi :

On choisit une averse journalière ponctuelle P_j de 70 mm. Elle présente dans la région une fréquence rare, évaluée comme centennale.

La hauteur moyenne de précipitation sur les bassins est estimée en appliquant à cette pluie ponctuelle un coefficient d'abattement variant de 1 pour le plus petit bassin à 0,75 pour le plus grand.

On détermine K_r70 , T_b et T_m par les équations présentées plus avant, en fonction des caractéristiques physiques des bassins. Le coefficient α varie de 2 à 4, selon la taille du bassin versant.

Pour ce qui concerne le débit maximum on a finalement :

$$Q_{\max} = P_j \times K_a \times K_r \times A \times \alpha \times T_b^{-1} \dots \dots \dots (II.6)$$

Cette méthode comporte en outre une liste permettant à l'utilisateur d'effectuer certaines corrections des résultats selon les particularités physiques éventuelles du bassin. [5]

2.1.3.2. Selon Cadier, et Aguiar

La méthode utilisée par Cadier (1993) se base sur le fait que le débit maximum Q_x et le volume écoulé V ne sont pas indépendants. Ils sont liés par « la fonction d'étalement de la crue ». Cette fonction est définie par le temps pendant lequel le volume de crue s'écoule et par la loi de distribution des débits en fonction du temps. Si l'on représente cette fonction d'étalement par un coefficient global K_x (en $m^3/s/mm$) défini, pour une crue donnée, comme étant le débit de pointe Q_x (en m^3/s) correspondant à une lame écoulée L_e de 1 mm.

$$Q_x = K_x \times L_e \dots \dots \dots (II.7)$$

L'expression peut alors s'écrire

$$Q_x = (K_x \cdot V) / (1000 \cdot A) \dots \dots \dots (II.8)$$

A étant la superficie du bassin versant, en km²,

V le volume écoulé en m³.

Où
$$K_x = (1000 \cdot A \cdot Q_x) / V \dots \dots \dots (II.9)$$

K_x peut ainsi être évalué uniquement à partir de Q_x et de V observés, donc sans faire intervenir le temps de base T_b et le coefficient α.

Ces relations ont été calées pour la région semi-aride du Nordeste, au Brésil (Cadier, 1993) par l'observation de bassins versants représentatifs de superficie comprises entre 5 et 500 km², pour une pluie de 105 mm en 24 h.

Pour des superficies supérieures à 500 km², Aguiar (1940) a établi pour une pluie de 100 mm en 24 h la formule suivante :

$$Q_{x100} = (575 \cdot A) / [(L \cdot C)^{0.5} \cdot (120 + (K \cdot L \cdot C))] \dots \dots \dots (II.10)$$

Où

A = superficie du bassin en km²

L = longueur en km du cours d'eau le plus long ;

K, C = coefficients qui dépendent du type de bassin.

Les coefficients sont ainsi définis :

type de bassin	coefficients	
	K	C
bassin bien accidenté, sans dépression évaporatoire	0,15	0,95
relief moyen	0,2	1
légèrement accidenté	0,3	1,05

Tab N° 01 - coefficients qui dépendent du type de bassin versant

En conclusion :

Superficie de 5 à 1000 km² :

Formule SUDENE-ORSTOM

$$Q_{x100} = 12,5 \cdot A^{0.58} \cdot F_c \dots \dots \dots (II.11)$$

Superficie supérieures à 500km² :

Formule d'Aguiar

$$Q_{x100} = (575 \cdot A) / [(L \cdot C)^{0.5} \cdot (120 + (K \cdot L \cdot C))]$$

Les deux formules peuvent faire l'objet de comparaison entre 500 et 1000 km². [5]

2.1.3.3. Selon Puech et Chabi-Gonni

Puech et Chabi-Gonni (1984) ont effectué une étude de régressions multiples de valeurs physiques et hydrométriques obtenues sur 160 bassins, de superficies comprises entre 1 et 2500 km², sous des pluviométries annuelles de 100 à 2500 mm. La relation donnant le débit maximum Q_{max10} est valable pour la zone soudanienne à subdésertique de l’Afrique de l’Ouest et du Centre. Si ce n’est qu’elle n’a pu être établie pour des pluviométries inférieures à 100 mm en raison de l’absence de bassins observés dans de telles conditions, rien ne semble s’opposer à son application à des bassins non dégradés sous une pluviométrie d’environ 60 mm. Les relations donnent un débit maximum pour les mêmes pluviométries que la méthode de Rodier et Auvray, soit des hauteurs journalières de 70 à 100 mm. Ces valeurs ont dans la région d’origine une fréquence décennale, et la même fréquence y est attribuée aux débits correspondants. La fréquence de telles pluies est centennale à quadricentennale à notre région.

L’équation générale de ces régressions multiples est :

$$Q_{max} = a \cdot A \cdot I_g \cdot P^{an} \dots\dots\dots (II.12)$$

Q_{max} : Débit maximum de ruissellement (m³/s),

A : Superficie du bassin (km²),

I_g : La pente globale.

L : la longueur du rectangle équivalent,

P an: Pluie moyenne interannuelle (mm).

Plusieurs équations sont proposées en fonction des variables utilisées (superficie seule ou associée à l’indice de pente ou avec en plus la pluie moyenne annuelle) et des paramètres calés pour diverses zones et pays. Le calage est effectué pour une pluie journalière de fréquence décennale à laquelle est attribuée une fréquence centennale à la région de sud.

Il apparaît que le débit de pointe (Q_{max10} pour la zone de référence) est inversement proportionnel à la pluie annuelle. Ce fait surprenant de prime abord s’explique par une diminution de la végétation et de la perméabilité des surfaces avec la diminution de la pluie annuelle. Cette tendance favorise le ruissellement et contrebalance largement l’effet de la faible diminution de la pluie journalière maxima en regard de la forte diminution du total de pluie annuel. Cette relation régionale met ainsi en exergue une spécificité de l’hydrologie désertique qui s’exprimerait par une bout a de la sécheresse contribue à la formation des écoulements. [5]

2.1.3.4. Formules type Myer

Dans le cas de ces formules, la surface est la seule caractéristique physique la mieux corrélée avec le débit. Le débit estimé généralement, est le débit décennal.

$$Q_{10}=a.A^n$$

Les résultats obtenus sont différents selon les régions, on peut retenir l'équation qui correspond à la moyenne :

$$Q_{10}=9.616.A^{0.5855}$$

Et finalement on obtient pour le M'Zab et le N'sa les équations :

$$Q_{10}=2.55.A^{0.8} \dots\dots\dots(\text{II.13})$$

$$Q_{100}=9.6.A^{0.59} \dots\dots\dots(\text{II.14})$$

CHAPITRE 03 - CONTEXTE GENERALE

3.1. Aspect Géographique

3.1.1. Localisation géographique et limites

Le M'Zab est une région qui se situe à 600 km au sud d'Alger. La Wilaya de Ghardaïa se situe au centre de la partie Nord de Sahara de l'Algérie. Elle est issue du découpage administratif du territoire de 1984. L'ensemble de la nouvelle Wilaya dépendait de l'ancienne Wilaya de Laghouat, elle est en outre composée des anciennes daïras de Ghardaïa, Metlili et El-Menea.

La Wilaya de Ghardaïa qui couvre une superficie de 86560 km², est limitée Au Nord par la Wilaya de Laghouat, Au Nord Est par la Wilaya de Djelfa, a l'Est par la Wilaya de Ouargla, Au Sud par la Wilaya de Tamanrasset, et à l'ouest et au Sud-ouest par la Wilaya d'Adrar et la Wilaya d'El-Bayadh respectivement.

Du point de vue urbain, les agglomérations sont classées selon leur statut administratif, la Taille (nombre d'habitants) et la localisation par rapport aux axes principaux et l'importance (la hiérarchie fonctionnelle).

De ce fait, GHARDAIA est une ville d'importance nationale, GUERRARA, EL-MENEA, METLILI, et BERRIAN sont des Villes d'importance régionale. En outre BOUNOURA, EL-ATTEUF et HASSI EL GARA sont des centres urbains d'importance locale.

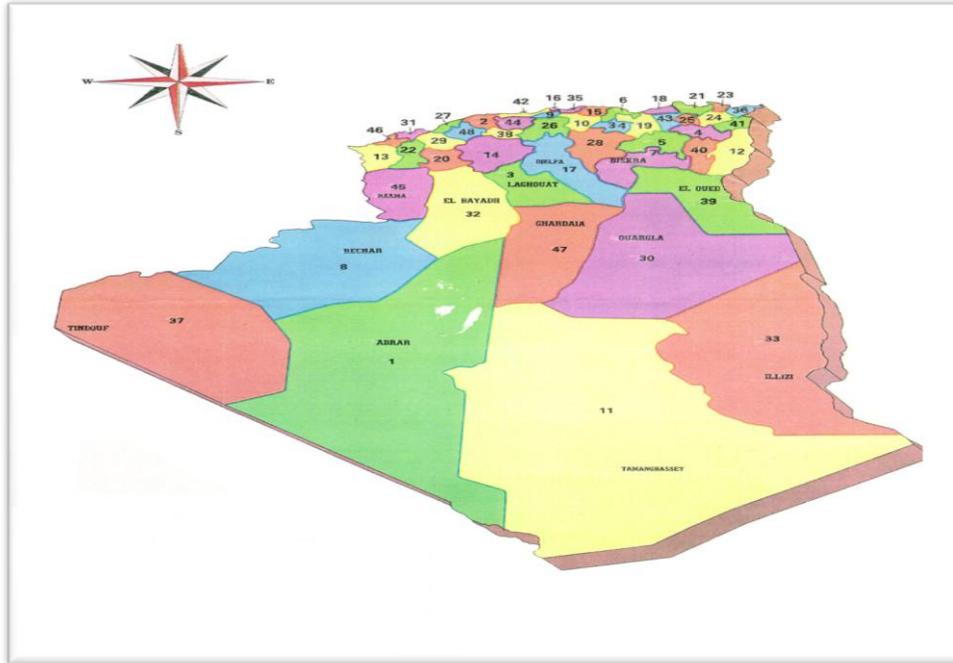


Fig. N° 07 - Schéma de localisation de la wilaya de Ghardaïa

3.1.2. Les régions naturelles de la wilaya

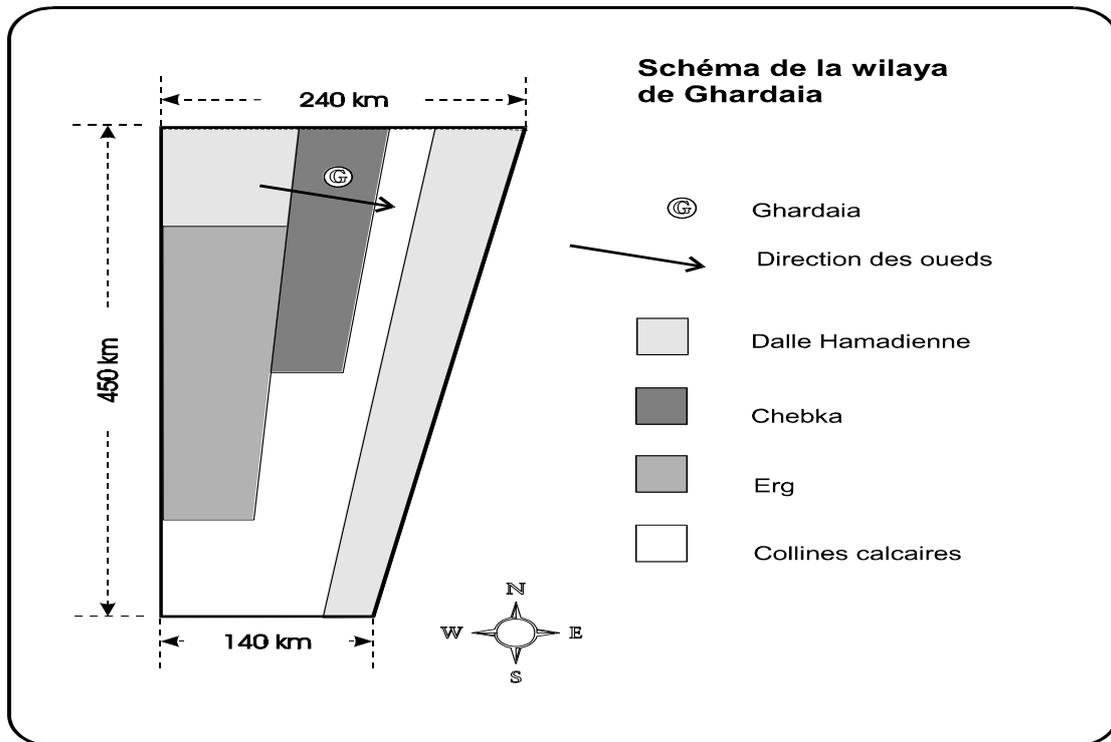


Fig. N° 08 - Schéma structural de la wilaya

Comme le montre la figure ci-dessus, on peut représenter schématiquement la wilaya par un trapèze avec

- à l'Ouest, un côté de direction Nord - Sud de 450 km.
- au Nord, un côté de direction Est - Ouest de 240 km.
- au Sud, un côté de direction Est - Ouest de 140 km.

Les régions naturelles, représentées sur le schéma, sont :

- les plaines de la dalle hamadienne, cuirasse calcaire avec, en surface un cailloutis anguleux.
- les régions ensablées, partie du grand Erg occidental avec des cordons dunaires particulièrement denses et élevés, cette zone Est consacrée exclusivement au pastoralisme saharien.
- la chebka, dorsale centrale à dominance calcaire en corniches continues de direction Nord - Sud. [8]

3.1.3. Situation de la zone d'étude (Vallée du M'Zab)

La vallée du M'Zab à laquelle se rattache notre étude, est la plus importante des zones habitées de la wilaya, elle est située à l'enceinte du bassin versant.

La vallée du M'Zab est entaillée dans les massifs calcaires du Turonien. Elle regroupe trois (03) daïras et quatre (04) communes, à savoir :

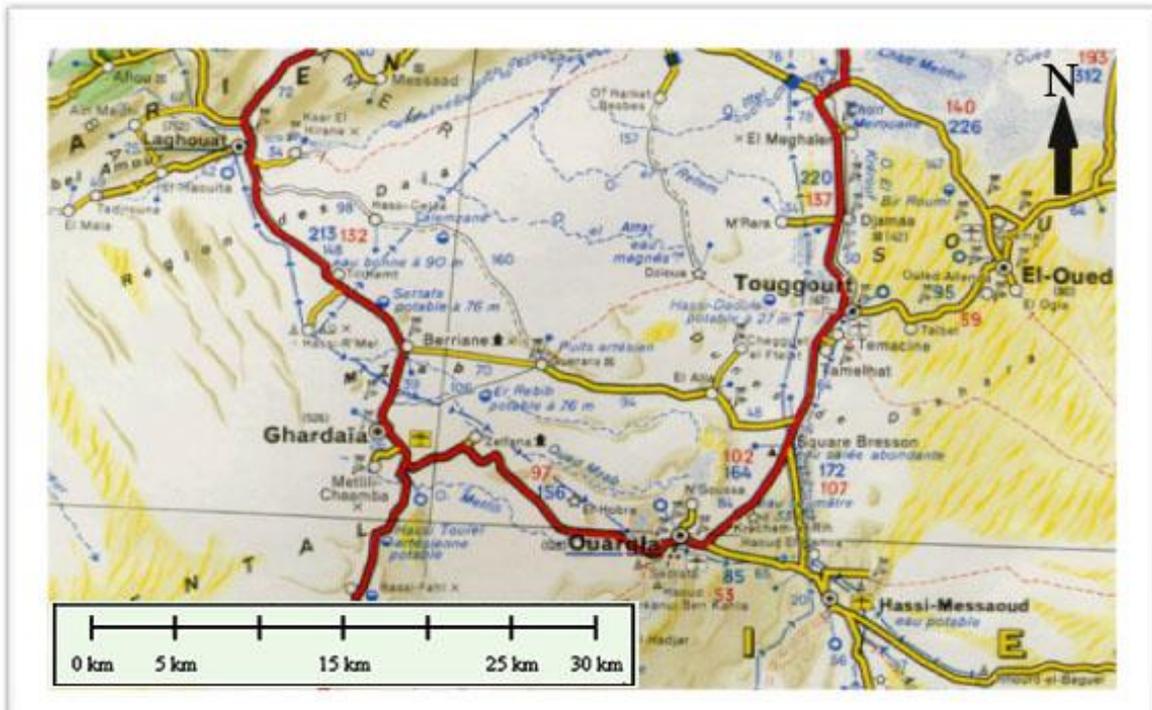


Fig. N° 09 - Situation d'ensemble

La partie amont du bassin versant est drainée par les importants oueds Lahdhira et El Abiod, dont la longueur est de 50 à 60 kilomètres, et leur confluence donne naissance à l'oued M'Zab 7 km au Nord-Ouest de la Ghardaïa. L'oued M'Zab reçoit ensuite successivement les apports des principaux cours d'eau suivants : en rive droite les oueds Argdeïne et Touzzouz, les Chaabet Ben Lahtem puis Benghanem, et l'oued N'Tissa et en rive gauche les Chaabet Inireze, puis Azouil et Laït M'zaï

Insérer extrait 1 :50.000

D'après l'analyse de la carte topographique (échelle 1/50 000), le lit majeur d'Oued M'Zab est d'une largeur moyenne de 800 m. Dans la zone plate, au niveau de la confluence des oueds El Abiodh et Laadiria, en rive droite de l'oued El Abiodh, l'agglomération de Dhayet Ben Dhahoua et sa palmeraie ont été érigées à partir du 19^{ème} siècle par des nomades se sédentarisant et constituent ainsi la seule implantation non mozabite de la région. La ville s'est récemment notablement développée dans le cadre des activités liées aux champs pétrolifères et de la zone de Hassi Messaoud en particulier. [8]

3.2. Aspect Géomorphologique

Le relief de la wilaya est assez peu mouvementé. La bordure Est ne dépasse pas la cote 200. Dans le quart Nord - Ouest qui comprend la chebka, les altitudes s'étagent entre 200 et 600 mètres. L'altitude moyenne de la wilaya est de 468 mètres. [8]

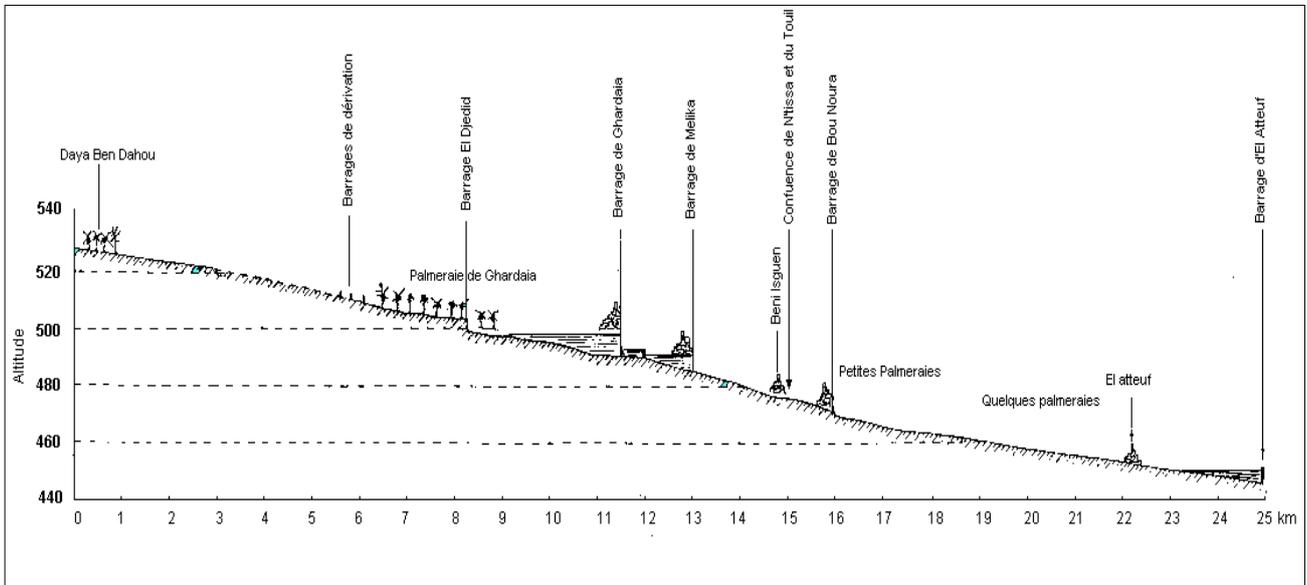
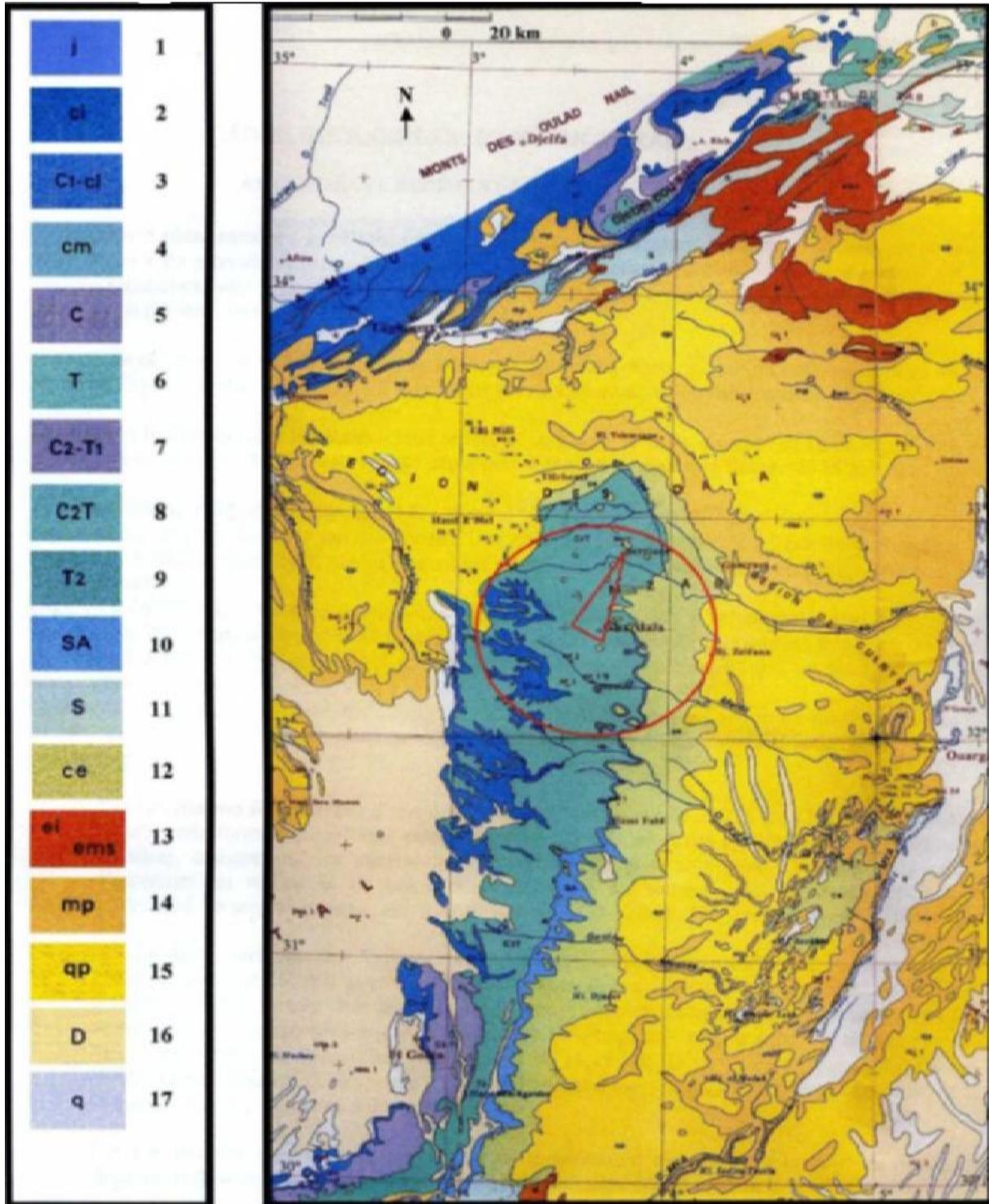


Fig. N° 10 - Coupe géomorphologique schématique de la vallée de M'Zab

3.3. Aspect Géologique

L'ensemble géomorphologique dans lequel s'inscrit cette région est un plateau rocheux dont l'altitude varie entre 300 et 800 mètres. Il s'agit d'un plateau crétacé (cm-4) formé par les calcaires durs du Turonien (T-6). Le paysage est donc caractérisé par une vaste étendue pierreuse ou affleure une roche nue de couleur brune et noirâtre. Ce plateau a été marqué par la forte érosion fluviale du début du Quaternaire qui a découpé dans sa partie sud des buttes à sommet plat et à façon de vallées. Cet ensemble se nomme AL-SHABKA, "filet", à cause de l'enchevêtrement de ses vallées.

L'oued M'Zab traverse ce filet de 38000 km² du nord-ouest vers le sud-est. Le lit des oueds, qui coulent que très rarement, est constitué de sables alluviaux et éoliens. La vallée du M'Zab atteint, à hauteur de Ghardaïa, une altitude de 500 mètres.



(extrait modifié de la carte géologique au 1/2000000)

Le cercle rouge représente la région de Ghardaia, le triangle rouge montre avec ses trois pointes les trois secteurs étudiés. Ages des terrains : 1- Jurassique (j) ; 2- Crétacé inférieur (ci) ; 3- Crétacé inférieur puis Cénomaniens argileux (C1-ci) ; 4- Crétacé moyen (cm) ; 5- Cénomaniens (C) ; 6- Turonien (T) ; 7- Cénomaniens supérieurs et Turonien inférieur (C2-T1) ; 8- Cénomaniens supérieurs calcaires et Turonien (C2-T) ; 9- Turonien (T2) ; 10- Sénonien argilo-gypseux y compris du Maastrichtien (SA) ; 11- Sénonien (S) ; 12- Sénonien et Eocène indistinctibles (ce) ; 13- Eocène inférieur (ei) et Eocène moyen-supérieur (ems) ; 14- Miocène ou Pliocène avec localement Nummulitique continental (mp) ; 15- Pliocène ou Quaternaire ancien (qp) ; 16- Quaternaire (D) ; 17- Quaternaire indifférencié (q).

Fig. N° 11 - Carte géologique locale (BG, 2004)

- Les périodes intermédiaires (flux ou reflux de la mer) ont donné des dépôts lagunaires : argiles à gypse.
- Un réseau des vallées conforme à la topographie générale s'ordonne autour d'axes Nord - Ouest Sud - Est, grossièrement orthogonal aux lignes de relief qu'il traverse. Ces vallées se sont creusées à des époques où le réseau hydrographique était beaucoup plus actif qu'il ne l'est aujourd'hui.
- Du fait de la structure des terrains (alternance de zones dures et de zones plus tendres), on a des vallées à versants raides taillées dans les calcaires et des fonds de vallée plats. Cette disposition a permis le développement d'un réseau hydrographique très ramifié constituant un dédale de vallées très rapprochées ou dayates qui est la caractéristique de la chebka. [8]

3.4. Aspect climatologique

3.4.1. Présentation de la station climatique

Cette synthèse climatique, s'appuie sur les données climatiques de la station de Noumerat (ONM-Ghardaïa), située au cœur de la zone d'étude, sur une série allant du 1978-2012.

willaya	Ghardaïa
station météorologique	605660 (DAUG)
Latitude	32,4 N
Longitude	3,81 E
Altitude	450 m

Tab N° 02 – coordonnées de la station météorologique

3.4.2. Analyse de la température

Elle est marquée par une grande amplitude entre les températures de jour et de nuit, d'été et d'hiver.

La période chaude commence au mois de Mai et dure jusqu'au mois de Septembre.

La température moyenne enregistrée au mois de Juillet est de 33,3 °C, le maximal absolu de cette période a atteint 40.1 °C.

Pour la période hivernale, la température moyenne enregistrée au mois de Janvier ne dépasse pas 12.4 °C, le minimal absolu de cette période a atteint 6.6 °C.

Mois	T.max	T.min	T.moy
Janvier	18.1	6.6	12.4
Fév	15.3	9.7	12.5
Mars	21.7	10.1	15.9
Avril	25.7	13.6	19.7
Mai	32.6	19.3	26.0
Juin	39.5	24.7	32.1
Juillet	40.1	26.5	33.3
Aout	40,1	27.0	33.6
Septembre	36.6	23.8	30.2
Octobre	29.7	18.6	24.2
Novembre	22.0	9.7	15.9
Décembre	16.4	6.0	11.2
M, annuelle	28,15	16,3	22,25

Tab N° 03 - Données de température de la région

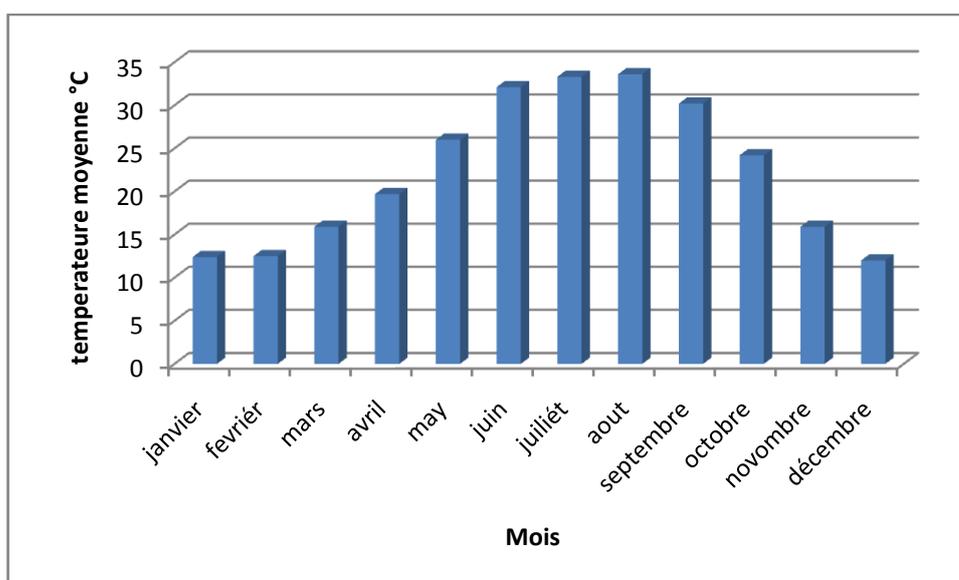


Fig. N° 12 - La répartition de la moyenne des températures mensuelles

3.4.3. Vents

Il n'y a pas de désert sans vents. Le vent est le facteur principal de la topographie désertique. Pendant certaines périodes de l'année, en général en Mars et Avril, on assiste au Sahara à de véritables tempêtes de sable.

On constate qu'à Ghardaïa, les vents dominants viennent du sud, tantôt sud-est de novembre à mars, les vents dominants soufflent du sud-est, de juin à septembre du sud-ouest et plus franchement du sud pendant les mois de transition d'avril, mai et octobre. [10]

Mois	Temps calme %	Fréquences en % des vents en direction du :							
		Sud - Est	SUD %	Sud - Ouest	OUEST %	Nord - Ouest	NORD %	Nord - Est	EST %
Janvier	34				15	17	18		
Février	29				14	18	17		
Mars	21				11	15	25		
Avril	17				10	10	25	15	
Mai	15					10	22	14	
Juin	20		11				18	20	12
Juillet	23		15				11	17	14
Août	23		15				12	17	11
Septembre	24						17	20	13
Octobre	30						22	15	
Novembre	34				12	14	17		
Décembre	33				17	18	14		

Tab N° 04 - Fréquences des vents selon leur direction

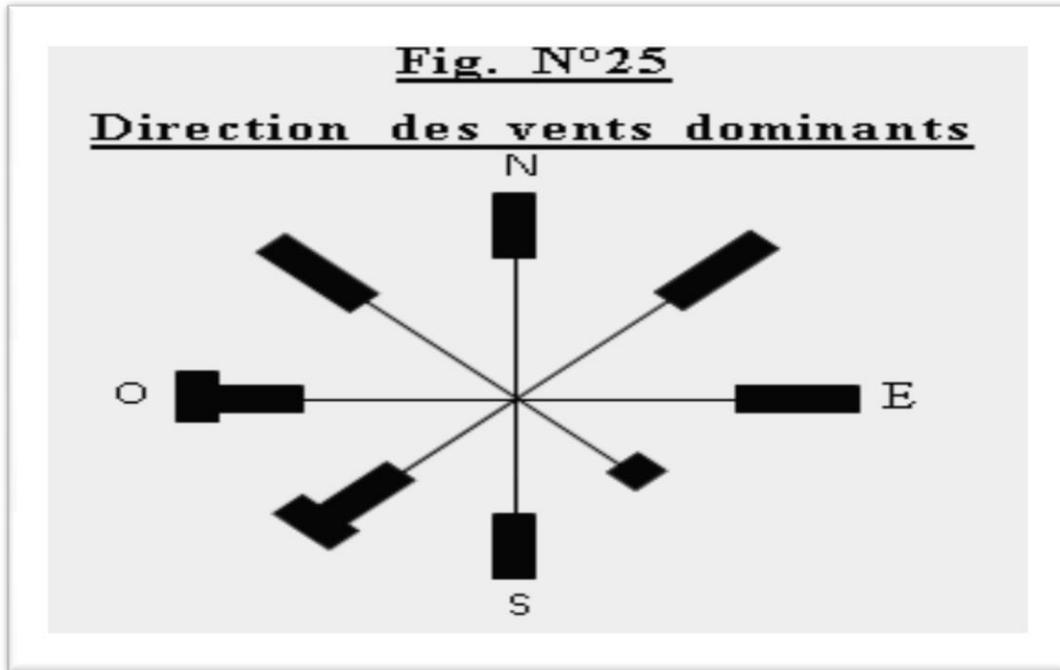


Fig. N° 13 - Direction des vents dominants

Nous résumons dans le tableau 05 suivant les vitesses des vents observés entre 1988-2007 de la station de Noumérat :

Mois	Janv.	Févr.	Mars.	Avril.	Mai.	Juin.	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Vent Max en (km/h)	28,76	31,34	24,36	22,96	25,05	21,03	17,05	16,71	16,98	20,33	20,24	21,11

Tab N° 05 – Moyenne mensuelles des vitesses maximal du vent

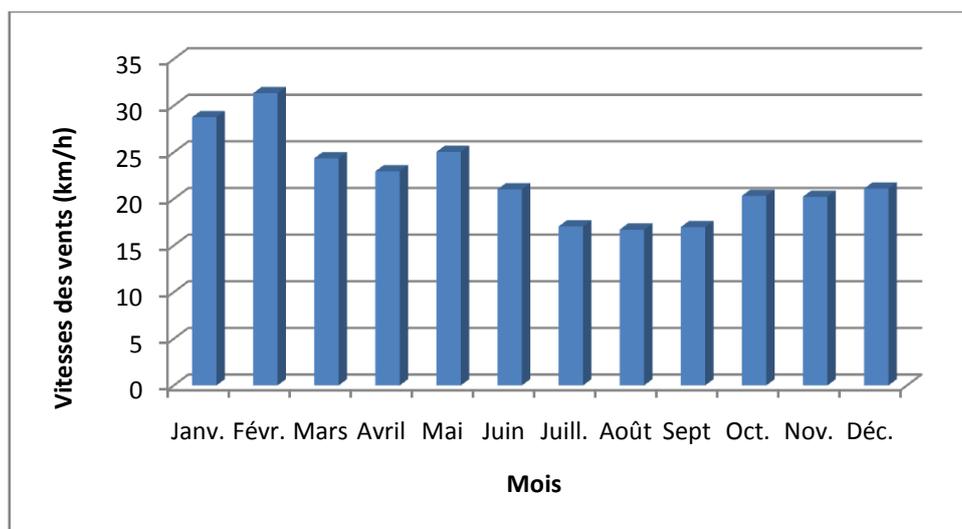


Fig. N° 14 - vitesse maximale du vent

3.4.4. Humidité relative

Des données de la station météorologique de Ghardaïa montrent qu'il y a une période de sécheresse de mois de juin au mois de juillet et il y a une période humide qui est en automne et en hiver.

Humidité : pour une journée moyenne d'un mois donné.

Mois	Humidité en %	
	minimum	maximum
Janvier	40	70
Février	36	66
Mars	28	48
Avril	26	52
Mai	23	50
Juin	20	40
Juillet	16	35
Août	19	40
septembre	26	52
Octobre	33	60
Novembre	38	70
Décembre	38	70

Tab N° 06 - Humidité relative moyen

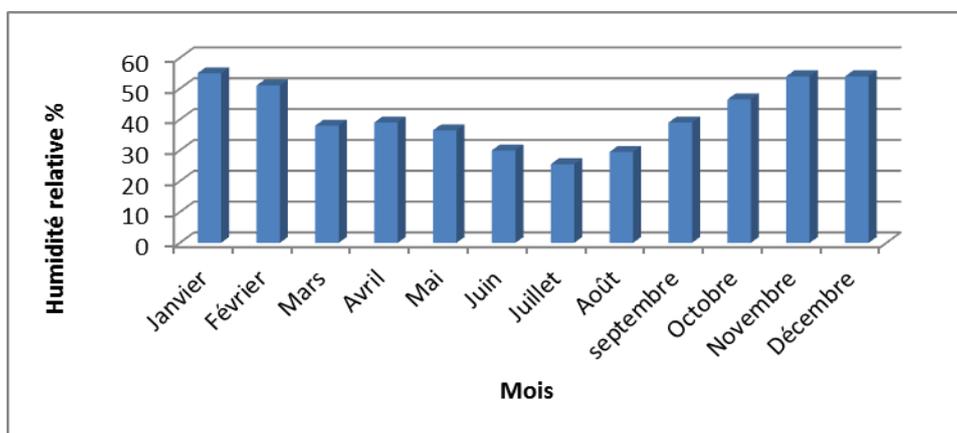


Fig. N° 15 - humidité relative moyen en %

3.4.5. Evaporation

L'évaporation est mesurée journalièrement sur le bac type COLORADO de la station de Ghardaïa (1988,2005). [3]

Cette évaporation journalière est définie par la relation :

$$E = P \pm H$$

E : Evaporation journalière du bac en mm,

P : Précipitation en mm,

H : Hauteur d'eau ajoutée ou enlevée dans le bac (mm).

Pour notre zone d'étude, les valeurs observées de l'évaporation du plan d'eau libre sont résumées dans le tableau suivant :

Mois	Janv.	Févr.	Mars.	Avril	Mai.	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Evaporation (mm)	81,8	110,6	181,3	246,8	329,7	378,4	439,9	382	286,4	179,3	108	77,8

Tab N° 07 - Evaporation moyenne mensuelle (mm)

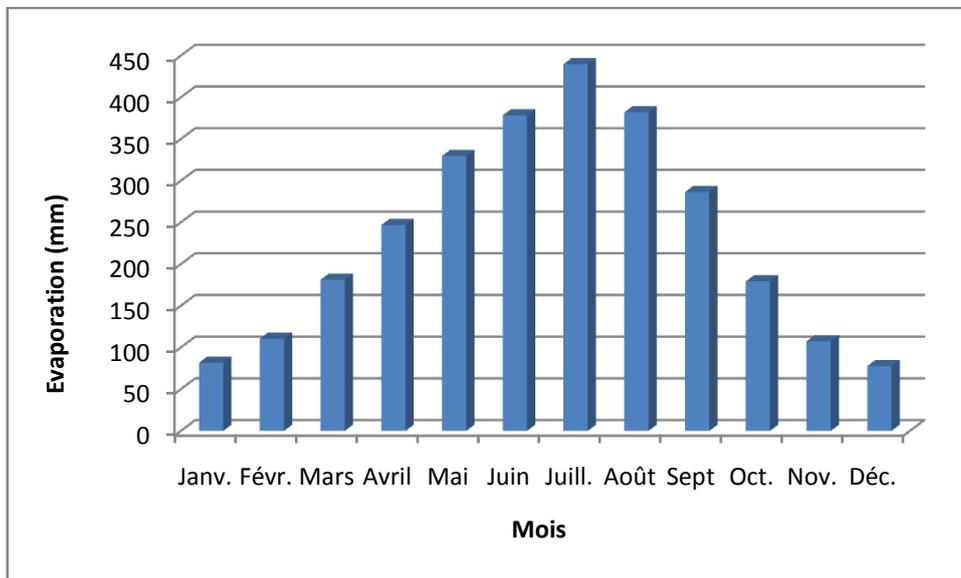


Fig. N° 16 - Evaporation moyenne mensuelle (mm)

CHAPITRE 04 - ETUDE HYDROGRAPHIQUE DE BASSIN VERSANT DU M'ZAB

4.1. Description générale

Oued M'Zab passe par la ville de Ghardaïa. Il est constitué à l'amont par la confluence de trois importants Oueds : El Abiod, Laadhira, et Areguedane, A une dizaine de kilomètres en aval de Ghardaïa se trouve une deuxième centre de rencontre (Zelfana), à droite Oued Noumerat et à gauche Oued Hasseï. L'Oued M'Zab prend naissance dans la région de BotmaTouila à une altitude 750 m, coule sensiblement d'Ouest en Est sur 325 km environ, et se termine à la Sebket Sefioune wilaya de Ouargla (côte 110m). (RECENSEMENT DES CRUES D'OUED M'ZAB Période 1921-2002 OULEDBELKHIR CHEIKH)

4.2. La délimitation du bassin versant (exutoire de l'Ateuf)

La délimitation du bassin versant se base le plus souvent sur la topographie. Pour le bassin versant de l'oued du M'Zab nous avons utilisé une méthode classique à l'aide d'une carte topographique de la région (1 :200000).

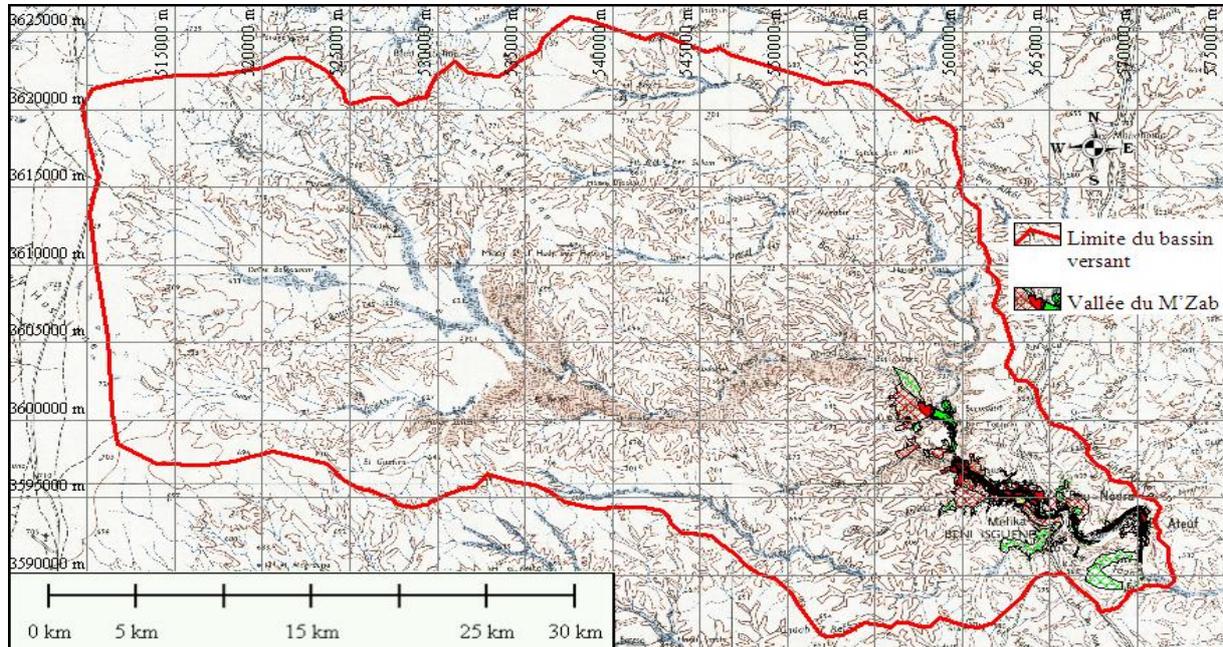


Fig. N° 17 - une carte représente la délimitation du bassin versant du M'Zab

La superficie du bassin versant de la vallée du M'Zab jusqu'à l'exutoire de L'Ateuf est de 1573 km² et son périmètre est de 157 km.

4.3. Détermination des principaux affluents du bassin versant (exutoire de l'Ateuf) :

Cette détermination se base aussi sur la topographie, pour faire ça nous avons utilisé la carte topographique précédente parce qu'elle indique tous les oueds de la région avec leurs nominations.

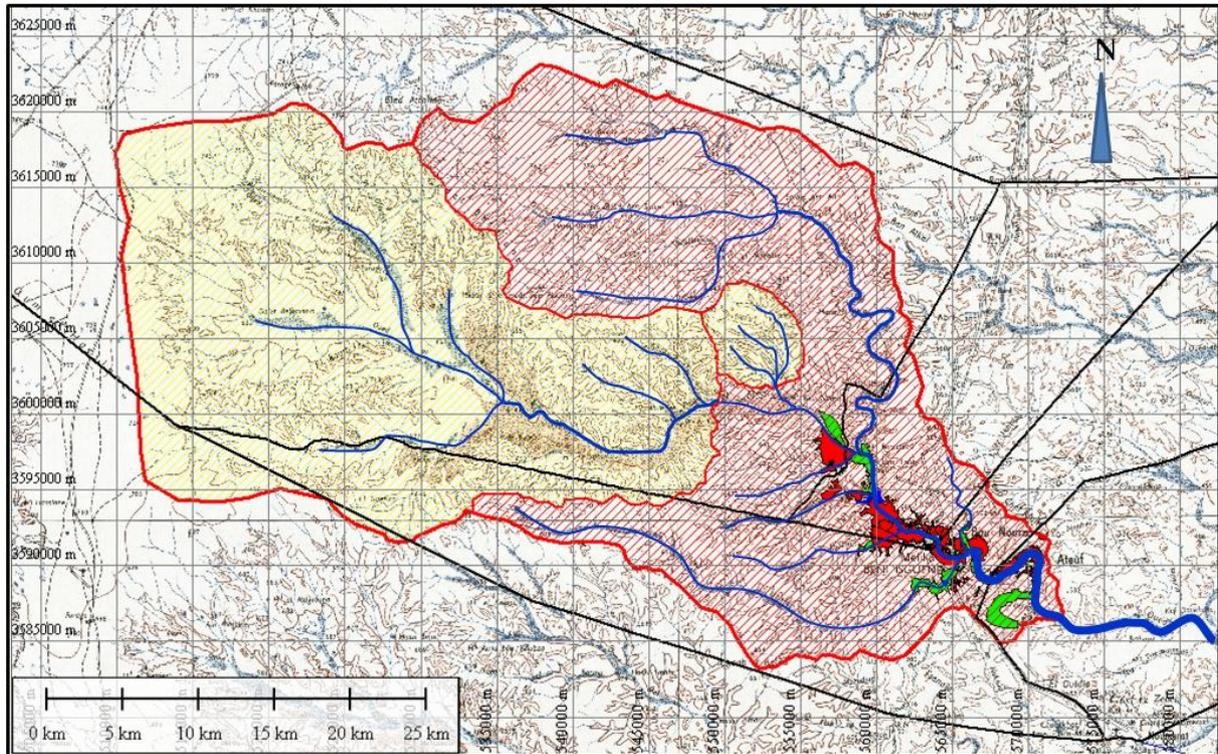


Fig. N° 18 - une carte représente la délimitation des principaux affluents du BV du M'Zab

4.4. Caractéristiques géométriques du bassin

4.4.1. Superficie

La superficie du bassin versant a été planimétrie à l'échelle 1/200.000.

Sous bassin selon l'exutoire	La superficie (km ²)
Daya b dahua	1289
L'Ateuf	1573
Hssei ,Zelfana	2800
SebkhetSefioune, Ouargla	5100

Tab N° 08 - La superficie du bassin versant du M'Zab

4.4.2. Périmètre

Le périmètre du bassin versant est obtenu directement à l'aide d'un curvimètre sur la même carte et à la même échelle :

Sous bassin selon l'exutoire	Périmètre (km)
Daya b dahua	157
L'Ateuf	181
Hssei ,Zelfana	264.5
SebkhetSefioune, Ouargla	467

Tab N° 09 - La périmètre du bassin versant du M'Zab

4.4.3. Longueur du thalweg principale

La longueur est déduite à l'aide du curvimètre.

Sous bassin selon l'exutoire	longueur (km)
Daya b dahua	67.0
L'Ateuf	84.4
Hssei ,Zelfana	105
SebkhetSefioune, Ouargla	224

Tab N° 10 - La longueur du cours d'eau principale

4.4.4. Indice de compacité

L'indice de compacité de Gravelouse, détermine la forme du bassin versant. Il est le rapport entre le périmètre du bassin et la circonférence du cercle ayant la même superficie que le bassin versant.

Son expression est comme suit :

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0.28 (P/\sqrt{A})$$

P et A : sont respectivement le périmètre et la superficie du bassin.

Sous bassin selon l'exutoire	Indice de compacité
Daya b dahua	1.22
L'Ateuf	1.3
Hssei ,Zelfana	1.4
SebkhetSefioune, Ouargla	1.8

Tab N° 11 - Indice de compacité du bassin versant du M'Zab

Conclusion : cela signifie que le bassin versant total a une forme allongée.

4.4.5. Dimensionnement du rectangle équivalent

La longueur et la largeur du Rectangle Equivalent sont respectivement données par les relations suivantes :

$$L = \frac{kc\sqrt{A}}{1.12} \left[1 + \sqrt{\left(1 - \left(\frac{1.12}{Kc}\right)^2\right)} \right]$$

$$l = \frac{kc\sqrt{A}}{1.12} \left[1 - \sqrt{\left(1 - \left(\frac{1.12}{Kc}\right)^2\right)} \right]$$

Sous bassin selon l'exutoire	Longueur (km)	la largeur (km)
Daya b dahua	54.4	23.46
L'ateuf	69,5	22,5
Hssei,Zelfana	105,8	26,4
SebkhetSefioune, Ouargla	205,1	24,4

Tab N° 12 - Dimensionnement du rectangle équivalent

4.5. Caractéristiques hydrographiques

4.5.1. La courbe hypsométrique

Elle fournit une vue synthétique de la pente du bassin, donc du relief. Cette courbe représente la répartition de la surface du bassin en fonction de l'altitude.

Les courbes hypsométriques demeurent un outil pratique pour comparer plusieurs bassins entre eux ou les diverses sections d'un seul bassin. Elles peuvent en outre servir à la détermination de la pluie moyenne sur un bassin et donnent des indications quant au comportement hydrologique et hydraulique du bassin et de son système de drainage.

Les données morphologiques du bassin versant de l'oued M'Zab et de ceux de ses principaux affluents ont permis la réalisation de La courbe hypsométrique suivante (Bonnard et Gardel, 1996).

Altitude (CN)	Altitude moy (m)	Surface cumulé (km ²)	Surface %
750-700	725	348,22	22
700-650	675	847,36	54
650-600	625	1265,76	80
600-550	575	1474,5	94
550-500	525	1547	98
500-450	475	1573	100

Tab N° 13 - Répartition des surfaces en fonction des côtes

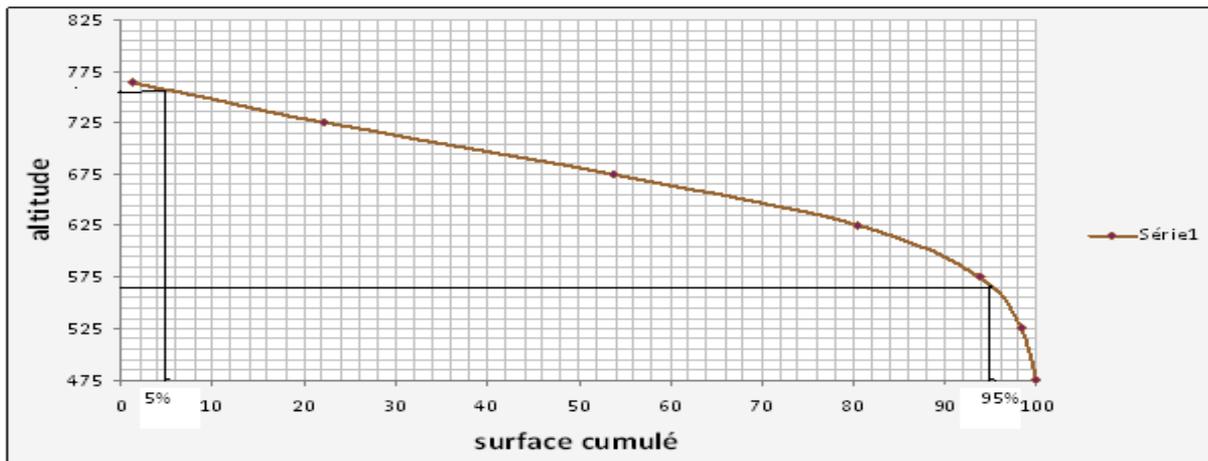


Fig. N° 19 - Courbes hypsométrique du bassin versant de l'Oued M'Zab (exutoire de l'Ateuf)

Avec,

$H_{\max} = 764.5$ m et $H_{\min} = 475$ m.

4.5.2. La dénivelée

Après De la courbe hypsométrique :

L'altitude $H_{5\%} = 754$ m.

L'altitude $H_{95\%} = 556$ m.

L'altitude médiane $H_{50\%} = 684$ m.

$D = H_{5\%} - H_{95\%}$

Sous bassin selon l'exutoire	Dénivelée (m)
Daya b dahua	168.6
L'Ateuf	189
Hssei,Zelfana	327.9
SebkhetSefioune, Ouargla	635.8

Tab N° 14 - Dénivelée du bassin versant de M'Zab

4.5.3. Indice de pente globale

L'indice global de pente évalue le relief. De la courbe hypsométrique, on prend les points tels que la surface supérieure ou inférieure soit égale à 5% de la superficie du bassin. On en déduit les altitudes $H_{5\%}$ et $H_{95\%}$ entre lesquelles s'inscrit 90% de l'aire du bassin. Il est égal à :

$$I_g = D/L_{re}$$

Sous bassin selon l'exutoire	Indice de pente globale (m/km)
Daya b dahua	3.1
L'Ateuf	2.7
Hssei,Zelfana	3.1
SebkhetSefioune, Ouargla	3.1

Tab N° 15 - Indice de pente globale du bassin versant de M'Zab

D'après les caractéristiques de la pente du bassin versant d'oued M'Zab a une faible pente. ($2 < I_g < 5$)

4.5.4. Indice de pente moyenne

La pente moyenne est une caractéristique importante qui renseigne sur la topographie du bassin. Elle est considérée comme une variable indépendante. Elle donne une bonne indication sur le temps de parcours du ruissellement direct, donc sur le temps de concentration, et influence directement le débit de point lors d'une averse. [9]

$$I_m \% = \frac{\Delta h (0.5L_1 + L_2 + L_3 + \dots + 0.5L_n)}{S}$$

Avec,

Δh : dénivelés entre deux courbes de niveau.

S : surface du bassin versant.

L_i : longueur entre deux courbes de niveau d'ordre i .

Sous bassin selon l'exutoire	Indice de pente moyen %
Daya b dahua	0.23
L'Ateuf	0.23
Hssei,Zelfana	0.25
SebkhetSefioune, Ouargla	0.25

Tab N° 16 - Indice de pente moyen du bassin versant de M'Zab

Conclusion : le bassin versant du M'Zab a une faible pente.

4.5.5. Temps de concentration

Le temps de concentration T_c des eaux sur un bassin versant se définit comme le maximum de durée nécessaire à une goutte d'eau pour parcourir le chemin hydrologique entre un point du bassin et l'exutoire de ce dernier. [9]

Les temps de concentration évalués avec les trois formules (California, Ventura, Giandotti) sont sensiblement différents. En fait, les temps d'écoulement à travers le bassin, et notamment dans l'oued même, varient en fonction de la hauteur d'eau dans celui-ci, c'est-à-dire de l'importance de la crue. La formule de Giandotti fournit des valeurs médianes, soit une vingtaine d'heures. [11]

Il s'évalue au moyen de la formule de Giandotti :

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1,5L}{0,8\sqrt{H}}$$

Sous bassin selon l'exutoire	Temps de concentration (heure)
Daya b dahua	19.7
L'Ateuf	21.19
Hssei,Zelfana	61.8
SebkhetSefioune, Ouargla	65

Tab N° 17 - Temps de concentration du bassin versant du M'Zab

4.5.6. Vitesse de ruissellement

$$Vr = \frac{L}{Tc}$$

Avec ;

L : est la longueur du talweg principal.

Tc: temps de concentration de l'écoulement.

Sous bassin selon l'exutoire	Vitesse de ruissellement (m/s)
Daya b dahua	3.4
L'Ateuf	3.9
Hssei,Zelfana	1.7
SebkhetSefioune, Ouargla	3.4

Tab N° 18 - Vitesse de ruissellement du bassin versant du M'Zab

4.5.7. Densité de drainage (exutoire de l'Ateuf)

$$Dd = \frac{\sum Li}{S} = \frac{343,4}{1573} = 0.21 km/km^2.$$

4.5.8. Profil en long du cours d'eau

Altitudes (m)	Distances cumulées (km)
779	0
750	0,9
700	14,2
650	33,1
600	48,4
550	53,9
500	55,7
494	55,8

Tab N° 19 - Les altitudes du cours d'eau principal p/p les distances cumulées

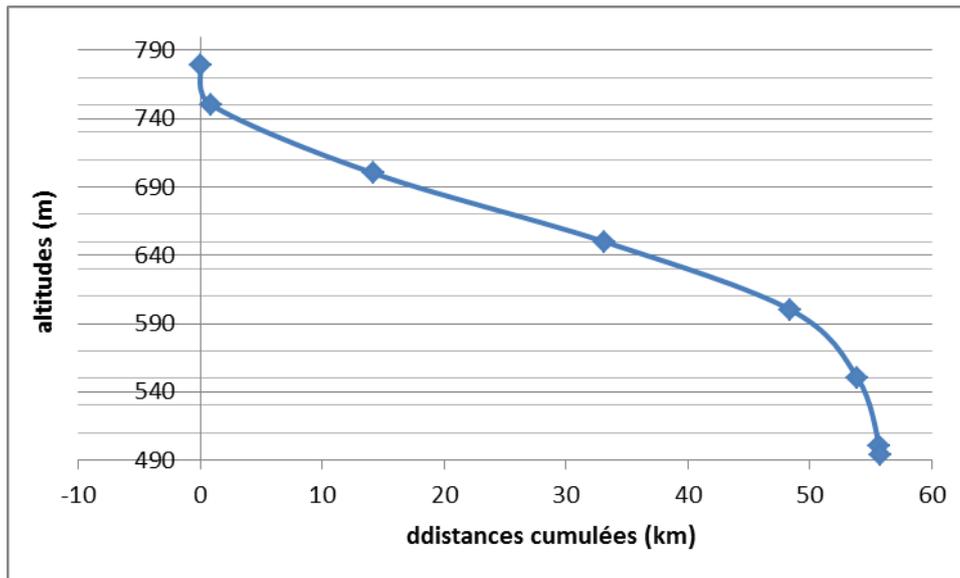


Fig. N° 20 - Profil en long du cours d'eau principal

CONCLUSION

Le tableau ci-dessus résume l'ensemble des paramètres hydro- morpho- métriques du bassin versant totale du M'Zab :

Désignation	s/bassin	Daya b dahua	L'Ateuf	Hssei,Zelfana	Sebkhet,S Ouargla
Superficie km ²		1289	1573	2800	5100
Périmètre km		157	181	264.5	467
Longueur principal km		67.0	84.4	105	224
Indice de capacité kc		1.22	1.3	1.4	1.8
Longueur équivalent km		54.4	69.5	105.8	205.1
Largeur équivalent km		23.46	22.5	26.4	24.4
Indice de pente globale m / km		3.1	2.7	3.1	3.1
Indice de pente moyen %		0.23	0.23	0.25	0.25
Alt max m		773	764.5	695	695
Alt min m		480.2	475	375	130
Alt moy m		521	684	535	392
Temps de concentration Heure		19.7	21.19	69.8	65
Vitesse de ruissellement		3.4	3.9	1.7	3.4

Tab N° 20 - Récapitulatif des Caractéristiques Morphométriques du Bv

CHAPITRE 05 - ETUDE STATISTIQUE ET DETERMINATION DE REGIME PLUVIOMETRIQUE

5.1 Introduction

Pour l'étude statistique des précipitations en hydrologie, on dispose d'une série pluviométrique qui comporte les précipitations maximales journalières pour la période la plus longue possible.

Nous prenons comme base de calcul la série pluviométrique de la station expérimentale de Ghardaïa.

La série a une période de fonctionnement de 1978 à 2012 qui a été fournie par l'Office Nationale de la Météorologie (ONM).

L'analyse statistique des données pluviométriques consiste à déterminer les caractéristiques empiriques d'un échantillon d'une série d'observations de précipitations maximales journalières, de 34 années.

5.2 Caractéristiques de la station pluviométrique de Ghardaïa

Nom	Ghardaïa
Organisme (source)	Office Nationale de la Météorologie (ONM)
Latitude	32°24 N
Longitude	03°48 E
Altitude (m)	468
Période d'observation	1978/2012
Nombre d'années observées	34
Observation	Station en fonctionnement

Tab N° 21 - Caractéristiques de la station pluviométrique de Ghardaïa

5.3 Analyse de la précipitation

Selon Dubief (1953), les précipitations ont pratiquement toujours lieu sous forme des pluies. Ces dernières sont caractérisées par leur faible importance quantitative et les pluies torrentielles sont rares. Elles sont liées aux perturbations soudano-sahariennes ou sahariennes.

Cette insuffisance de pluies sahariennes est accompagnée d'une irrégularité très marquée du régime pluviométrique et d'une variabilité interannuelle considérable, ce qui accentue la sécheresse. C'est le cas de Ghardaïa.

5.3.1 Répartition des pluies par intensité

Intensité de la pluie	Durée en % du temps d'observation	Répartition des durées sur 365 jours
nulle	91,0 %	332 jours
jusqu'à 1 mm	5,8 %	211/3 jours
1,1 à 5 mm	2,0 %	71/3 jours
5,1 à 20 mm	1,0 %	32/3 jours
20,1 à 30 mm	0,1 %	1/3 jours
supérieure à 30 mm	0,1 %	1/3 jours

Tab N° 22 - Intensités des pluies

5.3.2 Précipitation annuelle

La pluviométrie observée à la station de Noumérat met en évidence l'importance des variations d'amplitude de la pluviométrie d'une année à l'autre.

La variation des précipitations annuelles durant la période d'observation montre l'écart important entre les valeurs extrême, signe d'une irrégularité.

Caractéristiques de Pluies	Valeurs
P_{moy} Annuelle (mm)	68.4
P_{Min} Annuelle (mm)	12
P_{Max} Annuelle (mm)	172.7

Tab N° 23 - Caractéristiques des précipitations annuelles (1964-2004)

Nous remarquons que la précipitation maximale annuelle peut dépasser la moyenne annuelle, signe d'une très grande irrégularité et de grands écarts des précipitations.

5.3.3 Précipitation mensuelle

La pluviométrie moyenne interannuelle 1978-2012 a été évaluée à 144.2 mm. Sa répartition mensuelle est donnée dans le tableau ci-dessous :

Mois	P moy (mm)	%	Mois	P moy(mm)
janvier	9,1	6,3	juillet	14,9
février	6,3	4,4	août	11,4
mars	10,3	7,1	septembre	18,8
avril	10,4	7,2	octobre	16,8
mai	10,9	7,5	novembre	11,2
juin	14,4	10	décembre	9,6
			Totale	144.2

Tab N° 24 - Précipitations moyennes mensuelles

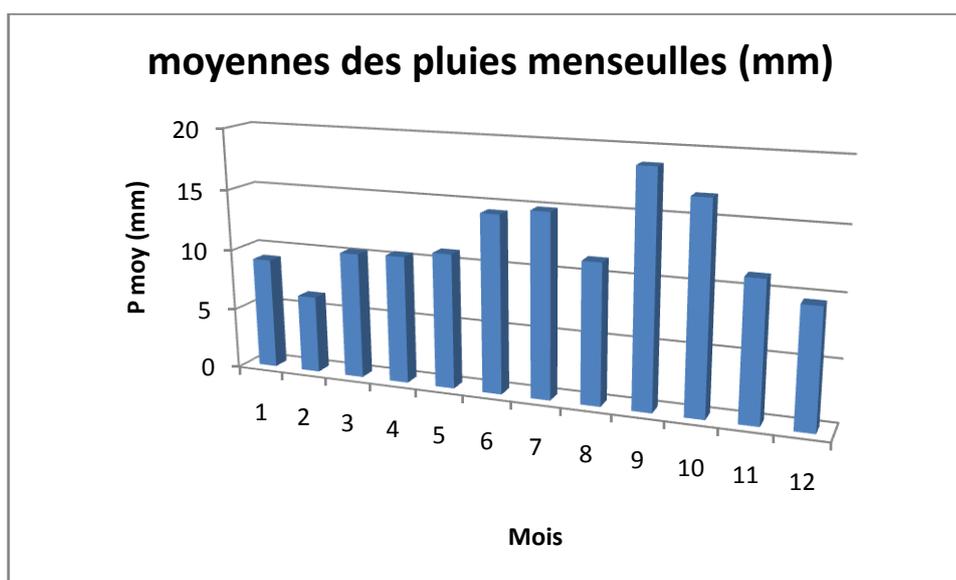


Fig. N° 21 - Précipitations moyennes mensuelles

5.3.4 Précipitations maximales journalières

Les précipitations maximales journalières permettent de calculer les intensités des pluies les plus fréquentes et d'estimer par conséquent un débit de crue.

La série d'observation enregistrée entre 1978 jusqu'à 2012 nous a permis de déduire la pluviométrie maximale journalière qui est de 54.8 mm.

Année	Pluie j maximale (mm)	Année	Pluie j maximale (mm)
1978	11,3	1996	12
1979	18,6	1997	23
1980	45,6	1998	4
1981	13	1999	26
1982	9,4	2000	18
1983	2,9	2001	18
1984	20,2	2002	24
1985	6,8	2003	33
1986	36,6	2004	46
1987	8,8	2005	7
1988	8,9	2006	16,2
1989	6,7	2007	10
1990	27,9	2008	23
1991	10,9	2009	11,9
1992	12,6	2010	10,8
1993	11,9	2011	7
1994	54,8	2012	7,11
1995	30	Moyen	20,5

Tab N° 25 - Pluies journalières maximales observées à Ghardaïa (1978-2012)

Le tableau N° 26 résume les caractéristiques des précipitations journalières maximales (sur la série de 1978 – 2012) :

caractéristiques	Valeurs
P_{J max} (mm)	54.8
Ecart Type	13.90
Cv	0.69

Tab N° 26 - Caractéristiques des précipitations journalières maximales

5.4 Analyse des données statistiques

- La moyenne interannuelle des précipitations maximales journalières $P_j \max$, Durant 34 ans d'observations :(équation I.2.Chp 01)

$$\bar{x} = 20.50 \text{ mm}$$

n : le nombre d'années d'observations ($n= 34$ ans).

- L'écart type « $\sigma_{P_{\max, j}}$ » ; (équation I.7.chp I)

$$\delta_x = 13.90 \text{ mm}$$

- Coefficient de variation : « C_v » : (équation I.3.chp I)

$$C_v = 0.61$$

- L'exposant climatique :

Selon les études régionales de l'A.N.R.H, nous avons $b = 0.15$

La répartition de la série présente un coefficient de variation supérieur à 0.50 qui indique une nette dissymétrie .Celle-ci nous a permis de tester la loi de Gumbel et de Galton, afin de déterminera l'ajustement adéquat à ces lois.

5.5 Choix de la loi d'ajustement

Nous voyons que les régimes pluviométriques sont très irréguliers, les deux lois généralement utilisées sont :

- La loi de GUMBEL
- La loi de GALTON

La série est homogène et indépendante.

5.6 Calcul des paramètres de la loi choisie et vérification de son adéquation

5.6.1 Ajustement de la série pluviométrique à la loi de Gumbel

$$y = \left(\frac{1}{a}\right) y + x_0$$

Avec, $\frac{1}{a} = \left(\frac{\sqrt{6}}{\pi}\right) \delta_x$

(1/a) : la pente de la droite de Gumbel

$$, \quad 1/a = 0,780\delta_x = 10,84$$

Et x_0 représente l'ordonnée à l'origine

$$X_0 = \bar{X} - 1/a \bar{u}$$

\bar{U} : Moyenne de la variable réduite de Gumbel.

\bar{U} : 0,53

$$x_0 = 19,98 - (10,84) \cdot (0,53) = 14,25$$

Donc la droite de GUMBEL devient : $x = 10,84u + 14,25$

D'où : $P_j \text{ max (p\%)} = 10,84u + 14,25$

Coefficient de corrélation r :

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (P_{jmax} - \bar{P}_{jmax})(U_i - \bar{u})}{\sqrt{\sum (P_{jmax} - \bar{P}_{jmax})^2 \sum (U_i - \bar{u})^2}}$$

D'où : $r = 0,98$

Conclusion :

Nous obtenons $r = 0.98 \approx 1$, donc la corrélation est acceptable.

Toutes les caractéristiques empiriques de notre série à la loi de Gumbel est données par le tableau suivant :

caractéristique de l'échantillon	série	
	x	u
Moyenne	20.50	0,53
Ecart type	13.90	1.08
Coefficient de variation	0.61	1.92
Coefficient de corrélation	0.98	
Pente de droite de Gumbel	10.84	
Ordonnée à l'origine	14.25	
Droite de régression	$P_{max, j}, P\% = X = 10.84 u_i + 14.25$	
P max, 10%	38.64	

Tab N° 27 - Les caractéristiques empiriques de la loi de Gumbel

I.C. à (en%) = 95

$U_{Gauss} = 1,960$

Ajustement à la loi de Gembel

Valeurs Classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
2,9	1	0,015	-1,440	2,90	-1,36	-6,69	2,32
4	2	0,044	-1,138	4,00	1,91	-2,63	5,17
6,7	3	0,074	-0,959	6,70	3,85	-0,26	6,89
6,8	4	0,103	-0,821	6,80	5,35	1,55	8,25
7	5	0,132	-0,704	7,00	6,62	3,06	9,42
7	6	0,162	-0,600	7,00	7,75	4,39	10,48
7,11	7	0,191	-0,504	7,11	8,79	5,60	11,48
8,8	8	0,221	-0,413	8,80	9,77	6,72	12,43
8,9	9	0,250	-0,327	8,90	10,71	7,77	13,36
9,4	10	0,279	-0,243	9,40	11,62	8,77	14,27
10	11	0,309	-0,161	10,00	12,50	9,73	15,18
10,8	12	0,338	-0,081	10,80	13,38	10,66	16,10
11,9	13	0,368	-0,001	11,90	14,24	11,57	17,02
12	14	0,397	0,079	12,00	15,11	12,46	17,96
12,6	15	0,426	0,160	12,60	15,98	13,34	18,92
13	16	0,456	0,241	13,00	16,87	14,22	19,91
16,2	17	0,485	0,324	16,20	17,77	15,10	20,94
18	18	0,515	0,409	18,00	18,69	15,98	22,00
18	19	0,544	0,497	18,00	19,63	16,87	23,10
18,6	20	0,574	0,587	18,60	20,61	17,78	24,26
20,2	21	0,603	0,681	20,20	21,64	18,72	25,49
23	22	0,632	0,780	23,00	22,71	19,69	26,78
23	23	0,662	0,885	23,00	23,84	20,70	28,16
24	24	0,691	0,996	24,00	25,05	21,77	29,64
26	25	0,721	1,116	26,00	26,34	22,91	31,25
27,9	26	0,750	1,246	27,90	27,76	24,13	33,00
30	27	0,779	1,389	30,00	29,31	25,47	34,95
30,99	28	0,809	1,550	30,99	31,06	26,96	37,15
33	29	0,838	1,735	33,00	33,05	28,65	39,68
36,6	30	0,868	1,952	36,60	35,41	30,63	42,67
46	31	0,897	2,220	46,00	38,31	33,06	46,38
46,5	32	0,926	2,572	46,50	42,13	36,23	51,27
48	33	0,956	3,098	48,00	47,84	40,95	58,61
54,8	34	0,985	4,212	54,80	59,91	50,86	74,19

-hydrolab-

A partir du graphe, nous tirons la précipitation maximale journalière pour une fréquence au non-dépassement de 90%. Le tracé de la droite est représenté sur le graphe dans la page suivante :

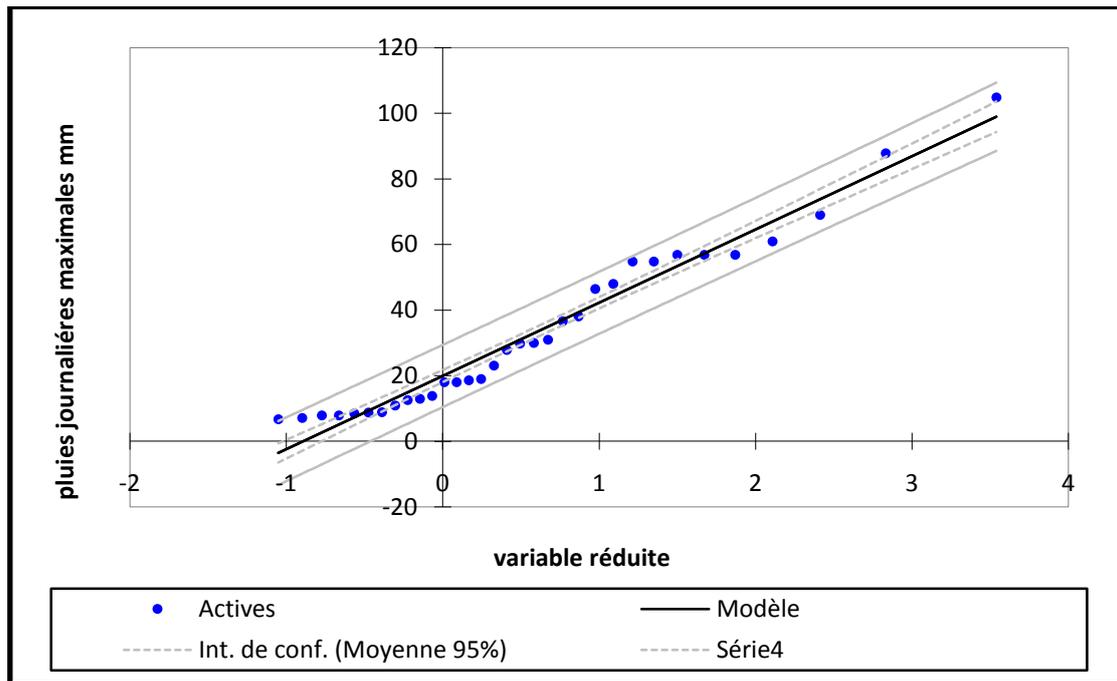


Fig. N° 22 - Ajustement graphique d'une loi de Gumbel. (xlstat)

5.6.2 Ajustement de la série pluviométrique à la loi de Galton (Log Normal)

La loi de Galton a une fonction de répartition qui s'exprime selon la formule suivante :

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_u^{+\infty} e^{-1/2u^2} du$$

Ou,

$$u = \frac{x - \bar{x}}{\sigma} \text{ (variable réduite de GAUSS)}$$

L'équation de la droite de Galton est la suivante :

$$\text{Log } x_i (p\%) = \log \bar{x}_i + \sigma \log u (p\%)$$

Avec :

$$\text{Log } \bar{x}_i = 1.19 \text{ mm}$$

$$\sigma \log x_i = 0.30 \text{ mm}$$

$$\text{Donc, la droite de Galton devient : } P_j \max (p\%) = 10^{1.19 + 0.30(u(p\%))}$$

Toutes les caractéristiques empiriques de notre série à la loi Galton (log normale) est données par le tableau suivant :

Avec, $u (p\%) = 1.28$

La moyenne de la série	$\text{Log } \bar{x}_i = 1.30\text{mm}$
La variance	$\sigma \log x_i = 0.32\text{mm}$
L'équation de la droite de Galton	$P_j \max (p\%) = 10^{1.30+0.32(u(p\%)})$
Pluie journalière maximale fréquentielle	$P \max, j (10\%) = 37.54\text{mm}$

Tab N° 28 - Les caractéristiques empiriques de la loi de Galton

Nous pouvons déterminer $P_j \max_{10}$ par deux méthodes ; graphique ou analytique

Par la méthode analytique, nous trouvons :

$$P_j \max (p\%) = 10^{1.19+0.30(u(p\%)})$$

$$P_j \max (10\%) = 10^{1.19+0.30(1.282)} = 37.54\text{mm}$$

Par la méthode graphique, nous avons :

$$\text{I.C. à } (en\%) = 95 \quad U \text{ Gauss} = 1.960$$

Nous dressons un tableau avec le log (xi) ainsi que les fréquences correspondantes.

Les résultats sont représentés dans le tableau à la page suivante :

Ajustement à la loi de Galton

Valeurs Classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
2,9	1	0,015	-2.115	2,90	-1,36	-4.75	3.76
4	2	0,044	-1.629	4,00	1,91	-2.32	3.38
6,7	3	0,074	-1.365	6,70	3,85	-0.12	4.84
6,8	4	0,103	-1.172	6,80	5,35	-2.75	6.80
7	5	0,132	-1.014	7,00	6,62	-1.37	7.90
7	6	0,162	-0.875	7,00	7,75	-2.52	10.65
7,11	7	0,191	-0.758	7,11	8,79	-3.91	12.72
8,8	8	0,221	-0.647	8,80	9,77	-4.66	13.23
8,9	9	0,250	-0.544	8,90	10,71	-5.47	13.85
9,4	10	0,279	-0.446	9,40	11,62	-1.56	14.81
10	11	0,309	-0.352	10,00	12,50	-1.11	15.28
10,8	12	0,338	-0.262	10,80	13,38	-1.83	15.98
11,9	13	0,368	-0.173	11,90	14,24	0.03	16.21
12	14	0,397	-0.86	12,00	15,11	0.71	16.6
12,6	15	0,426	0.000	12,60	15,98	9.16	17.3
13	16	0,456	0.086	13,00	16,87	1.9	20.3
16,2	17	0,485	0.091	16,20	17,77	3.39	22.15
18	18	0,515	0.104	18,00	18,69	4.08	23.01
18	19	0,544	0.173	18,00	19,63	4.14	23.49
18,6	20	0,574	0.262	18,60	20,61	7.08	23.40
20,2	21	0,603	0.352	20,20	21,64	9.60	23.64
23	22	0,632	0.446	23,00	22,71	16.10	24.72
23	23	0,662	0.544	23,00	23,84	18.77	21.96
24	24	0,691	0.647	24,00	25,05	18.81	30.41
26	25	0,721	0.758	26,00	26,34	19.43	31.93
27,9	26	0,750	0.879	27,90	27,76	19.91	33.21
30	27	0,779	1.014	30,00	29,31	20.95	34.17
30,99	28	0,809	1.172	30,99	31,06	21.33	36.23
33	29	0,838	1.365	33,00	33,05	22.28	37.42
36,6	30	0,868	1.625	36,60	35,41	25.82	44.87
46	31	0,897	2.115	46,00	38,31	29.84	49.81
46,5	32	0,926	2.433	46,50	42,13	32.04	55.79
48	33	0,956	3.044	48,00	47,84	37.71	57.20
54,8	34	0,985	3.376	54,80	59,91	39.24	62.30

-hydrolab-

Le graphe ci-dessous représente l'ajustement de la droite de Galton :

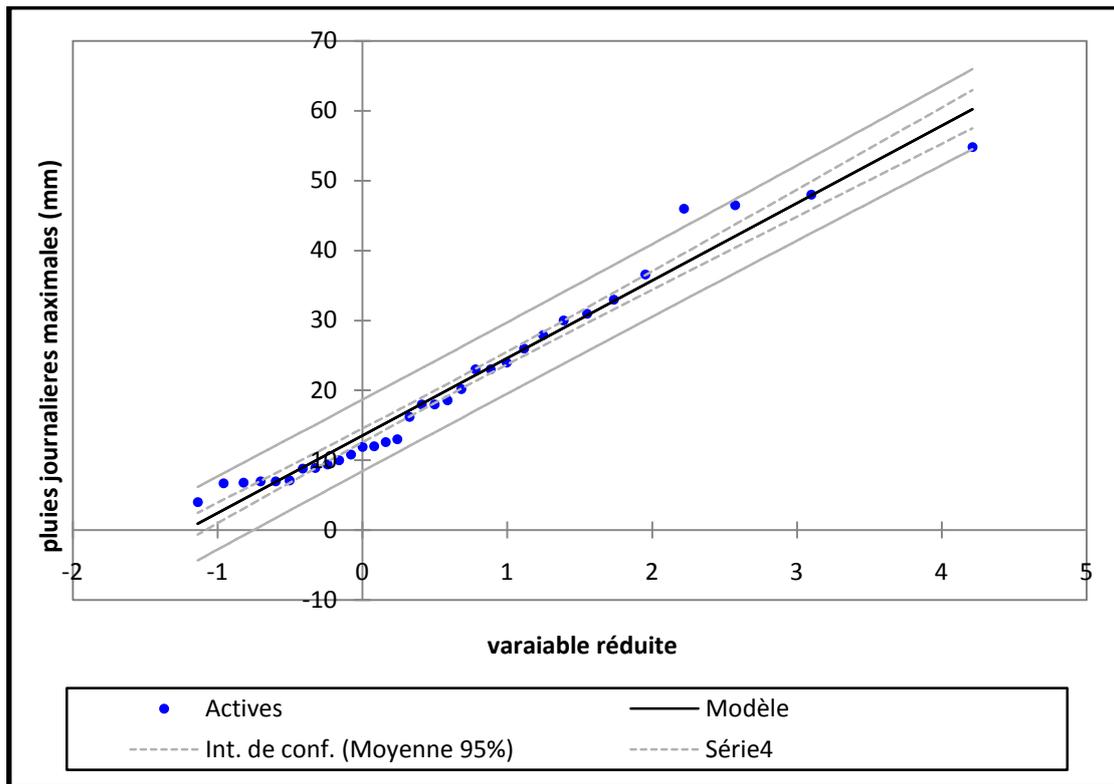


Fig. N° 23 – Ajustement graphique d’une loi de Galton. (xlstat)

Interprétation des graphes :

La projection des données expérimentales sur les figures N° 22 et N° 23 a permis de voir que les lois de Gumbel et Galton sont meilleures du moment que, la donnée expérimentale est proche de la droite théorique.

5.6.3 Test de Khi²

A. Loi de gumbel

Khi² (Valeur observée)	33.012
Khi² (Valeur critique)	33,924
DDL	22
p-value	< 0,0001
alpha	0,05

Tab N° 29 - Test de Khi² appliqué sur la série des pluies (Gumbel). (xlstat)

B. Loi de Galton (log normal)

Khi² (Valeur observée)	13,072
Khi² (Valeur critique)	14,067
DDL	7
p-value	<0,070
alpha	0,05

Tab N° 30 - Test de Khi² appliqué sur la série des pluies (Galton). (xlstat)

Conclusion :

D'après le test de Khi² appliqué sur la série des pluies Dans les deux cas (loi de Gumbel et loi de Galton), En remarque que :

Valeur critique > valeur observée. Ce qui montre que l'ajustement est accepté.

5.7 Le régime pluviométrique

5.7.1 Calcul des précipitations en fonctions de fréquences

Les résultats sont représenté dans le tableau suivant :

temps de retour (an)	Fréquence au non dépassement %	variable réduite de Gembel (u)	P j max fréquentielle (mm)
2	0,5	0,37	18
5	0,8	1,5	30
10	0,9	2,25	38
20	0,95	2,97	46
50	0,98	3,9	56
100	0,99	4,6	64
1000	0,999	6.90	89

Tab N° 31 - Pluies journalières maximales fréquentielles

Conclusion :

Il ressort de divers ajustements que les pluies journalières décennales sur la station de Ghardaïa est respectivement 38 mm, Les pluies centennales ont été évaluées à 64mm.

Ainsi que les pluies milléniales ont été évaluées à 89 mm.

5.7.2 Pluies de courtes durées

Les pluies de courtes durées sont calculées par la relation « type Montana » établie par Body à L'ANRH :

$$P\%(t) = P_j \left[\frac{t}{24} \right]^b$$

$P\%(t)$: Pluie fréquentielle de durée t.

$P_j\%$: Pluie journalière fréquentielle.

t: durée de l'averse.

b : Exposant climatique $\rightarrow b = 0,15$ pour la station de Ghardaïa.

Les calculs ont donné les résultats suivants :

Durée de l'averse (heure)	Période de retour (an)						
	2	5	10	2	50	100	1000
0,25	36,8	61,5	77,9	93,7	114,0	129,3	179,6
0,5	20,4	34,1	43,2	52,0	63,2	71,7	99,6
0,78	14,0	23,4	29,6	35,6	43,3	49,2	68,3
1	3,7	6,2	7,9	9,5	11,5	13,1	18,1
2	6,3	10,5	13,3	16,0	19,5	22,1	30,6
4	3,5	5,8	7,4	8,9	10,8	12,2	17,0
6	2,5	4,1	5,2	6,3	7,6	8,7	12,0
12	1,4	2,3	2,9	3,5	4,2	4,8	6,7
24	0,8	1,3	1,6	1,9	2,4	2,7	3,7

Tab N° 32 - Pluies de courtes durées pour différentes périodes de retour

5.7.3 Intensités maximales de courte durée

Une averse est définie comme un épisode pluvieux continu, pouvant avoir plusieurs pointes d'intensité. L'intensité moyenne d'une averse s'exprime par le rapport entre la hauteur de pluie observée et la durée t de l'averse.

Avec
$$I_{\max} = \frac{H_{\max}}{t}$$

I_{\max} : est l'intensité maximale de la pluie (mm/h).

Les calculs ont donné les résultats présentés ci-après pour les périodes de retour (2 ans, 5ans, 10 ans, 20 ans, 50 ans, 100 ans, 1000 ans) et pour des durées d'averse de 15 min jusqu'à 1 jour. [9]

Durée de l'averse (heure)	Période de retour (an)						
	2	5	10	20	50	100	1000
0,25	147,30	246,11	311,70	374,65	455,98	517,19	718,26
0,5	40,86	68,27	86,46	103,92	126,48	143,46	199,23
0,78	17,95	29,99	37,98	45,65	55,56	63,02	87,52
1	3,72	6,22	7,87	9,46	11,52	13,06	18,14
2	3,14	5,25	6,65	7,99	9,73	11,03	15,32
4	0,87	1,46	1,84	2,22	2,70	3,06	4,25
6	0,41	0,69	0,87	1,05	1,27	1,44	2,00
12	0,11	0,19	0,24	0,29	0,35	0,40	0,56
24	0,03	0,05	0,07	0,08	0,10	0,11	0,15

Tab N° 33 - Intensités maximales de durée t (h) et de période de retour T (an)

5.7.4 Construction des courbes IDF

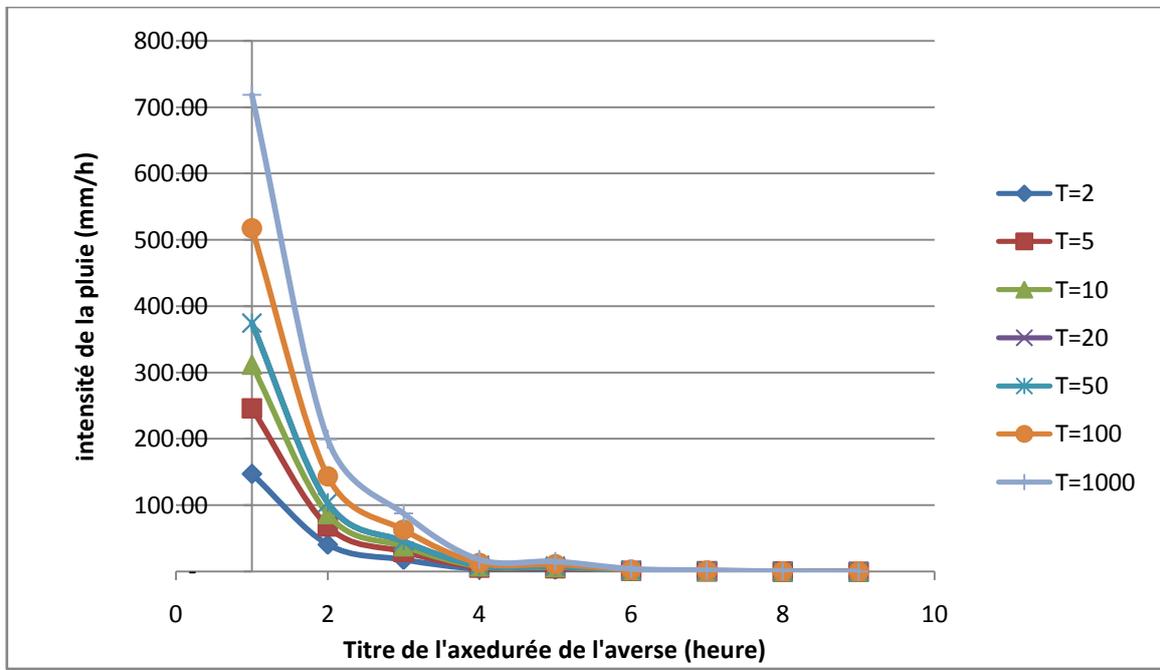


Fig. N° 24 - Courbe IDF « Intensité – Durée – Fréquence

CHAPITRE 06 - RECONSTITUTION DES CRUES SUR L'OUED M'ZAB

6.1 Introduction

Les crues sont des écoulements variables dans lesquelles les débits atteignent des valeurs importantes. Mais leur étude en Algérie reste un domaine inconnu pour les régions arides et sahariennes, seules quelques indications très ponctuelles sont données dans les annuaires hydrologiques algériens. Les crues représentent un des traits fondamentaux du régime d'un cours d'eau, malheureusement nous ne possédons pas de séries de crues pour pouvoir tirer des conclusions globales.

La crue dépend essentiellement de l'abondance et de l'intensité de la pluie : son évolution obéit principalement à la puissance et l'intensité de l'averse. Sa vitesse est largement influencée par le couvert végétal, la lithologie,.

De plus les diverses branches du chevelu hydrographique interviennent bien qu'à un degré moindre dans l'évolution ou la perturbation d'une crue. Dans la plus part des cas, ce sont les averses généralisées qui provoquent la plus grande crue.

Les paramètres définissant une crue sont :

- 1- Le débit maximum de la crue (débit de pointe).
- 2- Le volume de la crue.
- 3- Le temps de concentration.
- 4- Le temps de base.
- 5- La forme de la crue (Hydrogramme de crues).

6.2 Principaux paramètres intervient dans la reconstitution des crues

6.1.1 Temps concentration Tc

C'est le temps qui met une particule d'eau provenant de la partie la plus éloignée de l'exutoire pour parvenir à celui-ci. La formule de Giandootti est généralement utilisée pour l'évaluation de Tc en heure [11].

$$Tc = \frac{(4 \times A^{0.6} + 1.5 \times L)}{[0.8(H_{\text{moy}} - H^{\text{min}})]^{0.5}}$$

Ou A, en km² : est la superficie du bassin versant.

L, en km : est la longueur du thalweg principal.

H_{moy} , en m : est l'altitude moyenne du bassin versant.

H_{min} , en m : est l'altitude minimale du bassin

L'application numérique de cette formule sur oued M'Zab, donne les résultats suivants :

Sous bassin selon l'exutoire	Temps de concentration (heure)
Daya b dahua	19.7
L'ateuf	21.19
Hssei ,Zelfana	61.8
Sebkhet Sefioune, Ouargla	65

6.1.2 Temps de base Tb et temps de montée Tm

Le temps de base est la durée pendant laquelle la partie ruisselée de l'averse s'écoule à travers l'exutoire. Tandis que, Le temps de montée est la durée entre le début de l'écoulement et le maximum de hauteur de la crue.

Rodier et Auvray (1965, in M Roche 1996) ont établi des abattes donnant le temps de base Tb et le temps de montée Tm crue type d'une averse décennale en fonction de la superficie A pour des bassins représentatives sahéliens et subdésertiques au Sahara [11] :

$$Tb = 2.146 A^{0.368}$$

$$Tm = 0.395 A^{0.409}$$

Sur le Nordeste (Brésil), Cadier (1993, M Roche 1996) évalue le Tb et le Tm par les formules suivantes :

$$Tb = 4.602 A^{0.270}$$

$$Tm = 0.25. Tb$$

L'application numérique de ces formules sur l'oued M'Zab, donne les résultats suivants :

caractéristiques	D b dahua	L' Ateuf	Hssei,Zelfana	Sebkhet sefioune, Ouargla
A (km²)	1289	1573	2800	5100
Tb (Rodier) H	29,9	32,2	39,2	49,66
Tb (Cadier) H	31,8	33,57	40	46,13
Tb moyen H	30	32,88	39,6	47,89
Tm (rodier) H	7,3	8,01	9,8	12,97
Tm (cadier) H	7,5	8,39	10,15	11,53
Tm moyen H	7,3	8,2	9,97	12,25

Tab N° 34 -Temps de base Tb et temps de montée Tm

6.1.3 Coefficient de ruissellement

C'est le rapport entre la lame d'eau moyenne coulé sur la surface du bassin et la lame d'eau moyenne apportée par la pluie. Au Sahara, il est extrêmement rare que la hauteur de pluie soit homogène de même que le ruissellement, mais les hydrologues procèdent en général à une estimation globale de ce coefficient par rapport à l'ensemble du bassin [11].

Pour les bassins subdésertiques au sud Sahara, Rodier et Ribstein (1988, in M Roche 1996) ont établi des relations entre le Kr et la superficie A, en tenant compte des indices de relief et de la perméabilité, pour de fortes pluies journalières comprises entre 60 mm et 110 mm [11] :

$$Kr = 110 \cdot A^{-0.186} \text{ (Kr en \%)}$$

L'application numérique de ces formules sur l'oued M'Zab, donne les résultats suivants :

caractéristiques	D b dahua	L'Ateuf	Hssei,Zelfana	Sebkhet Sefioune, Ouargla
A (km2)	1289	1573	2800	5100
Kr en %	29	27,97	25,13	22,47

Tab N° 35 - Coefficient de ruissellement de chaque sous bassin

6.1.4 Evaluation du volume de la crue à partir Kr, Pj et A

Le calcul du volume de ruissellement généré prend en compte un coefficient d'abattement Ka, qui traduit la diminution spatiale moyenne de la pluie par rapport à la pluie ponctuelle à la station de référence. Le Ka est variable en fonction de la surface du bassin versant [11]:

$$Kr = 1.1943 - 0.0604 \cdot \ln(A)$$

L'application pour le bassin du M'Zab donne :

caractéristiques	D b dahua	L'Ateuf	Hssei,Zelfana	Sebkhet Sefioune, Ouargla
A (km2)	1289	1573	2800	5100
ka	0,76	0,75	0,71	0,68

Tab N° 36 - Coefficient d'abattement de chaque sous bassin

Le volume de crue s'écrit :

$$V \text{ (Hm}^3\text{)} = P \text{ j(mm).Ka.Kr.A/1000}$$

Pour une pluie journalière centennale sur le bassin de M'Zab, on exprime le volume par :

$$V_{100}=0.0996.A^{0.7392}$$

Pour une pluie journalière décennale, on le exprime par

$$V_{10}=0.0512.A^{0.7392}$$

Pour une pluie journalière millennale, on le exprime par :

$$V_{1000}=0.185.A^{0.7392}$$

6.1.5 Coefficient de pointe α

Le coefficient de pointe α est égal au Q_{max}/Q_{moy} . La crue est supposée uniformément réparti sur tout le temps de base T_b . Pour les bassins du M'Zab on adopte la relation en fonction de la superficie (au-delà 100 km²)

$$\alpha = 0.24 \ln(A) + 2$$

caractéristiques	D b dahua	L' Ateuf	Hssei,Zelfana	Sebkhet Sefioune, Ouargla
A (km²)	1289	1573	2800	5100
α	3,7	3,77	3,90	4,05

Tab N° 37 - Coefficient de pointe de chaque sous bassin

6.1.6 Coefficient d'abattement des écoulements

Le coefficient d'abattement K_e , traduit la diminution de la quantité ruisselée, sur le parcours jusqu'à un exutoire donné, par l'effet de l'évaporation et l'infiltration Comme les cas de la vitesse d'écoulement. Le K_e est conditionné par les facteurs dans la page suivante [11] :

- L'importance du parcours ;
- La perméabilité et la rugosité du parcours ;
- L'étendue de la précipitation ;
- La période et l'importance des précipitations précédentes ;
- La saison d'écoulement.

Dans les Oueds sahariens le Ke augmente dans le parcours d'une façon exponentielle, c'est-à-dire, qu'il augmente plus vite en aval qu'en amont. Ke ne peut être estimé, que s'il y a eu un suivi et une mesure hydrométrique de la crue considérée.

Vanney a constaté la diminution sensible du volume écoulé vers le Sud, fait caractéristique de l'hydrologie en pays aride. Les causes les plus importantes semblent être les suivantes :

- * le grand étalement de la crue vers l'aval qui a dû s'accompagner d'une très forte évaporation

- * Les formations du lit de la vallée sont affectées de grande porosité (alluvions et dunes) qui ont pu absorber un important volume d'eau.

L'auteur a estimé cette diminution à 85% sur 450 km de parcours.

En tenant compte de ces deux références, nous pensons qu'il est très logique d'admettre un coefficient d'abattement des crues 80% pour le bassin du M'Zab.

6.3 Application au Oued M'Zab

Nous avons appliqué les différentes expressions pour évaluer le débit maximum, le débit moyen et le volume écoulé à l'exutoire en tenant compte de tous les paramètres qui ont été estimés sur le bassin du M'Zab, Etant donné que les méthodes appliquées à des résultats différents, des comparaisons seront faites afin d'adopter des valeurs moyennes.

6.3.1 Formule de Myer

$$Q_{10}=9.6.A^{0.59} \quad Q_{10}=2.55.A^{0.8}$$

Débit et volume	D b dahua	L' Ateuf	Hssei,Zelfana	Sebkhet Sefioune, Ouargla
$Q_{\max 10} (m^3/s)$	383,5	440,8	660	1004,2
$Q_{\max 100} (m^3/s)$	656,62	738,5	1037,7	1478,2
$Q_{\text{moy } 10} (m^3/s)$	103,65	116,9	169,2	247,96
$Q_{\text{moy } 100} (m^3/s)$	177,46	195,88	266,1	364,99
$V_{10} (m^3) \cdot 10^6$	10,2	11,8	18,08	3,616
$V_{100} (m^3) \cdot 10^6$	19,83	22,9	35,18	7,036

Tab N° 38 - calcul des débits avec la formule de Myer

6.3.2 Méthode de Rodier-Auvray (1988)

$$Q_{max} = P_j \cdot K_a \cdot K_r \cdot A \cdot \alpha \cdot T_b^{-1}$$

Avec

$$Q_{100} = 32,6 \cdot A^{0,42}$$

Débit max	Pj fréq (mm)	D b dahua	L' Ateuf	Hssei ,Zelfana	Sebkhet Sefioune, Ouargla
$Q_{max 2} (m^3/s)$	18,26	177,6	191,4	250,6	340,1
$Q_{max 5} (m^3/s)$	30,51	296,9	319,8	416,5	556,7
$Q_{max 10} (m^3/s)$	38,64	376,0	405,1	527,4	705,1
$Q_{max 20} (m^3/s)$	46,44	451,6	486,4	633,4	847,4
$Q_{max 50} (m^3/s)$	56,53	549,9	600,2	771,2	1031,6
$Q_{max 100} (m^3/s)$	64,11	688,9	749,9	958,8	1237,8
$Q_{max 1000} (m^3/s)$	89,04	866,6	933,4	1 210,6	1624,8
$Q_{moy 2} (m^3/s)$	18,26	48,0	50,8	64,3	84,0
$Q_{moy 5} (m^3/s)$	30,51	80,2	84,8	106,8	137,5
$Q_{moy 10} (m^3/s)$	38,64	101,6	107,4	135,2	174,1
$Q_{moy 20} (m^3/s)$	46,44	122,1	129,0	162,4	209,2
$Q_{moy 50} (m^3/s)$	56,53	148,6	159,2	197,7	254,7
$Q_{moy 100} (m^3/s)$	64,11	186,2	198,9	245,8	305,6
$Q_{moy 1000} (m^3/s)$	89,04	234,2	247,6	310,4	401,2
$V_2 (m^3) \cdot 10^6$	18,26	5,2	6,0	9,1	1,82
$V_5 (m^3) \cdot 10^6$	30,51	8,7	10,0	15,2	3,03
$V_{10} (m^3) \cdot 10^6$	38,64	11,0	12,7	19,2	3,84
$V_{20} (m^3) \cdot 10^6$	46,44	13,2	15,3	23,1	4,62
$V_{50} (m^3) \cdot 10^6$	56,53	16,1	18,6	28,1	5,62
$V_{100} (m^3) \cdot 10^6$	64,11	18,2	21,1	31,9	6,37
$V_{1000} (m^3) \cdot 10^6$	89,04	25,3	29,3	44,3	8,85

Tab N° 39 - calcul des débits avec la formule de Rodier-Auvray (1988)

6.3.3 Méthode de Peuch et Chabbi-Gonni (1984)

Débit et volume	D b dahua	L' Ateuf	Hssei,Zelfana	Sebkhet Sefioune, Ouargla
$Q_{max 100} (m^3/s)$	511,9	501,04	989,77	1647,73
$Q_{moy 100} (m^3/s)$	138,35	132,9	253,76	406,85
$V_{100} (m^3) \cdot 10^6$	19,83	22,97	36,17	7,234

Tab N° 40 - calcul des débits avec la formule de Peuch et Chabbi-Gonni (1984)

6.3.4 Méthode de Cadier-Aguiar (1993)

$$Q_x^{100} = (575 \cdot A) / [(L \cdot C)^{0.5} \cdot (120 + (K \cdot L \cdot C))]$$

Débit et volume	D b dahua	L' Ateuf	Hssei,Zelfana	Sebkhet Sefioune, Ouargla
$Q_{\max 100}$ (m ³ /s)	717,1	765,07	1171	1323,24
$Q_{\text{moy } 100}$ (m ³ /s)	193,81	203,12	299,87	326,73

Tab N° 41 - calcul des débits avec la formule de Cadier-Aguiar (1993)

6.4 Hydrogrammes des crues

Après de prendre en considération les valeurs de la méthode Rodier-Auvray dans la construction des hydrogrammes des crues sur les sous-basins, Application pour le bassin du M'Zab donne :

Exutoire Daya Ben Dahua

Pr	2	5	10	20	50	100	1000
Q max	177,6	296,9	376,0	451,6	549,9	688,9	866,6
0	0	0	0	0	0	0	0
3,75	67,02	112,04	141,89	170,42	207,51	259,96	327,02
7,35	177,6	296,9	376,0	451,6	549,9	688,9	866,6
12,37	49,06	82,02	103,87	124,75	151,91	190,30	239,39
17	22,80	38,11	48,27	57,97	70,59	88,43	111,25
22,49	10,88	18,18	23,03	27,65	33,67	42,19	53,07
30	0	0	0	0	0	0	0

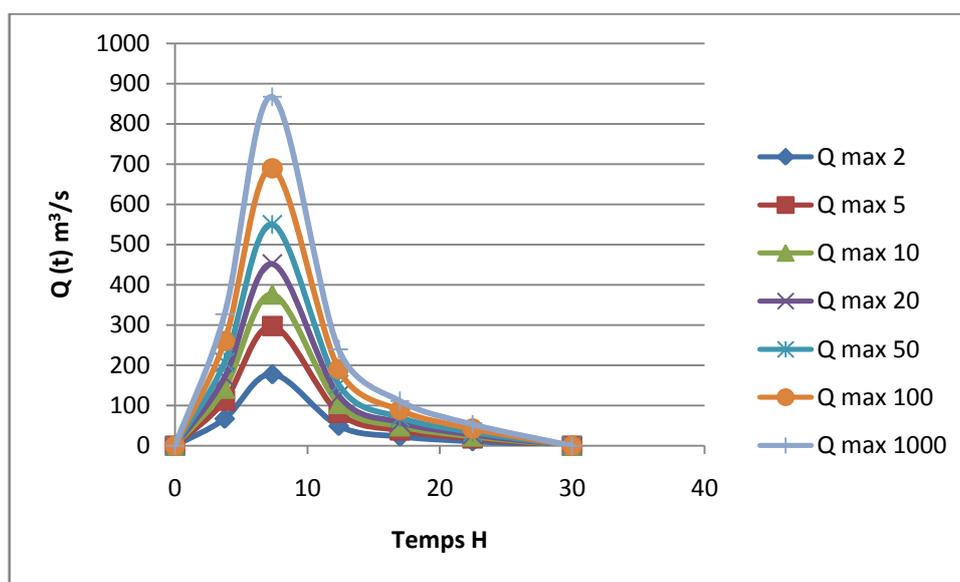


Fig. N° 25 - L'hydrogramme de crues SB1

Exutoire L'Ateuf

Pr	2	5	10	20	50	100	1000
Q max	191,4	319,8	405,1	486,4	600,2	749,9	933,4
0	0	0	0	0	0	0	0
3,75	72,23	120,68	152,86	183,55	226,49	282,98	352,23
7,35	191,4	319,8	405,1	486,4	600,2	749,9	933,4
12,37	52,87	88,34	111,90	134,36	165,80	207,15	257,85
17	24,57	41,05	52,00	62,44	77,05	96,26	119,82
22,49	11,72	19,58	24,81	29,79	36,75	45,92	57,16
32,88	0	0	0	0	0	0	0

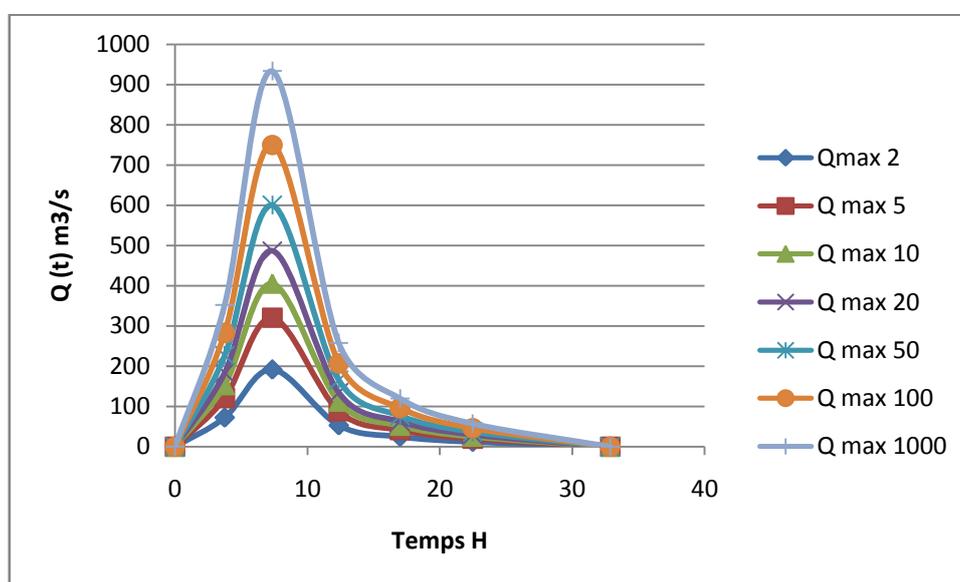


Fig. N° 26 - L'hydrogramme de crues SB2

Exutoire Hssei.Zelfana

Pr	2	5	10	20	50	100	1000
Q max	250,6	416,5	527,4	633,4	771,2	958,8	1 210,6
0	0	0	0	0	0	0	0
3,75	94,6	157,2	199,0	239,0	291,0	361,8	456,8
7,35	250,6	416,5	527,4	633,4	771,2	958,8	1210,6
12,37	69,2	115,1	145,7	175,0	213,0	264,9	334,4
17	32,2	53,5	67,7	81,3	99,0	123,1	155,4
22,49	15,3	25,5	32,3	38,8	47,2	58,7	74,1
39,6	0	0	0	0	0	0	0

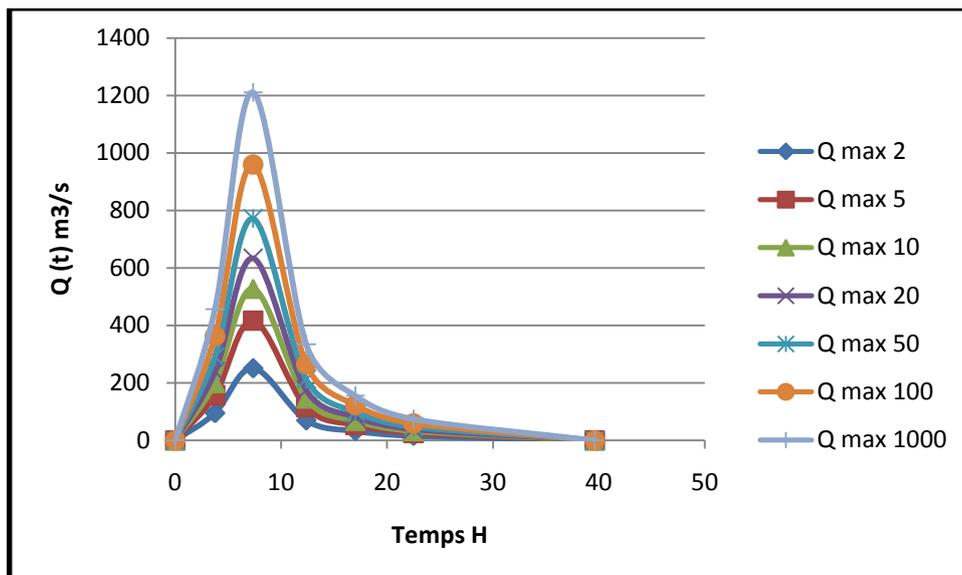


Fig. N° 27 -L'hydrogramme de crues SB3

Exutoire Sebket sefioune, Ouargla

Pr	2	5	10	20	50	100	1000
Q max	340,1	556,7	705,1	847,4	1031,6	1237,8	1624,8
0	0	0	0	0	0	0	0
3,75	128,3	210,1	266,1	319,8	389,3	467,1	613,1
7,35	340,1	556,7	705,1	847,4	1031,6	1237,8	1624,8
12,37	94,0	153,8	194,8	234,1	285,0	341,9	448,8
17	43,7	71,5	90,5	108,8	132,4	158,9	208,6
22,49	20,8	34,1	43,2	51,9	63,2	75,8	99,5
47,89	0	0	0	0	0	0	0

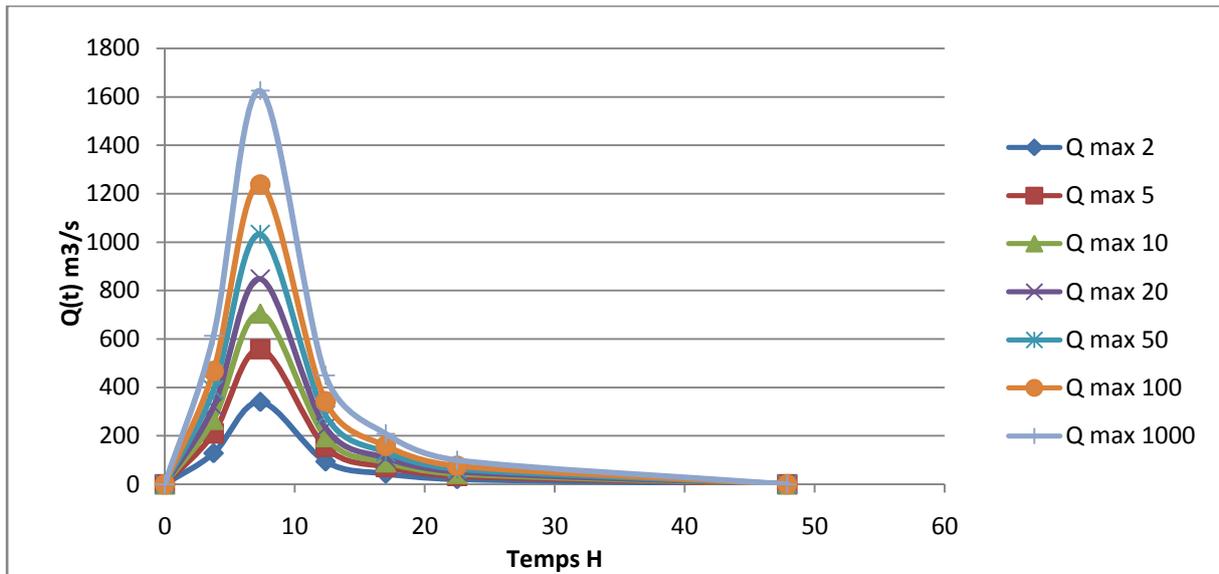


Fig. N° 28 - L'hydrogramme de crues SB4

6.5 Conclusion

Les caractéristiques des crues du bassin du M'Zab, et notamment les débits et les volumes, ont été évalués par plusieurs méthodes analogiques avec d'autres régions semblables dans le monde. Pour le M'Zab nous avons évalué sur la partie amont (exutoire Daya Ben Dahua) les volumes : $V_{10}=11 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, $V_{100}= 18.2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, $V_{1000}= 25.3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Par l'effet d'infiltration rapide et l'évaporation intense, ces volumes vont subir des abattements de l'ordre de 80% pour atteindre l'exutoire de Sebkheth Sefioune, ces volumes deviendront : $V_{10}=3.8 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, $V_{100}= 6.4 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, $V_{1000}= 8.8 \cdot 10^6 \text{ m}^3$.

Les hydrogrammes des crues établis permettent de voir l'évolution des crues dans le temps et leur réponse hydrologique et leur capacité pour chaque période de retour.

Finalement, une évolution plus ou moins variée a permis de fixer les valeurs des crues qui traversent la ville de Ghardaïa ont permis de dimensionner les ouvrages proposés pour protéger la ville contre les inondations.

6.6 Calcul du débit max de la crue d'Octobre 2008

6.6.1 Introduction

A l'aube du 1^{er} octobre 2008, et suite à une averse de 23 mm (Ghardaïa ONM) et 40.89 mm (Hassi Rmel, L'amont de Oued Labiodh), une importante crue dévastatrice s'en est suivie sur l'oued M'Zab. L'écoulement a débordé les berges inondant tout ce qui est avoisinant comme constructions et autres :

- Les ponts ont été totalement submergés.
- La hauteur d'eau dans l'oued au centre la ville de Ghardaïa a atteint 9 mètres.
- Les écoulements sont charriés des fortes masses solides.
- plusieurs endroits qui se trouvent au bas lit d'oued ont été submergés, les raisons sont pour lesquelles il a été enregistré plusieurs pertes humaines.



Photo N° 1 - le lit majeur de crue (crue octobre 2008)

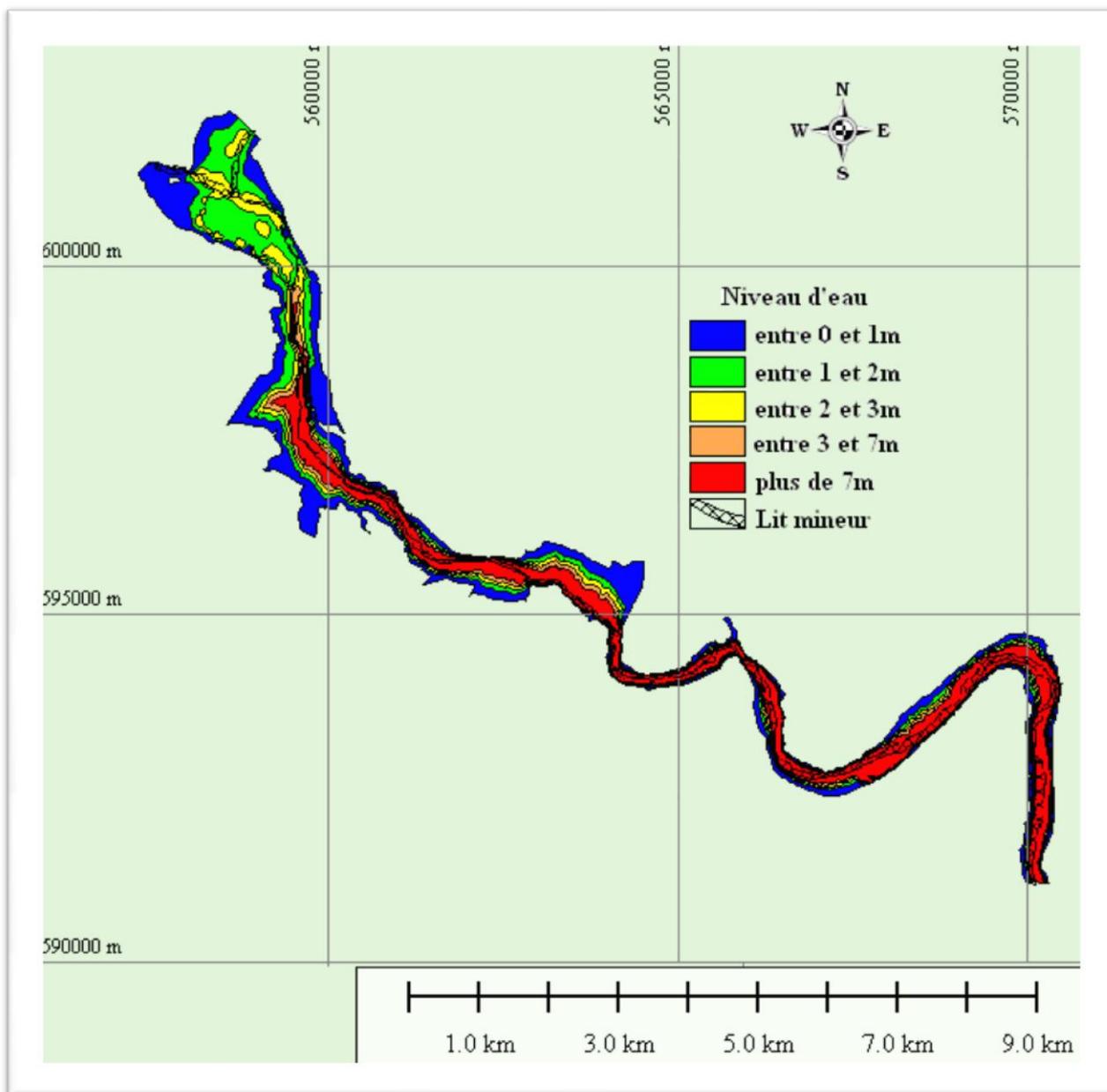


Fig. N° 29 - la crue d'octobre 2008 dans la vallée du M'Zab selon le niveau d'eau

6.6.2 Etude synoptique

L'analyse des images satellitaires en infrarouge durant la période allant du 30 septembre au 1^{er} octobre 2008 (figures N° 30 et N° 31) montre une masse nuageuse convective qui englobe le Sahara central, le Nord Sahara et l'Atlas Saharien, persistant durant toute cette période. Le suivi de l'évolution des nuages montre bien leur concentration sur la région de Hassi R'mel et le Sahara central où l'on enregistré 21mm à la station d'Adrar. [12]

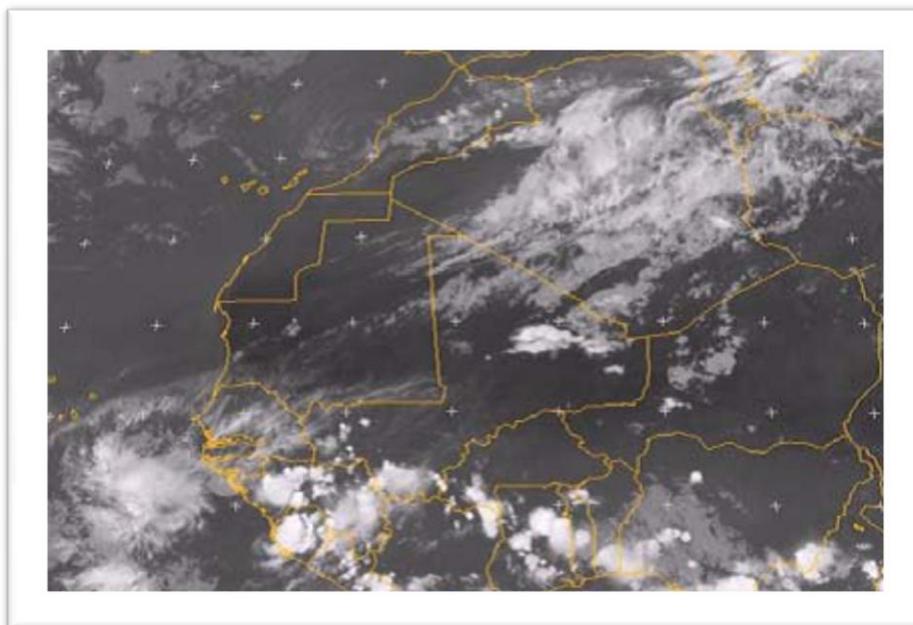


Fig. N° 30 - Image satellite du 30 /09/2008 (ONM.2009)

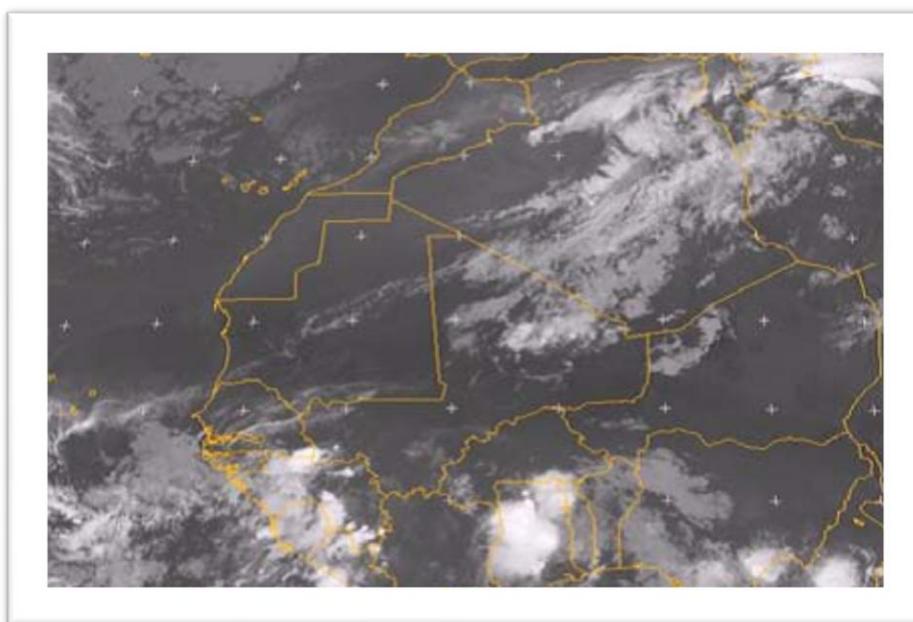


Fig. N° 31 - Image satellite du 01 /09/2008 (ONM.2009)

6.6.3 Situation en surface

La situation en surface a été caractérisée par des pressions moyennes sur le Sahara Central avec extension d'un couloir dépressionnaire vers le nord du Maroc, favorisant des

remontées d'air chaud, d'où la présence de la limite frontale séparant les deux masses d'air.
[12]



Fig. N° 32 - Situation en surface du 30/09/2008

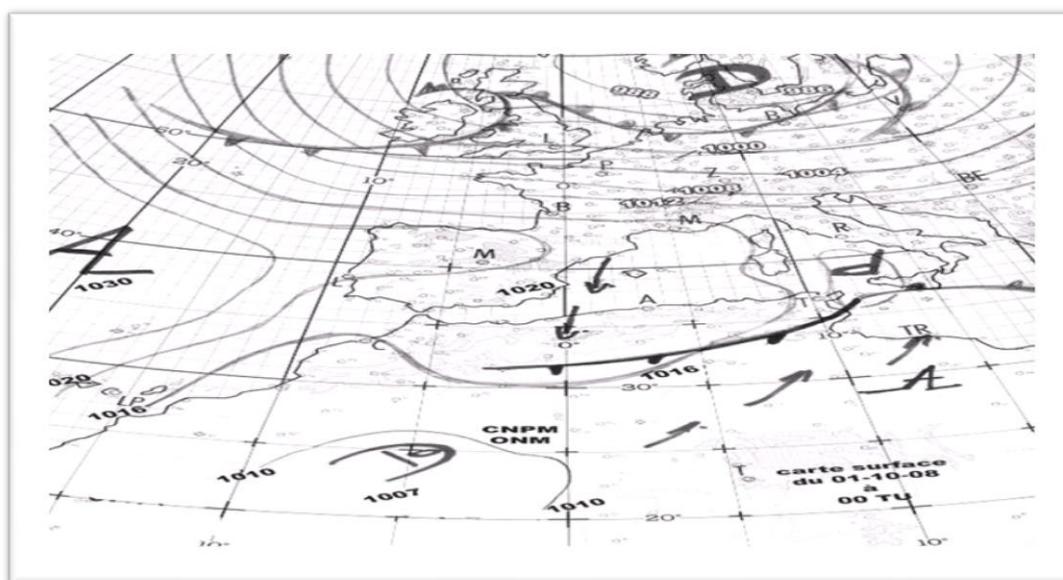


Fig. N° 33 - Situation en surface du 01/10/2008

6.6.4 L'application de la formule de Manning-Strickler dans Le calcul du débit max

Le calcul du débit max se fait avec la formule de Manning-Strickler sur une section au niveau des différents points de calcul.

6.6.4.1 Conditions d'application de la formule de Manning – Strickler

L'utilisation de la formule du type Manning – Strickler nécessite :

- Une section transversale régulière.
- Des alignements droits.
- Des zones où le lit du cours d'eau est unique.

Pour éviter que le débit calculé soit modifié.

6.6.4.2 Relevé de laisses de crue

Le relevé de laisses de crue consiste à identifier sur le terrain les traces physiques laissées par les eaux après la crue.

Les levés servent par la suite à délimiter les zones inondées.

Cette évaluation est bien sûr peu précise mais permet d'obtenir rapidement un ordre de grandeur.

Dans la mesure du possible, il est relevé un repère de crue sur chaque rive de manière à recouper l'information.[9]

Sur terrain, nous avons effectué le relevé de trois sections transversales pour pouvoir comparer les résultats obtenus à partir de chaque section.

La formule s'écrit comme suit :

$$Q_{\max} = K * R_h^{0,66} * I^{0,5} * S_m$$

Avec,

$$R_h = S_m / P_m$$

Où,

Q : est le débit max traversant la section (m³/s).

K : le coefficient de rugosité = $\frac{1}{n}$ (dépend de la nature du lit du cours d'eau).

R_h : rayon hydraulique (m).

I : la pente du terrain.

S_m : la section mouillée (m²).

P_m : périmètre mouillé en mètre.

6.6.4.3 Calcul du débit en différents sections sur L'Oued M'Zab

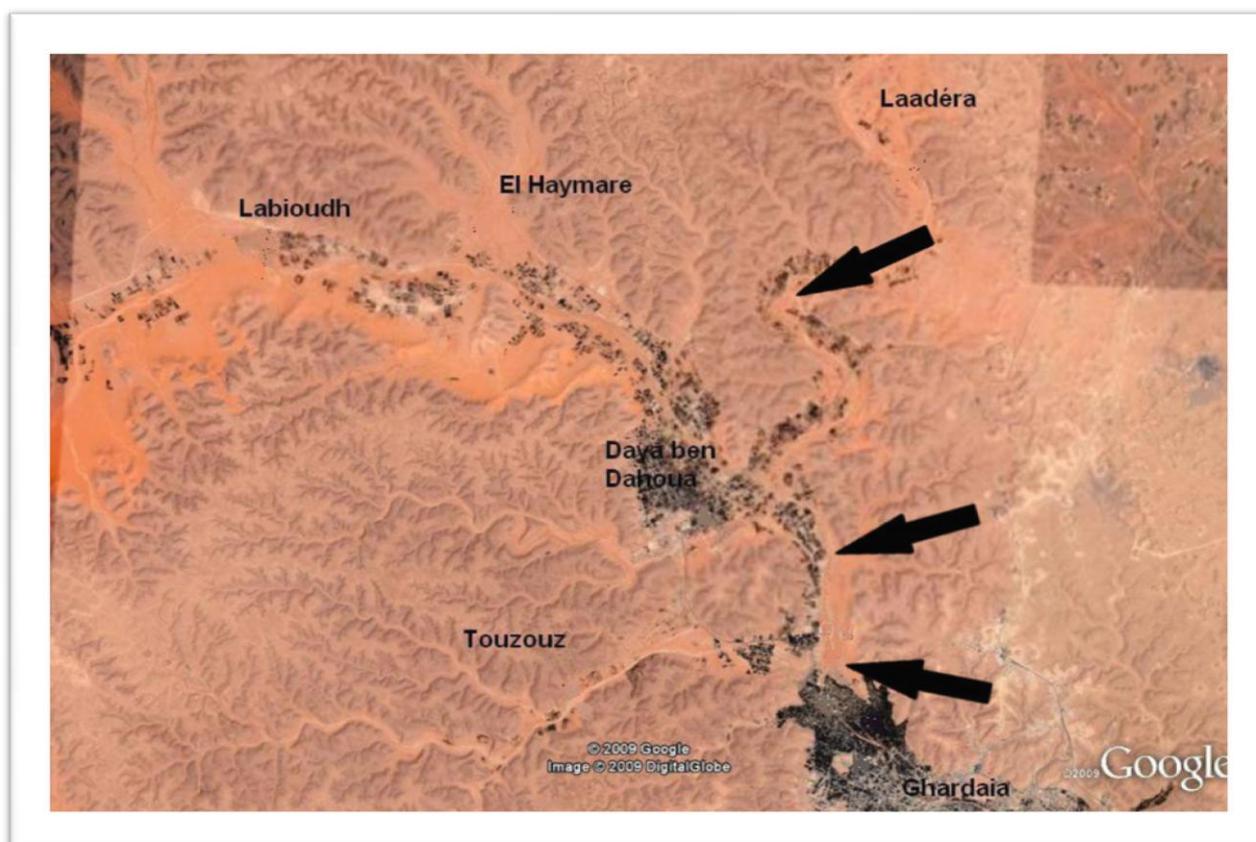


Photo N° 2 – Les différentes sections des mesures.

A. Section d'Oued Laadira

Détermination des paramètres :

Largeur (m)	Altitude (m)
0	555
50	554
100	553
150	553
200	552
250	553
300	553
350	551
391	555

Tab N° 42 - Largeur d'Oued p/p leur altitudes.(Laadira)

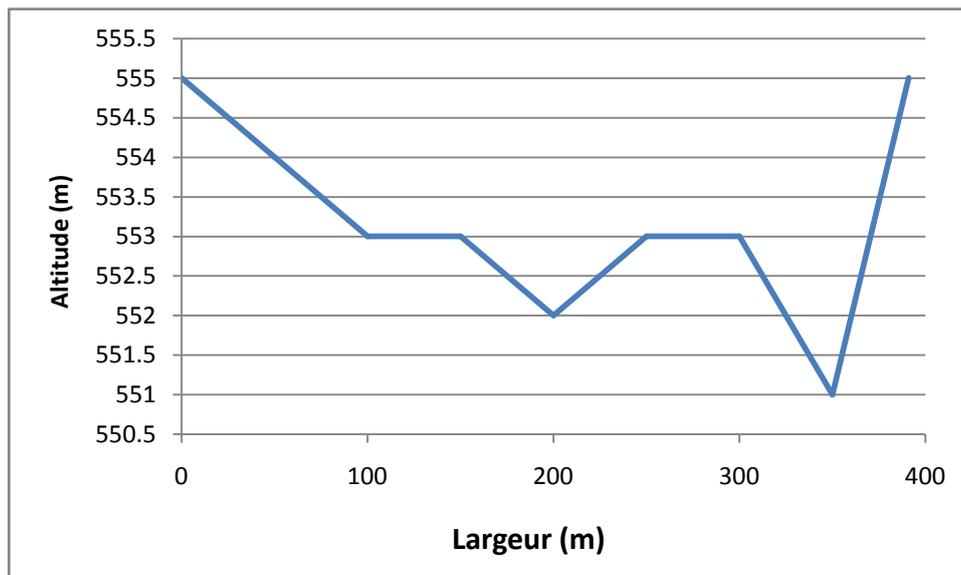


Fig. N° 34 - profile en traves d'oued Laadira

Donc ;

$S_m = 801 \text{ m}^2$ et $P_m = 444 \text{ m}$ $\Rightarrow R_h = 1.8 \Rightarrow I = 0.0009$.

$K = 30$.

$Q_{\text{max}} = 1062.5 \text{ m}^3/\text{s}$.

B. Section de Mlaga (Oued laadira et Oued boubrik)

Largeur (m)	Altitude (m)
0	525
96	521
146	517
216	519
266	521
296	525

Tab N° 43 - Largeur d'Oued p/p leur altitudes.(Mlaga)

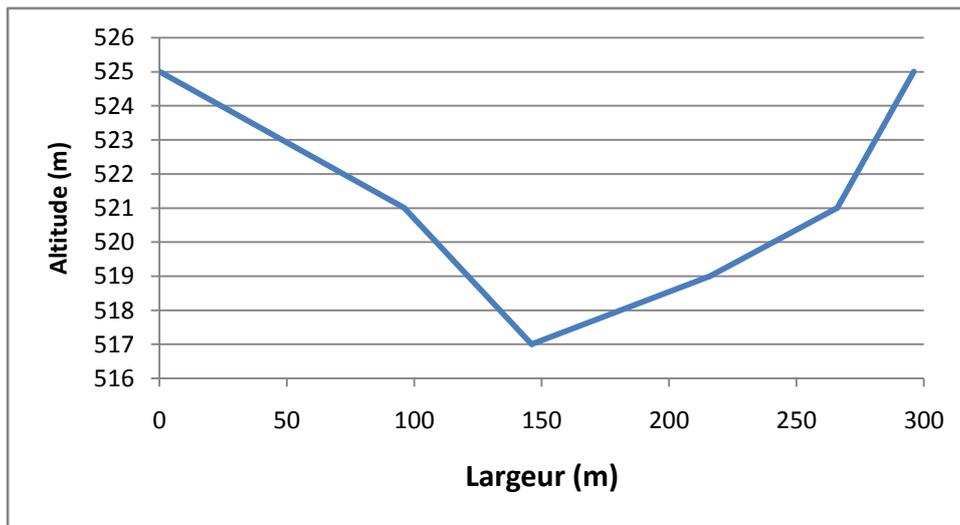


Fig. N° 35 - profile en traves d'oued Mlaga

Donc ;

$$S_m = 1292 \text{ m}^2 \text{ et } P_m = 326 \text{ m} \Rightarrow R_h = 3.9 I = 0.002.$$

$$K = 30.$$

$$Q_{\text{max}} = 1181.5 \text{ m}^3/\text{s}.$$

C. Section d'entrée de la palmeraie

Grace aux laisses de crue sur les murs des maisons, et aux levées topographiques, la section mouillée S_m a pu être calculée en découpant la forme géométrique de la section en plusieurs rectangles facilement calculable. Elle est estimée à 720 m^2 .

Le rayon hydraulique R_h est égal au rapport de la section mouillée au périmètre mouillé, le périmètre mouillé a été calculé à l'aide d'AUTO CAD, et égale à 280m.

$$D'où : R_h = 2,57 \text{ m}.$$

La pente géométrique, I , est égale à 0,002.

Le coefficient de rugosité de l'Oued M' Zab a été estimé par BG a : $K = 23$

Le débit max au niveau de l'entrée de la palmeraie est égal à :

$$Q = 1355,86 \text{ m}^3/\text{s}$$

6.6.5 Détermination des zones inondables

Cette étape demande une vaste connaissance en hydrologie, parce qu'on ne peut pas étudier ou bien aménager un Oued sans déterminer son bassin versant, ces affluents, son sens d'écoulement...

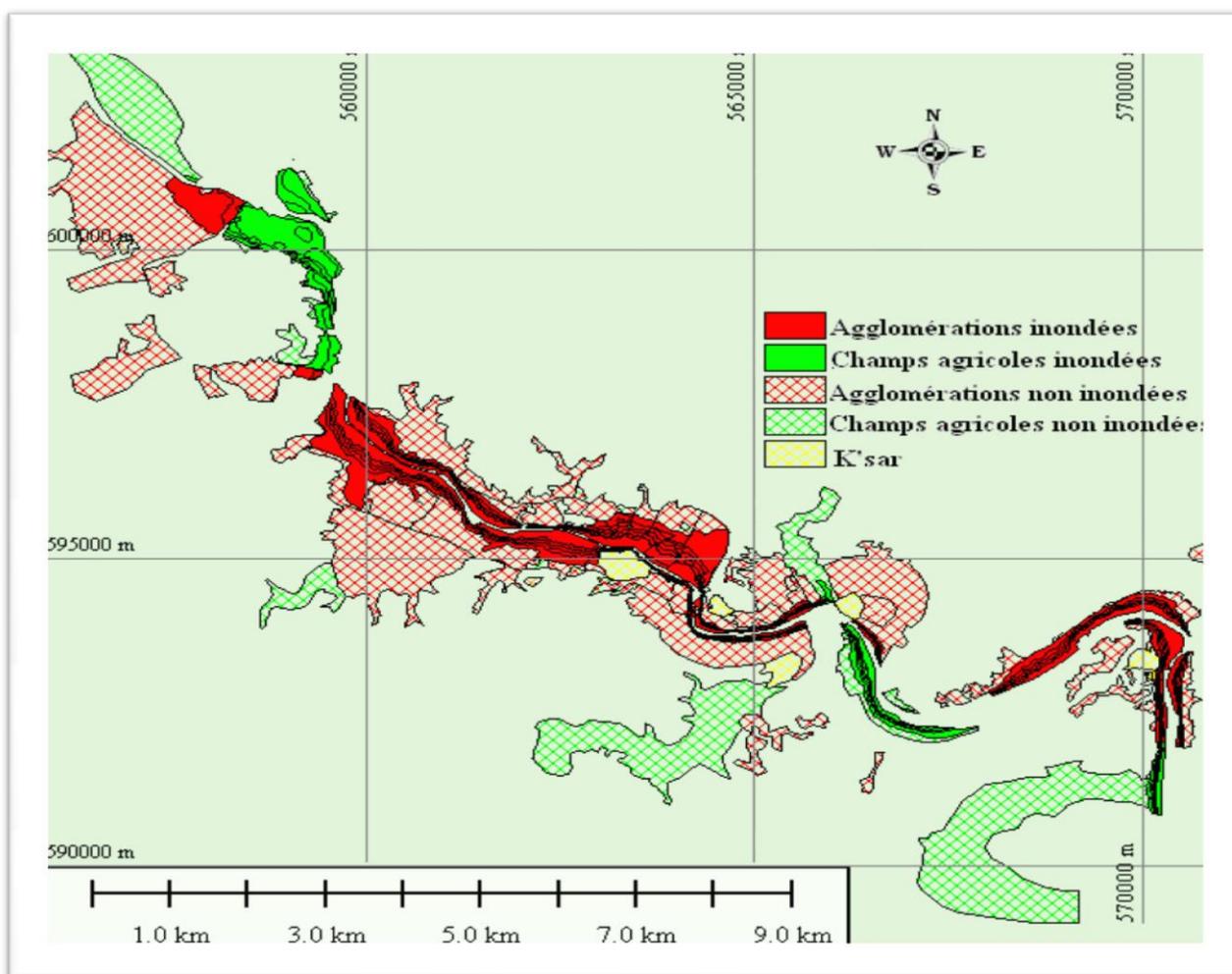


Fig. N° 36 - Carte des zones inondables d'après la crue d'octobre 2008 dans la vallée du M'Zab (SIG)

CHAPITRE 07 - CORRELATION PLUIES- DEBITS

7.1. Introduction

L'objectif de la modélisation Pluie-Débit est de représenter de façon simplifiée une réalité complexe de cette relation. Deux étapes sont considérées pour reconstituer le trajet de l'eau de pluie à l'exutoire :

- La production qui assure le passage de la pluie brute en une partie infiltrée et une partie ruisselée ou pluie nette
- Le transfert qui représente l'acheminement de la pluie ruisselée à l'exutoire de l'unité hydrologique considérée.

Nous avons évoqué à plusieurs reprises la possibilité de calculer les modules des débits d'inventaire des crues qui touchent la ville de Ghardaïa à partir de résultats d'étude des débits maximales de chaque sous-bassins ruisselées sur le bassin du M'Zab, et les pluies journalières fréquentielles a différentes périodes de retours.

7.2. Calcul de débits maximums de différentes périodes de retour

Les débits maximums à différentes périodes de retour ont été évalués par différentes méthodes analogiques. Dans le tableau ci-dessous nous reportons la maximales des estimations sur la section de Dhayet Ben Dhahoua et la section d'El Atteuf, Hssei a Zelfana et Sebkhet Sefioune, Ouargla.

Débit max	Pj fréq (mm)	D b dahua	L'ateuf	Hssei ,zelfana	Sebkhet sefioune, Ouargla
$Q_{\max 2} (m^3/s)$	18,26	177,6	191,4	250,6	340,1
$Q_{\max 5} (m^3/s)$	30,51	296,9	319,8	416,5	556,7
$Q_{\max 10} (m^3/s)$	38,64	376,0	405,1	527,4	705,1
$Q_{\max 20} (m^3/s)$	46,44	451,6	486,4	633,4	847,4
$Q_{\max 50} (m^3/s)$	56,53	549,9	600,2	771,2	1031,6
$Q_{\max 100} (m^3/s)$	64,11	688,9	749,9	958,8	1237,8
$Q_{\max 1000} (m^3/s)$	89,04	866,6	933,4	1 210,6	1624,8

Tab N° 44 - Débits max de crue pour différentes périodes de retour

7.3. Fondation de la relation pluie-débit

Cependant nous avons cherché la relation entre la pluie journalière et les débits. Le meilleur ajustement correspond à l'équation suivante :

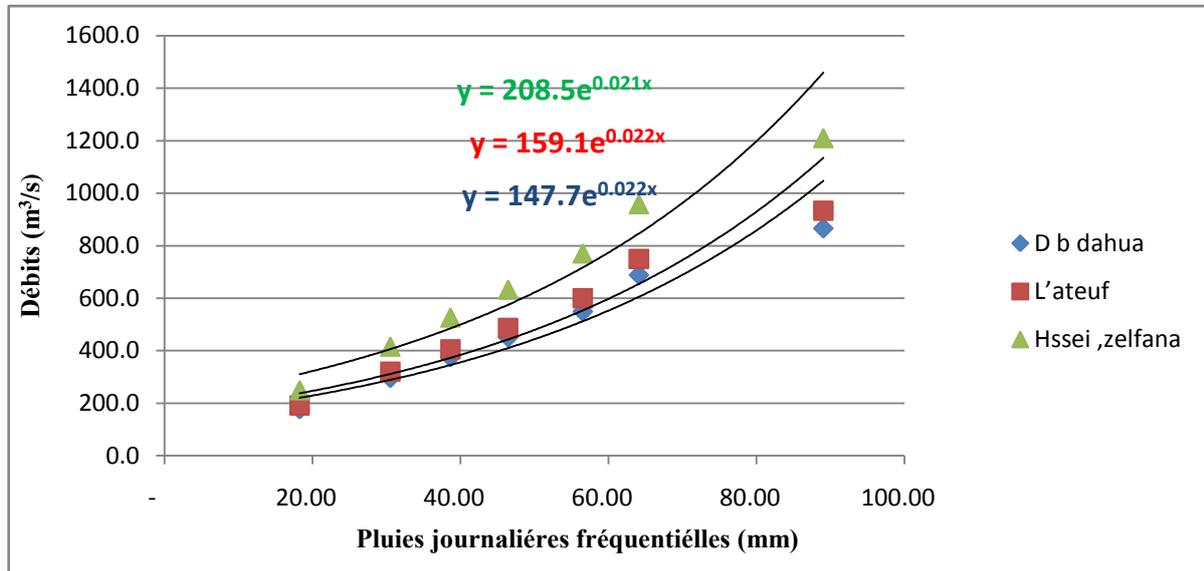


Fig. N° 37 – Pluies journalières fréquentielles en fonction des débits

Le meilleur ajustement correspond à l'équation suivante (Fig. N° 37) :

- Pour la section de Dayat Ben Dahoua. : $Q_{\max} \text{ (m3/s)} = 147.79 e^{0.022 * P_j}$
- Pour la section de El Ateuf : $Q_{\max} \text{ (m3/s)} = 159.17 e^{0.0221 * P_j}$
- Pour la section de El Hssei-zelfana : $Q_{\max} \text{ (m3/s)} = 208.56 e^{0.0218 * P_j}$

7.4. L'application de ces équations sur l'inventaire des crues

L'application de ces équations sur l'inventaire des crues de la ville de Ghardaïa dans la section de Dhayet Ben Dhahoua et la section d'El Ateuf, Hssei a Zelfana et Sebkheth Sefioune, Ouargla, donne :

Date de crue	PJ (mm)	D B dahua	Ateuf	Hssei - Zelfana
14-avr-75	24	250,58	270,53	351,93
14-mars-77	8	176,23	189,95	248,30
14-mai-78	11	188,25	202,97	265,08
17-oct-84	20	229,47	247,64	322,54
30-oct-84	27	267,68	289,07	375,71
mai-90	8	176,23	189,95	248,30
juin-90	3	157,87	170,08	222,66
nov-90	16	210,14	226,69	295,61
02-juin-91	18	219,60	236,93	308,78
sept-93	6	168,64	181,74	237,70
15-mars-94	10	184,16	198,54	259,36
sept-95	32	298,81	322,85	418,98
mars-96	16	210,14	226,69	295,61
08-avr-97	51	453,86	491,31	633,99
02-oct-97	30	285,94	308,89	401,11
déc-97	11	188,25	202,97	265,08
15-janv-99	25	256,16	276,57	359,68
24-déc-99	19	224,48	242,23	315,58
07-oct-00	16	210,14	226,69	295,61
22 AOUT 2002	8	176,23	189,95	248,30
25-nov-02	10	184,16	198,54	259,36
mars-03	44	389,08	420,89	544,26
janv-04	30	285,94	308,89	401,11
avr-04	41	364,23	393,89	509,80
AOUT2004	30	285,94	308,89	401,11
01-oct-08	40,89	363,35	392,93	508,58

7.5. Conclusion

Cependant, les équations que nous avons utilisées pour calculer les débits maximales donnent des bons résultats, mais dans le cas de crue de 01 octobre 2008, la valeur résultant est différent à la valeur réelle qui a dépassé 1350 m³ dans le centre-ville. La pénurie des données pluviométriques réelles des pluies journalières dans la ville de Ghardaïa et l'extrémité de la station météorologique de la vallée pose un réel problème pour la fiabilité des résultats

CONCLUSION GENERALE

Dans le cadre de la préparation du mémoire de fin d'étude, nous avons essayé de réaliser une étude statistique et hydrologique des précipitations et crues sur la vallée du M'Zab dans la wilaya de Ghardaïa, cette étude destinée à la détermination des régimes pluviométriques et le régime des écoulements provoquant les dégâts.

Le climat de la région de Ghardaïa et Oued M'Zab est caractérisé par une température moyenne annuelle de 22 °C et une Humidité d'air atteint 60% en décembre, les vents les plus fréquents ont une direction Sud-ouest. Les précipitations moyennes annuelles à Ghardaïa sont de l'ordre 40 à 70 mm, et la période pluvieuse va d'octobre à avril, avec quelque pluie exceptionnelle à juin.

L'accès d'une étude hydrographique accompagnée par l'étude hydrologique de bassin versant du M'Zab nécessite l'abondance des informations hydrologiques, la présence de travaux sur l'hydrologie saharienne d'une manière générale et de la vallée du M'Zab en particulier qui rendent l'étude beaucoup plus simple et successive.

L'analyse statistique des précipitations de la région démontre que la série des pluies journalières s'ajuste mieux à la loi de Gumbel et la loi de Galton. Les hauteurs de pluies journalières de fréquence décennale, centennale et millénaire ainsi déduits par la loi de Gumbel sont respectivement : 38 mm, 64 mm et 78 mm.

Les résultats de différentes méthodes régionales utilisées dans l'évaluation des débits, nous a conduit à choisir la méthode de Rodier-Auvray (1988), car elle intervenir les caractéristiques morphologiques et la pluviométrie du bassin versant pour la construction des hydrogrammes des crues qui permettent de voir l'évolution des crues dans le temps et leur réponse hydrologiques et leur capacité pour chaque période de retour à travers les divers exutoires : Daya Ben dahua et L'Ateuf à Ghardaïa - Hssei Zelfana - Sebkhet Sefioune a Ouargla .

L'étude a été accompagnée par un essai de corrélation pluie-débits. Cette essai à montrer que l'évolution des débits ruisselées par rapport aux pluies journalières fréquentielles suite une modèle exponentielle. Ce modèle permettre la détermination des débits antérieurement récentes qualitativement.

L'étude hydrologique n'est jamais définitive, en effet dans le temps il ya toujours un ajout de données qui vas modifies les impressions et les conclusions. Dans cette perspective est pour améliorer cette étude on propose les recommandations suivantes :

- L'installation des stations météorologiques dans les localités de la vallée du M'Zab.
- L'installation des stations hydrométriques au niveau des exutoires de la vallée du M'Zab.
- Refaire une étude plus détaillée surtout après l'installation des barrages qui sont modifié totalement le régime des écoulements dans le lit de la vallée du M'Zab

Toutefois, nous espérons que cette présente étude fruit de toute une formation soit un travail de base qui est sujet à réflexion et amélioration afin qu'il soit bénéfique.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1- Résumé - CHAPITRE 3 : LES PRECIPITATIONS- PDF.
- 2- ROCHE.GAUTHIER - hydrologie de surface. Villars éditeur- Paris 1963.
- 3- Mr BENADDA Lotfi - les conditions climatiques – Ghardaïa 2012 - DOC.
- 4- Dossier d'information .risque naturels majeurs.les inondations - étudié par le ministère de l'écologie et de développement durable - France - Aout 2004.
- 5- Etude de ROCHE BG.1996.
- 6- JOSE LIAMAS - hydrologie de surface.- GAÏTAN MORIN éditeur – 1964.
- 7- J.P. LABORDEE - ELEMENTS D'HYDROLOGIE DE SURFACE - édition 2000- PDF.
- 8- Etude d'assainissement et de protection contre les crues d'oued M'Zab - Etude d'impact - Association BG-ENHPC - juin 2000.
- 9- Melle.SAOUCHA Lamia - Thèse : Etude de faisabilité d'une digue sur oued Laadhira Ghardaïa (ENP) - Octobre 2009.
- 10- Y. COPIN, F. COUTYETJ.-N. CRETENET - Traitement des eaux usées Avant-Projet Détaillé - Etudes d'assainissement et de protection contre les crues de l'oued M'Zab - 10 février 2000.
- 11- M OULEDBELKHIR Cheikh - Thèse : contribution à l'étude et l'établissement du bilan hydrologique de la cuvette d'Ouargla - Septembre 2002.
- 12- A MEDEJARAB – Les inondations catastrophiques de mois d'octobre 2008 à Ghardaïa. Algérie - Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene – 2009.