

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 de la nature et de la vie et des sciences de la terre
Département de Biologie

**Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de
MASTER**

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Hydraulique

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

Par :

RAHALI Oussama

Thème

**L'IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR
LE REGIME PLUVIOMETRIQUE DE LA VILLE DE
GHARDAÏA**

Période (1970-2014)

Soutenu publiquement le : 28/05/2015

Devant le jury :

M. Lotfi BENADDA	Maître Assistant A	Univ. Ghardaïa	Président
M ^{me} . Rekia AMIEUR	Maître Assistant A	Univ. Ghardaïa	Examinatrice
M. Lakhdar CHEBIHI	Maître Assistant A	Univ. Ghardaïa	Examineur
M. Cheikh OULED BELKHEIR	Maître Assistant A	Univ. Ghardaïa	Encadreur

Année universitaire 2014/2015

Remerciements :

Je remercie ALLAH de m'avoir prêté vie et volonté pour achever ce travail.

Je tiens tout d'abord à exprimer mes remerciements les plus sincères à Monsieur OULED BELKHAIR, qui a encadré ce mémoire de fin d'étude, pour ses efforts fournis afin de mener à bien ce projet.

Je veux témoigner mon immense gratitude à Monsieur LGHOUINI Ayoub et je tiens à le remercier pour sa grande disponibilité ainsi que pour ses nombreux conseils, à lui exprimer tout ma reconnaissance pour sa bonne humeur, sa gentillesse et patience.

Je remercie également les membres du jury : Mr Lotfi BENADDA, Mr Cheikh OULED BELKHEIR, Mme Rekia AMIEUR et Mr Lakhdar CHEBIHI pour avoir pris la peine d'évaluer ce modeste travail.

Mes plus sincères remerciements vont également à ma famille pour leurs encouragements et conseils.

Je ne souris oublier tous mes amis, en particulier : Dr.Walid, et Mr.Redouan qui ont su m'encourager et me soutenir

Dédicaces

A ceux qui étaient la cause de mon existence

A ceux qui leur réjouit mon sourire et leur vénère mon succès

A ceux qui étaient toujours là pour moi, et ils continuent à être là

A ceux qui sont la lumière de mes yeux, la lueur de mon chemin et, l'éclat de
ma réussite

A mes parents, qui sont toute ma vie, que Dieu les gardes pour moi.

A toute ma famille (Bahi, Assia, Yassin, Naserddin, Aicha, Lakhder, Soulafe,
Mounira, hadjer, kaouther), qui ont complété ma vie.

A toi Ayoub et à toute ta famille, que Dieu te garde pour moi.

A toute ma famille (RAHALI, BAGUI, DRAOUI, LOGHOUI, CHACHOUA, BRIHMAT, HOUTIA et DAHAN).

A mes oncles, à mes tantes et mes cousins.

A mes neveux et nièces du plus grand au plus petit.

A mes très chers amis : Walid, Redouan, Yacine.L, Taher, Sofien, A.halim

A tous mes amis qui sont si nombreux, et m'ont envahi de bonheur.

A mes camarades de classe ; on a formé un groupe très solidaire.

A tous ceux qui aiment faire le bien, et aider les gens

A tous ceux qui souffrent et espèrent une meilleure vie, que Dieu soit avec eux.

A toute personne qui va lire cette thèse.

A toutes ces personnes je dédie ce modeste ouvrage.

Résumé

L'étude de la variabilité climatique a une grande importance pour la gestion et la planification des ressources en eau. Ce travail traite la variation du régime pluviométrique sur la région du M'Zab, ainsi que l'impact du changement climatique sur ce régime. Les séries chronologiques des pluies utilisées à cet effet sont ceux de la période 1970-2014. L'application des méthodes d'ajustement et les tests statistiques de tendances ont permis de mettre en évidence une variabilité climatique caractérisée par des longues périodes de sècheresse, alternées a des rares périodes pluvieuses. Ce travail constitue une base indispensable pour une meilleure connaissance du régime pluviométrique de la région.

Mots-clés : variabilité climatique, séries chronologiques, tendances et ruptures, tests statistiques, de la vallée de M'Zab

Abstract

The study of weather changes of the most important factors that help the good and rational management of water resources. This work is studying a series of loss for rain gutter area in a specific period, and how it impacted on the region of M'Zab. From 1970 to 2014, which is the length of which was extracted precipitation series. The application of a set of statistical operations and revisionism, we extracted the large climate changes that touched the area of dry periods.

In addition, a large set of data in this work made us know well on climate change and periods experienced by the region in the period this topic.

Keywords: weather changes, series, statistical operations, climate change, region of M'Zab

الملخص:

تعتبر دراسة تغيرات الاحوال الجوية من أهم العوامل التي تساعد على التسيير الجيد والعقلاني لموارد المياه. هذا العمل يقوم بدراسة سلسلة من تساقط الامطار الخاصة بمنطقة ميزاب في مدة زمنية محددة، وكيف تأثر على المنطقة. من 1970 الى 2014 هي المدة التي استخرجت منها سلسلة التساقطات. بتطبيق مجموعة من العمليات الاحصائية والتعديلية، نقوم باستخراج التغيرات الكبيرة المناخية التي مست المنطقة من فترات الجفاف.

وجود مجموعة كبيرة من البيانات في هذا العمل جعلنا نتعرف جيدا على التغيرات المناخية وفترات التي مرت بها المنطقة في هذه المدة.

الكلمات المفتاحية: منطقة ميزاب، أمطار، دراسة، إحصائية، مناخية.

Table des Matières

REMERCIEMENTS :	A
DEDICACES.....	B
RESUME	C
TABLE DES MATIERES	I
LISTE DES FIGURES :	IV
LISTE DES TABLES.....	V
INTRODUCTION GENERALE.....	V

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 Correction des données.....	4
1.1.5 Analyse des données pluviométriques et le choix du type de loi d’ajustement.....	7
1.1.6 Teste d’ajustement	11
1.1.8 Calcul des précipitations en fonctions de fréquences.....	13

CHAPITRE 02 : PRESENTATION DE LA REGION D’ETUDE

2.1 Aspect Géologique et relief	15
2.2 Aspect Géomorphologique.....	15
2.3 Présentation géographique de la zone d’étude.....	18
2.4 Les activités dans la vallée du M’Zab	19
2.5 Carte d’occupation des sols de la vallée du M’zab	19

CHAPITRE 03 : ENVIRONNEMENT CLIMATOLOGIQUE

3.1 Etudes climatiques de la région	21
3.1.1 Température... ..	21
3.1.2 L’humidité relative	24

3.1.4 Le vent et le sirocco.....	25
3.2 Etude des précipitations	26
3.2.1 Introduction.....	26
3.2.2 L'Origine de précipitation.....	27
3.2.4 Précipitation Moyenne annuelle	28
3.2.5 Pluies journalières.....	32
3.2.6 Moyennes mensuelles des précipitations.....	35
3.2.7 Répartition des pluies journalières durant la période 1970-2014	36
3.2.8 Indice xérothermique de Bagnouls et Gausсен (Ix)	38
3.2.10 Les inondations les plus importantes qui ont touché la région dans la période 1970-2014	39
3.2.12 Corrélation pluie journalière –débit (cas 01 octobre 2008)	41

CHAPITRE 04 - ETUDE STATISTIQUE ET DETERMINATION DE REGIME

PLUVIOMETRIQUE

4.1 Introduction.....	42
4.2 Analyse de la précipitation	42
4.2.1 Précipitations maximales journalières.....	42
4.3 Analyse des données statistiques.....	43
4.4 Choix de la loi d'ajustement.....	44
4.4.1 Ajustement de la série pluviométrique à la loi de Normal.....	44
4.4.2 Ajustement de la série pluviométrique à la loi de Galton (Log Normal)	45
4.4.3 Ajustement de la série pluviométrique à la loi de Gumbel	46
4.5 Interprétation des graphes	47
4.6 Test de χ^2	47
4.8 Le régime pluviométrique.....	49
4.8.1 Calcul des précipitations en fonctions de fréquences.....	49
4.8.2 Pluies de courtes durées	49
4.8.3 Intensités maximales de courte durée.....	50
4.8.4 Construction des courbes IDF	51
CONCLUSION :	52
ABREVIATION	61

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUES62

Liste des figures :

Figure 1. 1 pluviomètre	4
Figure 1. 2 pluviographe a augets basculeurs et pluviographe a siphon	4
Figure 1. 3 Ajustement graphique a la loi de Gumbel [7]	10
Figure 1. 4 Ajustement graphique Loi de Galton [7]	11
Figure 1. 5 Représentation schématique des courbes IDF	14
Figure 2. 1 Paysage géomorphologique du M'zab.....	16
Figure 2. 2 Schéma montre la pente du terrain et la vallée du Mzab chef de Hassi R'Mel à la ATTEF.....	17
Figure 2. 3 Limites de la vallée de l'oued M'zab [05]	18
Figure 2. 4 Répartition des surfaces d'occupation des sols.....	20
Figure 2. 5 Carte d'occupation des sols dans la vallée du M'zab (ACHOUR M. / 2013)	20
Figure 3. 1 Variation de la température mensuelle moyenne	22
Figure 3. 2 la variation mensuelle des températures moyennes extrêmes (maximas et minimas) de, Ghardaïa	23
Figure 3. 3 la rose des vents.....	25
Figure 3. 4 Carte des isohyètes (J. Dubief, 1953)	26
Figure 3. 5 Histogramme représente les cumules annuelles avec la pluie journalière maximal.....	29
Figure 3. 6 Graphique des cumuls pluviométriques annuels pour la série de Ghardaïa (1970-2014).....	30
Figure 3. 7 Carte pluviométriques moyenne annuels (J. Dubief, 1969)	31
Figure 3. 8 nombre de pluies journaliaires de la période 1970-2014.....	32
Figure 3. 9 Totaux annuels moyens des pluies supérieures à 5 mm en 24 heures (Dubief, 1959).....	33

Figure 3. 10 Totaux annuels moyens des pluies supérieures à 10 mm en 24 heures (Dubief, 1959).....	34
Figure 3. 11 Totaux annuels moyens des pluies supérieures à 20 mm en 24 heures (Dubief, 1959).....	34
Figure 3. 12 la répartition des hauteurs moyennes mensuelles de la précipitation	35
Figure 3. 13 Répartition des mois les plus pluvieux de l'année (Dubief. 1963)...	35
Figure 3. 14 Graphique en nuances de couleurs des précipitations mensuelles inter annuelles de Ghardaïa pour la période de (1970-2014).....	36
Figure 3. 15 Diagramme ombrothermique	38
Figure 3. 16 Inondations du 20 Juin 1991 à Ghardaïa.....	40
Figure 3. 17 L'inondation du 01 octobre 2008 à Ghardaïa.....	40
Figure 4. 1 Ajustement graphique d'une loi de Normal	45
Figure 4. 2 Ajustement graphique d'une loi de Galton	46
Figure 4. 3 Ajustement graphique d'une loi de Gumbel.....	47
Figure 4. 4 Courbe IDF « Intensité – Durée – Fréquence ».....	51

Liste des tables

Table 1. 1 La table correspond aux valeurs de μ positive [1]	9
Table 1. 2 Test W_n^2 d'Anderson.....	12
Table 3. 1 Station pluviométriques de Ghardaïa.....	21
Table 3. 2 Température moyenne mensuelle et annuelle.....	21
Table 3. 3 Température extrême	22
Table 3. 4 Valeurs caractéristiques de la température mensuelle.....	23
Table 3. 5 Calcul de l'amplitude thermique de la station de Ghardaïa.....	24
Table 3. 6 L'humidité moyenne mensuelle et annuelle (station de Ghardaïa)	24
Table 3. 7 Vitesse moyenne du vent à la station de Ghardaïa.....	25

LISTE DES TABLES ET DES FIGURES

Table 3. 8 caractéristiques de la station pluviométrique de Ghardaïa	28
Table 3. 9 Précipitations moyennes annuelles	28
Table 3. 10 Précipitations moyennes mensuelles	35
Table 4. 1 Pluies journalières maximales observées à Ghardaïa (1970-2014)	43
Table 4. 2 Test de χ^2 appliqué sur la série des pluies (Normal)	47
Table 4. 3 Test de χ^2 appliqué sur la série des pluies (Galton).....	48
Table 4. 4 Test de χ^2 appliqué sur la série des pluies (Gumbel).....	48
Table 4. 5 Pluies journalières maximales fréquentielles.....	49
Table 4. 6 Pluies de courtes durées pour différentes périodes de retour.....	50
Table 4. 7 Intensités maximales de durée t (h) et de période de retour T (an)	51

Introduction générale

Le changement et la variabilité climatique ont connu depuis longtemps, un intérêt manifeste de la part des hydrologues. Les conséquences de ces phénomènes sur l'activité humaine en générale et les ressources en eau particulièrement sont très fortes et touchent de nombreux secteurs.

Sur la région du M'Zab, ces changements, se répercutent avec une variabilité très caractérisée qui imprime le climat durant ces derniers décennies, il se traduit par un une succession d'années sèches ou humides de durées très variables. Il entraîne, une diminution des précipitations annuelle et des périodes de sécheresse longues, alors qu'il provoque une augmentation de la fréquence des fortes inondations.

Les durées des sécheresses les plus longues observées jusqu'à maintenant, sont de 6 ans, pour des pluies d'au moins 10 mm. Là aussi, on peut avoir une idée des périodes maximales susceptibles de séparer deux crues. En saison froide, la pluie apparaît à n'importe quelle heure du jour ou de la nuit. En saison chaude, les pluies débutent souvent dans l'après-midi, le plus fréquemment entre 16 et 17 heures. Il s'agit souvent d'orages qui arrivent en cette saison de l'amont et se déplace vers le sud-est en direction de l'aval du bassin versant, avec des heures d'apparition plus précoces sur la partie amont. Il faut rappeler que ces durées maximales ne peuvent que s'allonger avec l'extension de la période d'observation. La longueur de la série d'observation est donc tout à fait déterminante sur la valeur des résultats statistiques appliqués.

L'objectif de cette étude vise à caractériser le régime pluviométrique de la région du M'Zab à travers la recherche de tendances dans les séries chronologiques disponibles sur la période 1970-2014, et à mettre en évidence l'impact du changement climatique sur ce régime. Les méthodes d'ajustement et les tests statistiques de tendances ont permis de mettre en évidence une variabilité climatique caractérisée par des longues périodes de sécheresse, alternées a des rares périodes pluvieuses à caractère exceptionnelles. Ont permis aussi de connaitre les grandeurs pluviométriques de la région et leurs fréquences probables.

En effet, ce travail s'articule sur quatre chapitres dont le premier consiste à présenter la méthodologie d'évaluation des précipitations. Ensuite une présentation de la région d'étude est présente dans le deuxième chapitre, le troisième chapitre contient

une description brève sur l'environnement climatologique de la zone étudiée. Après ça l'étude statistique et détermination du régime pluviométrique est mis en place dans le dernier chapitre.

A la fin, une conclusion générale viendra faire une synthèse des travaux effectués.

CHAPITRE 01 :
METHODOLOGIE
D'EVALUATION DES
PRECIPITATIONS

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. [05]

1.1.3 Instruments de mesure

Les différents instruments permettant la mesure des précipitations sont :

1.1.3.1 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. [06]

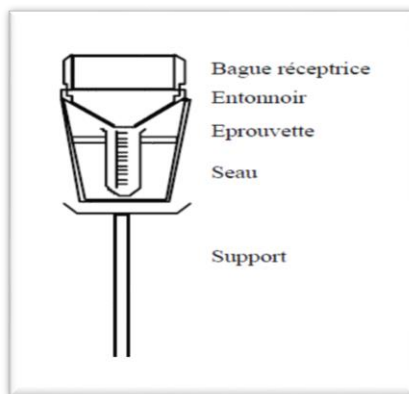


Figure 1. 1 pluviomètre

1.1.3.2 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. [05].

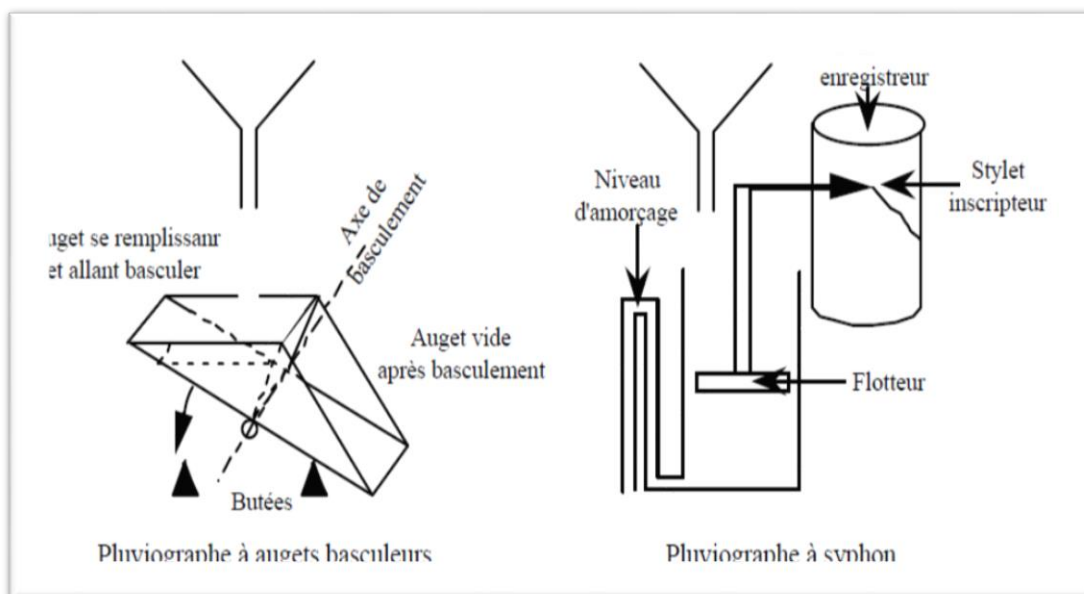


Figure 1. 2 pluviographe à augets basculeurs et pluviographe à siphon

1.1.4 Correction des données

De façon générale, pour permettre le passage de l'acquisition des données à leur utilisation effective dans le cadre d'une analyse hydrologique on distingue les étapes suivantes : acquisition, traitement, contrôle et validation, organisation, diffusion et publication.

1.1.4.1 Les étapes d'organisation

A. Acquisition des données

L'acquisition de données consiste à procéder, par le biais d'un instrument de mesure, à acquérir de l'information

B. Traitement primaire des données

La donnée acquise précédemment nécessite souvent un traitement préalable - ou traitement primaire - afin de la rendre pertinente et exploitable. Il s'agit pour l'essentiel de la conversion de la mesure effectuée en une grandeur qui soit hydrologiquement significative

Le traitement des données inclut aussi le contrôle primaire des données qui comprend les contrôles de cohérence à l'exclusion de tous traitements statistiques

C. Contrôle des données

Avant de pouvoir exploiter les données et bien qu'elles soient dans un format adéquat, il importe de contrôler la fiabilité et la précision de ces dernières. Le contrôle permet de valider les données avant leur organisation au sein d'une banque de données pour leur mise à disposition à des fins opérationnelles. Lors de cette opération, on introduit des indices de qualité de la donnée ainsi que des indices indiquant que celle-ci est reconstituée, calculée voire manquante

D. Organisation des données

Au vu de l'importance quantitative et qualitative des données, il est important de les organiser avec soin. Ceci se fait à partir d'un corpus de documents originels (formulaires de terrain, diagrammes, unité de stockage électronique) constituant les archives qui sont en règle générale accessibles uniquement à un personnel spécifique (responsable du centre de collecte, archiviste...). La traduction des archives sous la forme de fichiers de base génère les "fichiers en l'état" et fournit une indication sur la provenance de la donnée (mesure, calcul, copie etc.) ainsi que sur sa qualité (fiable, complète ou non) et sa précision. Enfin, on constitue un fichier de travail provisoire permettant une visualisation des données et permettant de procéder aux différents tests de qualité et de précision des données.

E. Diffusion et publication

La diffusion des données en vue de leur utilisation opérationnelle peut être faite selon deux modes :

- Publication papier
- Diffusion informatique

1.1.4.2 Le contrôle des données

La constitution d'une série de valeurs, constituant un échantillon au sens statistique du terme, est un processus long, parsemé d'embûches, et au cours duquel de nombreuses erreurs, de nature fort différentes, sont susceptibles d'être commises.

Une erreur de mesure est définie comme étant la différence entre la vraie valeur (qui est l'idéal recherché, mais qui n'est en principe et malheureusement jamais connue) et la valeur mesurée. Il est commode, tant pour les présenter que pour différencier la façon de les aborder, de considérer deux types d'erreur : les **erreurs aléatoires** et les **erreurs systématiques**.

1.1.4.3 Recherche des erreurs et corrections des mesures

Selon la nature des erreurs constatées ou supposées la recherche de ces dernières fait appel à différentes techniques et méthodes

- « in situ » qui consiste à vérifier sur place la manière dont les données ont été organisées, traitées et/ou transformées.
- Investigation de bureau qui consiste à vérifier la chaîne de traitement de la mesure/donnée à chaque étape de son élaboration, tout comme la manière dont on a constitué les séries de données soumises à contrôle et/ou publication.
- Investigation statistique qui, à l'aide d'outils spécifiques, permet de mettre en évidence certaines erreurs ou inconsistance. Ces techniques efficaces ont largement été utilisées dans la pratique professionnelle et se basent sur des hypothèses spécifiques qu'il convient de bien connaître.

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

1.1.5.1 Analyse des données statistiques

a. Analyse descriptive

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 40 années.

Les caractéristiques de cette série sont :

- Moyenne des précipitations maximales journalières (\bar{X}) :

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

Où :

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

N : taille de l'échantillon (**N=40**)

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

- Coefficient de variation (C_v) :

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

- Ecart type :

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

- 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 cumulé 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 [05] :

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

b. Choix de la loi d'ajustement

b.1. Loi de Gauss ou loi normale

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{u^2}{2}} \text{ Avec } u = \frac{x-\bar{x}}{\sigma_x} \dots \dots \dots (4)$$

U est appelée variable réduite de Gauss. L'intervalle de définition est donc :

$$x \in]-\infty, +\infty [$$

x : Précipitation maximale journalière (mm).

\bar{x} : Ordonnée à l'origine en (mm).

Le tableau ci-dessous donne la fréquence au non-dépassement de u :

$$F(u) = \text{Prob}(U \leq u) \dots \dots \dots (5)$$

CHAPITRE 01 : METHODOLOGIE D'EVALUATION DES PRECIPITATIONS

u	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0	0,5000	0,5040	0,5080	0,5120	0,5160	0,5199	0,5239	0,5279	0,5319	0,5359
0,1	0,5398	0,5438	0,5478	0,5517	0,5557	0,5596	0,5636	0,5675	0,5714	0,5753
0,2	0,5793	0,5832	0,5871	0,5910	0,5948	0,5987	0,6026	0,6064	0,6103	0,6141
0,3	0,6179	0,6217	0,6255	0,6293	0,6331	0,6368	0,6406	0,6443	0,6480	0,6517
0,4	0,6554	0,6591	0,6628	0,6664	0,6700	0,6736	0,6772	0,6808	0,6844	0,6879
0,5	0,6915	0,6950	0,6985	0,7019	0,7054	0,7088	0,7123	0,7157	0,7190	0,7224
0,6	0,7257	0,7290	0,7324	0,7357	0,7389	0,7422	0,7454	0,7486	0,7517	0,7549
0,7	0,7580	0,7611	0,7642	0,7673	0,7704	0,7734	0,7764	0,7794	0,7823	0,7852
0,8	0,7881	0,7910	0,7939	0,7967	0,7995	0,8023	0,8051	0,8078	0,8106	0,8133
0,9	0,8159	0,8186	0,8212	0,8238	0,8264	0,8289	0,8315	0,8340	0,8365	0,8389
1	0,8413	0,8438	0,8461	0,8483	0,8508	0,8531	0,8554	0,8577	0,8599	0,8621
1,1	0,8643	0,8665	0,8686	0,8708	0,8729	0,8749	0,8770	0,8790	0,8810	0,8830
1,2	0,8849	0,8869	0,8888	0,8907	0,8925	0,8944	0,8962	0,8980	0,8997	0,9013
1,3	0,9032	0,9049	0,9066	0,9082	0,9099	0,9115	0,9131	0,9147	0,9162	0,9177
1,4	0,9192	0,9207	0,9222	0,9236	0,9251	0,9265	0,9279	0,9292	0,9306	0,9319
1,5	0,9332	0,9345	0,9357	0,9370	0,9382	0,9394	0,9406	0,9418	0,9429	0,9441
1,6	0,9452	0,9463	0,9474	0,9484	0,9495	0,9505	0,9515	0,9525	0,9535	0,9545
1,7	0,9554	0,9564	0,9573	0,9582	0,9591	0,9599	0,9608	0,9616	0,9625	0,9633
1,8	0,9641	0,9649	0,9656	0,9662	0,9671	0,9678	0,9686	0,9693	0,9699	0,9706
1,9	0,9713	0,9719	0,9726	0,9732	0,9738	0,9744	0,9750	0,9756	0,9761	0,9767
2	0,9772	0,9779	0,9783	0,9788	0,9793	0,9798	0,9803	0,9808	0,9812	0,9817
2,1	0,9821	0,9826	0,9830	0,9834	0,9838	0,9842	0,9846	0,9850	0,9854	0,9857
2,2	0,9861	0,9864	0,9868	0,9871	0,9875	0,9878	0,9881	0,9884	0,9887	0,9890
2,3	0,9893	0,9896	0,9898	0,9901	0,9904	0,9906	0,9909	0,9911	0,9913	0,9916
2,4	0,9918	0,9920	0,9922	0,9925	0,9927	0,9929	0,9931	0,9932	0,9934	0,9936
2,5	0,9938	0,9940	0,9941	0,9943	0,9945	0,9946	0,9948	0,9949	0,9951	0,9952
2,6	0,9953	0,9955	0,9956	0,9957	0,9959	0,9960	0,9961	0,9962	0,9963	0,9964
2,7	0,9965	0,9966	0,9967	0,9968	0,9969	0,9970	0,9971	0,9972	0,9973	0,9974
2,8	0,9974	0,9975	0,9976	0,9977	0,9977	0,9978	0,9979	0,9979	0,9980	0,9981
2,9	0,9981	0,9982	0,9982	0,9983	0,9984	0,9984	0,9985	0,9985	0,9986	0,9986
3	0,9987	0,9987	0,9987	0,9988	0,9988	0,9989	0,9989	0,9989	0,9990	0,9990
3,1	0,9990	0,9991	0,9991	0,9991	0,9992	0,9992	0,9992	0,9992	0,9993	0,9993
3,2	0,9993	0,9993	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9995	0,9995	0,9995
3,3	0,9995	0,9995	0,9995	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9997
3,4	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9998

Table 1. 1 La table correspond aux valeurs de μ positive

La table correspond aux valeurs de u positive, si μ est négatif, la probabilité au non-dépassement est le complément à 1 de $F(|\mu|)$.

b.2. La loi de Gumbel

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

$$F(x) = e^{-e^{-\mu}} \dots \dots \dots (6)$$

Tel que : $\mu = a(x - x_0)$

Avec,

μ : Variable réduite de Gumbel.

x : Précipitation maximale journalière (mm).

x_0 : Ordonnée à l'origine en (mm).

1/a : la pente de la droite de gumbel

Nous pouvons écrire :

$$\mu = -\ln(-\ln(F(x_i))) \dots \dots \dots (7)$$

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

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

$$F(x) = m - \frac{0.5}{n} \dots \dots \dots (8)$$

m : Rang de précipitation

n : Nombre d'observations

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

$$\mu = -\ln(-\ln(F(x_i))) \dots \dots \dots (9)$$

- ✓ Calculer les paramètres d'ajustement « a » et « x_0 ».
- ✓ Représenter graphiquement les couples (x_i, y_i) sur papier Gumbel.

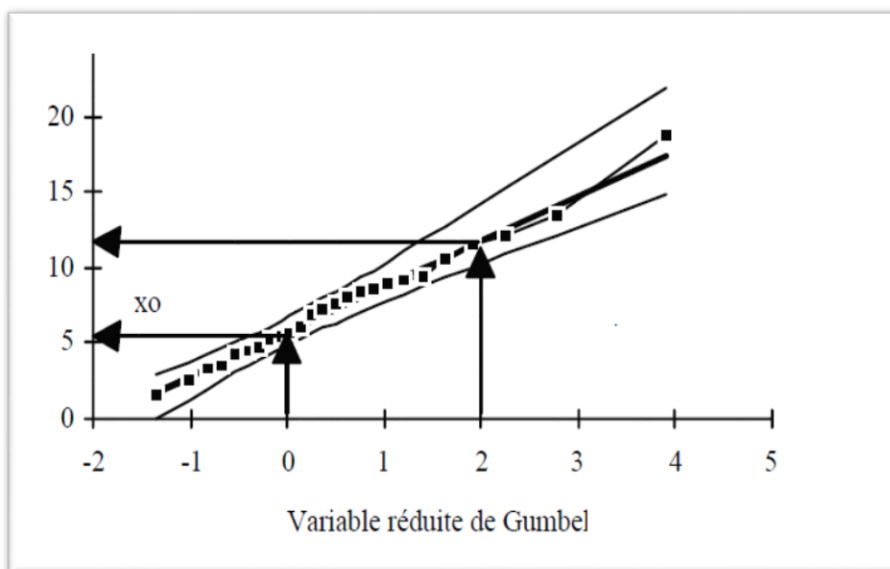


Figure 1. 3 Ajustement graphique a la loi de Gumbel [7]

b.4. La loi de Galton (Log Normal)

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

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_u^{+\infty} e^{-1/2u^2} du \dots \dots \dots (10)$$

Ou,

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

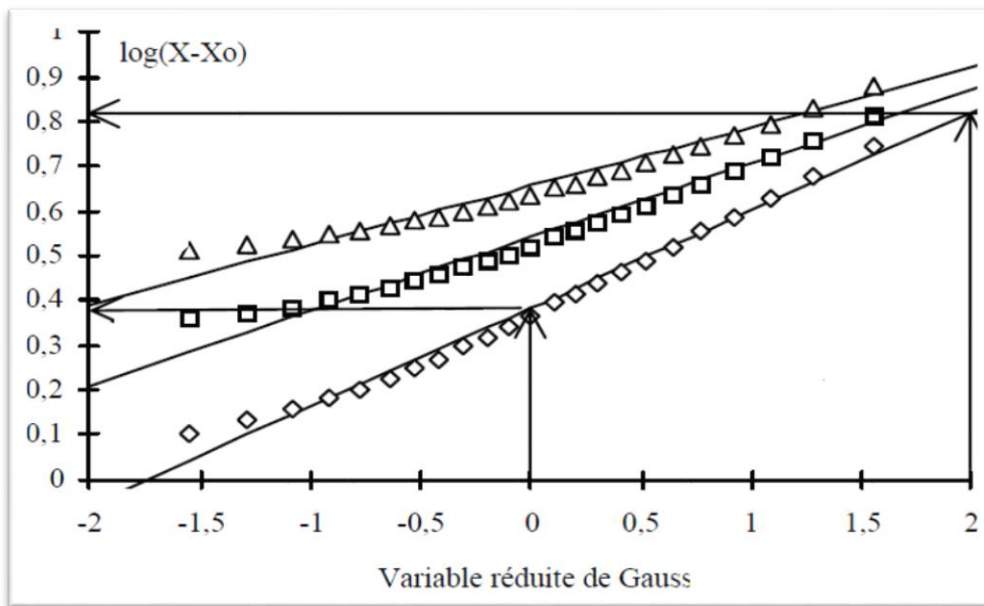


Figure 1. 4 Ajustement graphique Loi de Galton [11]

1.1.6 Teste d'ajustement

1.1.6.1 Teste de χ^2

Parmi tous les tests existants, le test du χ^2 de PEARSON est le plus pratique et le plus utilisé bien qu'il ne soit pas très puissant.

Pour mettre en œuvre ce test, on procède de la façon suivante :

- ✓ on découpe l'échantillon de n éléments, en K classes (K>4) de façon à ce que chaque classe contienne théoriquement plus de 5 éléments ;
- ✓ soit ni le nombre d'éléments contenus dans la i^{ème} classe et n'i (>5) le nombre théorique qui devrait s'y trouver ; on forme le terme suivant :

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - n'_i)^2}{n'_i} \dots \dots \dots (11)$$

Cette variable χ^2 suit une loi de probabilité dite loi du χ^2 , à α degrés de liberté avec :

$$V=K-P-1$$

K = nombre de classes ;

p = nombre de paramètres estimés d'après l'échantillon.

Les tables données en annexes permettent de connaître la valeur numérique du χ^2 qui α % de chance d'être dépassé par le seul fait du hasard, en fonction des valeurs de v. [10]

1.1.6.2 Test W_n^2 d'Anderson

Ce test est plus efficace que le test du χ^2 . Analogue dans son esprit, il favorise les valeurs extrêmes et considère individuellement chaque élément de l'échantillon.

Soit un échantillon de taille n où x_i est la $i^{ème}$ valeur dans l'échantillon classé par ordre croissant ; on peut estimer pour chaque x_i , sa fréquence théorique au non-dépassement F (x_i) à partir de l'ajustement que l'on désire tester. On construit alors ainsi W_n^2 . [05] :

$$W_n = n - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n ((2i - 1)Ln[F(x_i)] + (2n - 2i + 1)ln[F(x_i)]) \dots \dots \dots (12)$$

La variable u définie comme suit à partir de W_n^2 permet de caractériser la qualité de l'ajustement :

$$U = \frac{Ln [W_n^2 - 0.18/n^{1/4}] + 0.8 \cdot \sqrt{n}}{0.65} \dots \dots \dots (13)$$

L'ajustement est d'autant satisfaisant que U est faible et on pourra utiliser les seuils de rejets suivants :

Seuil	20 %	10 %	5 %	1 %
U seuil	0,84	1,28	1,64	2,32

Table 1. 2 Test W_n^2 d'Anderson

1.1.7 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 : [07]

Normal : $(p\%) = \bar{X} + \sigma U(p\%)$

Gumbel: $P_{jmax} (p \%) = (1/a) u + x_0$

Galton: $Log(p\%) = \bar{Log}\bar{X} + \sigma Log U(p\%)$

Et la relation sera $P_{jmax}(\%) = 10^{\log x + \sigma u(p\%)}$

1.1.7.1 Pluies de courtes durées

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

$$P_t = P_{jf} \left(\frac{t}{24} \right)^b \dots \dots \dots (14)$$

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, [07]

1.1.7.2 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 :

$$I = \frac{P_t}{t} \dots \dots \dots (15)$$

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.

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

I_{\max} : est l'intensité maximale de la pluie (mm/h). [11]

1.1.7.3 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). [05]

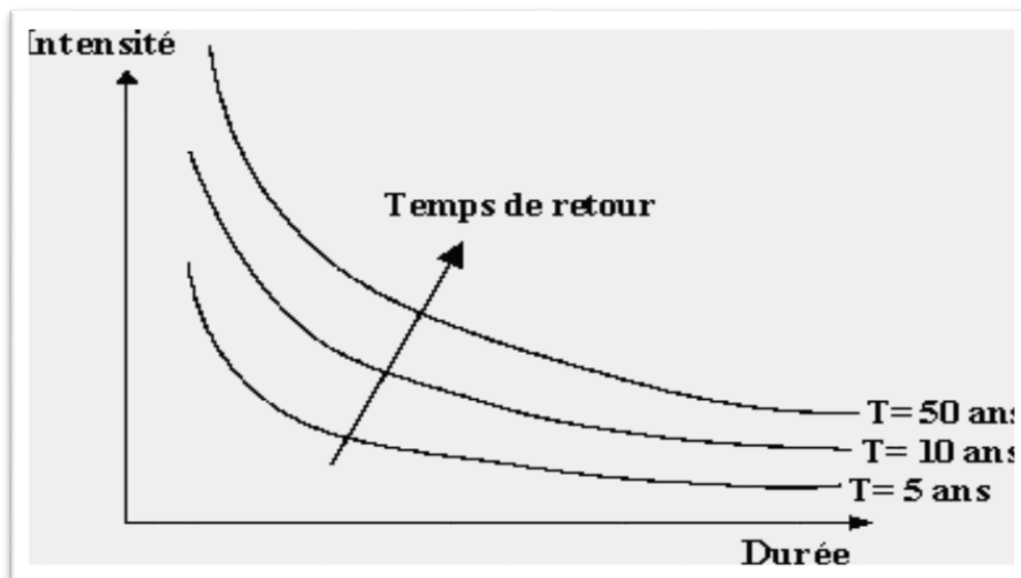


Figure 1. 5 Représentation schématique des courbes IDF

CHAPITRE 02 :
PRESENTATION DE LA
REGION D'ETUDE

2.1 Aspect Géologique et relief

La vallée de M'Zab fait partie de la région centrale de la chebka (Dorsale du M'Zab), cette dernière se caractérise par un relief cisaillé, ravine et serpenté d'innombrables oueds. Le substratum géologique est constitué de calcaires, dolomies et marnes d'âge Turonien. On distingue aussi, le long de la vallée des dépôts alluvionnaires d'âge quaternaire. Ces alluvions sont constituées de sables fins et grossiers (mélangés à des limons et des argiles), gravillons, galets consolidés. Cette formation superficielle, contient une nappe phréatique plus ou moins profonde, exploitée par des puits donnant de faibles débits. En profondeur la formation de continental intercalaire réserve la nappe albienne qui constitue la ressource principale d'eau potable [10].

2.2 Aspect Géomorphologique

Géomorphologiquement, le tissu urbain de Ghardaïa se prolonge le long d'Oued M'Zab qui se caractérise par une ramification très intense à travers les dalles des calcaires du Turonien et Sénonien. En effet on peut distinguer [10] :

- Le plateau de la chebkha : caractérisé par une faible pente ($i=3\%$) comportant quelques micros dépressions.
- Les versants des chaabats : caractérisés par une pente importante ($i=25\%$) et une faible capacité d'infiltration.
- Les fonds des chaabats ($i=2-3\%$) : pouvant comporter un léger remplissage alluvionnaire ou détritique.

Une nouvelle extension de la ville vienne s'installée sur le plateau vers Alger, pour desservir les nouveaux projets d'urbanisme et l'activité économique dans la région.

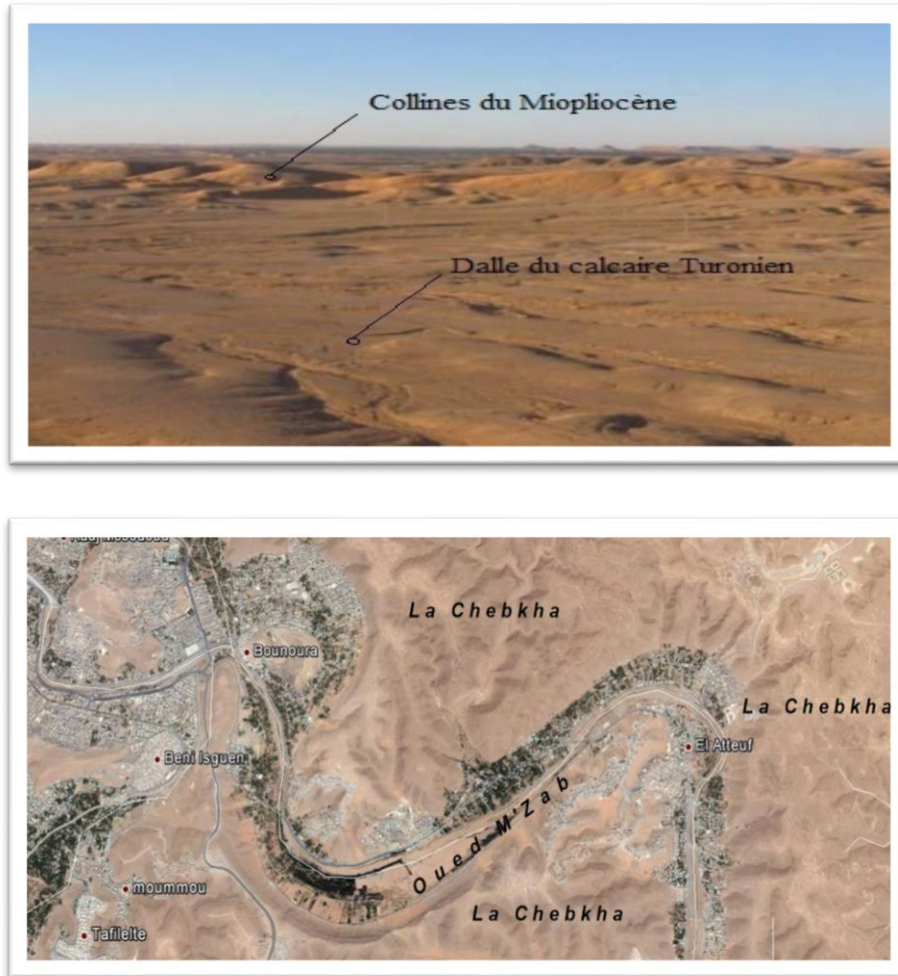


Figure 2. 1 Paysage géomorphologique du M'zab

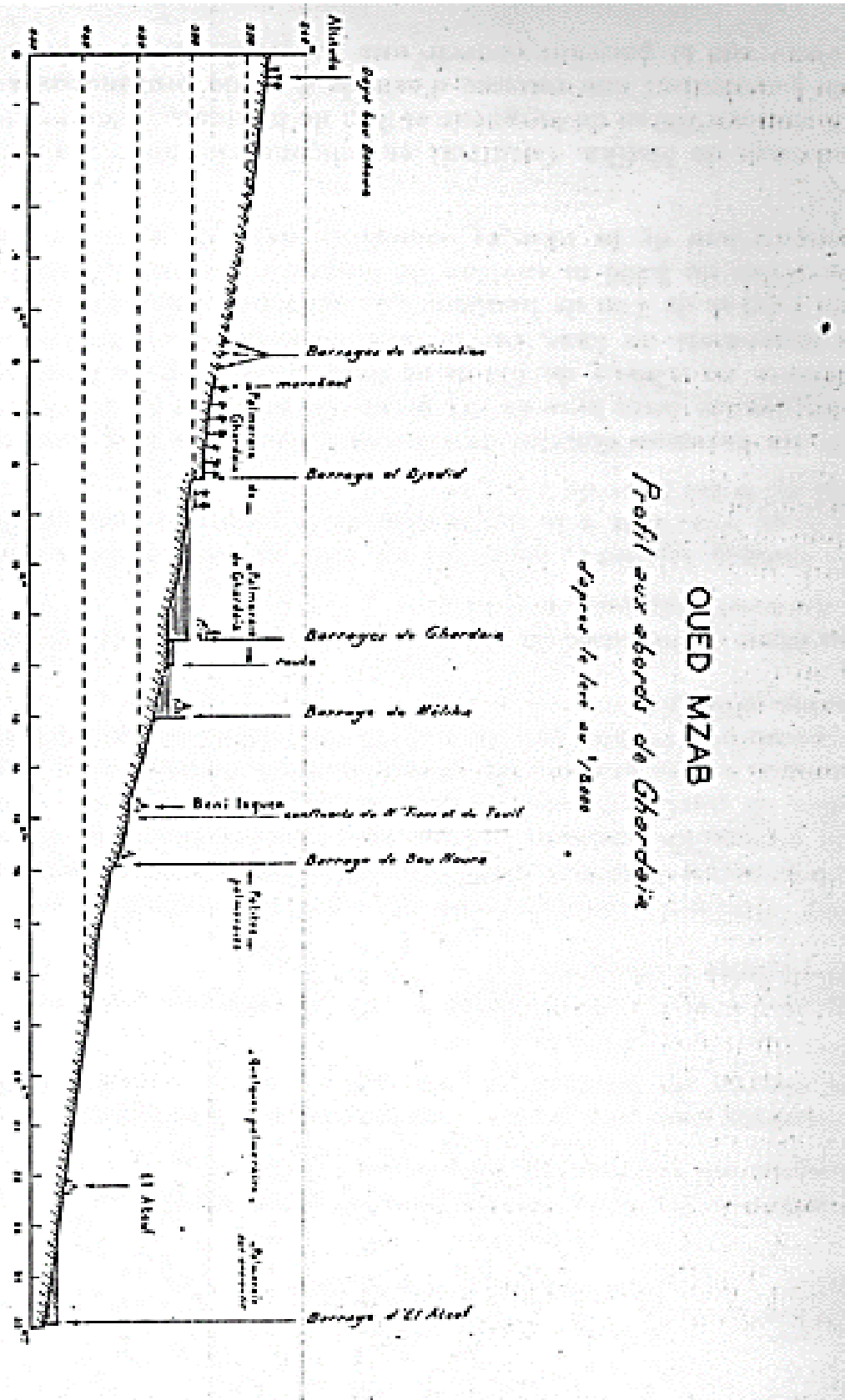


Figure 2. 2 Schéma montre la pente du terrain et la vallée du Mzab chef de Hassi R'Mel à la ATTEF

2.3 Présentation géographique de la zone d'étude

La région du M'Zab, située à 600 km au sud de la capitale est considérée comme l'une des grandes oasis du Sahara algérien. Administrativement, elle fait partie de la wilaya de Ghardaïa, regroupant trois chefs lieu de communes ; Ghardaïa chef-lieu de la wilaya occupant l'amont et le centre de la vallée, Bounoura et El Atteuf occupant la partie aval de la vallée.

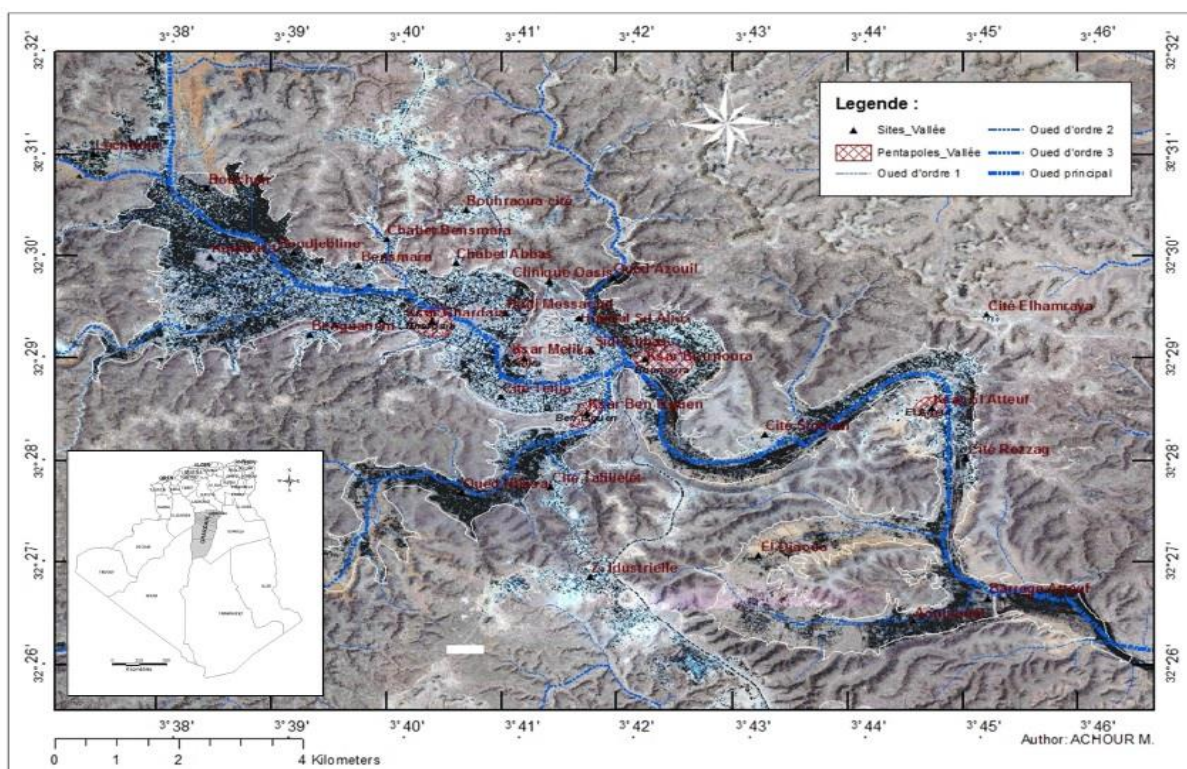


Figure 2. 3 Limites de la vallée de l'oued M'zab [09]

Géographiquement la vallée du M'zab est comprise entre 32° 26' et 32° 31' de latitude Nord et 3° 37' et 3°46' de longitude Est. Elle est alignée approximativement NWSE, en partant de Bouchen, zone de confluence de l'oued El Haimeur (Laadira) avec l'oued Touzouz, jusqu'à El Atteuf sur une longueur de 23,50 km.

La largeur de la vallée varie entre 2,35 et 1,50 km en amont et diminue au fur et à mesure vers l'aval pour atteindre 0,55 km tout au sud de la ville d'El Atteuf.

Les altitudes quant à elles sont relativement faibles, elles diminuent progressivement de l'amont vers l'aval, 514 à 508 mètres à Bouchen, 505 à 485 mètres au niveau de la ville de Ghardaïa, 455 à 450 mètres au niveau d'El Atteuf, et 435 mètres à Ahbas point le plus bas de l'oasis d'El Atteuf.

2.4 Les activités dans la vallée du M'Zab

La population pour l'ensemble des trois communes regroupées est estimée de 161202 habitants (DPAT, 2008).

L'agriculture oasienne représente la principale activité de la vallée, dont le sol est occupé en trois modes de culture :

- ✓ Culture des palmeraies en premier lieu (phoenicicultures)
- ✓ Culture des arbres fruitiers
- ✓ Culture maraîchère et fourragère en intercalaire.

Le système d'irrigation se fait par submersion traditionnelle (seguias), rare sont ceux pratiquant le mode d'aspersion et la goutte à goutte.

D'autres activités portant notamment sur le négoce, l'artisanat des tapis, ainsi que des petites et moyennes industries (verres, textiles, agro-alimentaires, cosmétiques ...etc.).

2.5 Carte d'occupation des sols de la vallée du M'zab

La carte a été élaborée par digitalisation de l'image satellitaire IKONOS de l'an 2000 (multi spectrale à 4m de résolution) de la zone étudiée en utilisant les outils du logiciel ArcGIS 10 d'ESRI. La carte montre que sur une surface totale de la vallée digitalisée de 31,18 km² soit 3118,8 hectares ; 30% est occupée par l'urbanisme soit 10,63 hectares. Les oasis dans la vallée occupent une surface de 14,10 hectares, soit 40% de la surface totale (fig. 2.5) [09].

Les oasis sont localisées principalement en amont (Touzouz, Bouchen) et en aval de l'oued M'zab (Djaoua, Aouleouel), ainsi que le long des deux principaux affluents de la vallée du M'zab ; oued N'tissa et oued Azouil. Les zones mixtes (urbanisme et oasis) représentent 11% de la surface totale soit 3,83 hectares (fig. 2.4). Les zones urbaines sont localisées principalement, autours des vieux ksars (pentapole) et s'étendent progressivement vers les oasis environnantes.

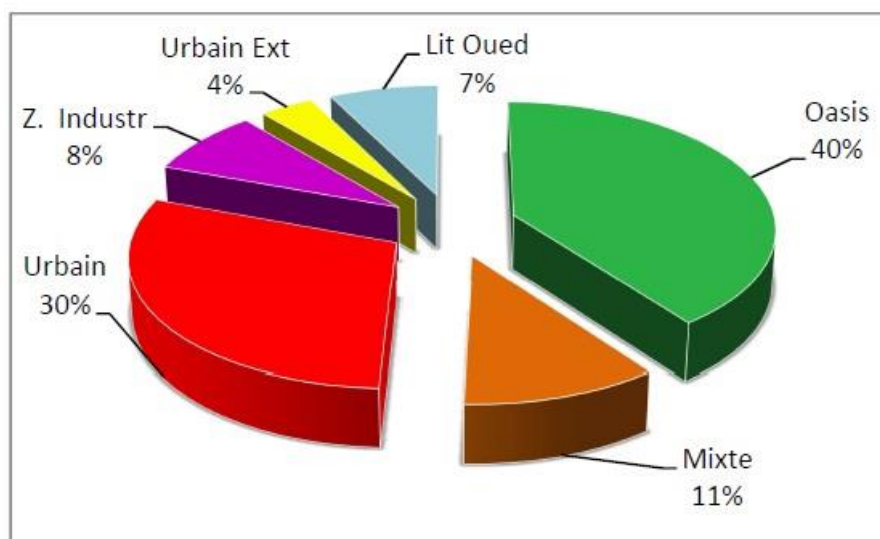


Figure 2. 4 Répartition des surfaces d'occupation des sols

En aval de la vallée une zone inoccupée de 2,66 hectares correspond à la zone d'épandage de l'oued M'Zab, elle représente 7% de la surface totale de la vallée.

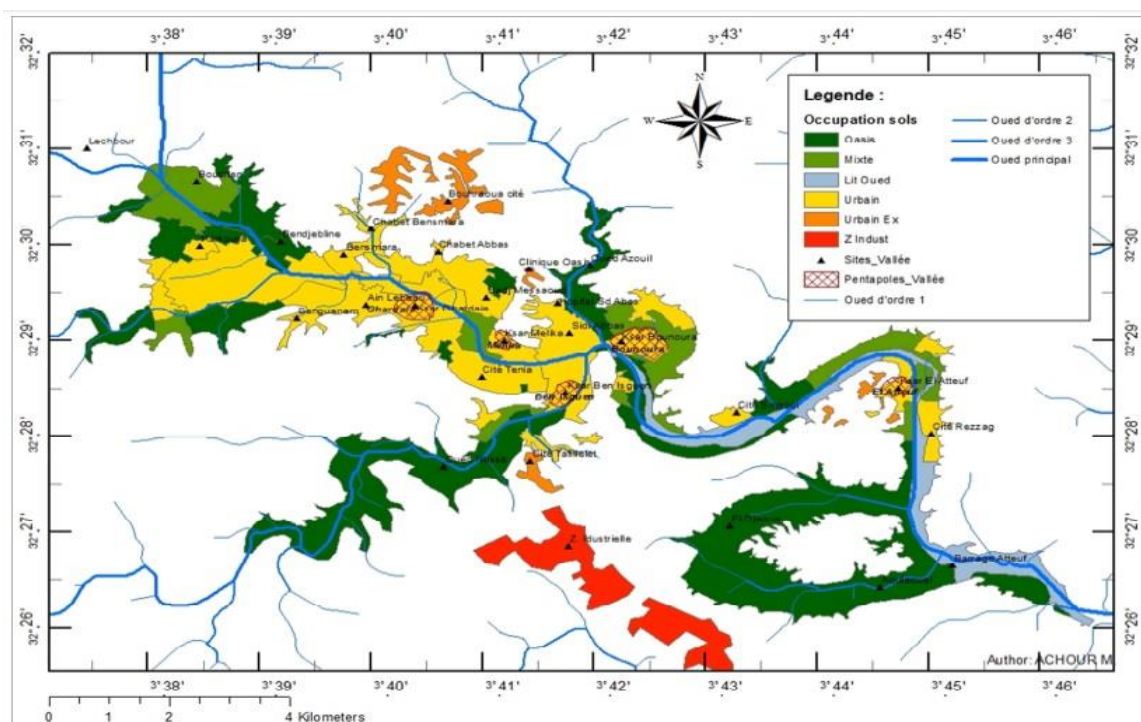


Figure 2. 5 Carte d'occupation des sols dans la vallée du M'zab (ACHOUR M. / 2013)

CHAPITRE 03 :
ENVIRONNEMENT
CLIMATOLOGIQUE

3.1 Etudes climatiques de la région

La station météorologique étudiée dans notre zone concernent de ; Ghardaïa localisée approximativement au centre du bassin

Station	Latitude	Longitude	Altitude
Ghardaïa	32,24N	3,48E	468m

Table 3. 1 Station pluviométriques de Ghardaïa

3.1.1 Température

La température est un facteur important régissant les conditions climatiques.

L’analyse des températures sera faite à partir des données recueillies de l’ONM à partir de la Station pluviométriques de Ghardaïa (1990/2009)

3.1.1.1 Température moyenne annuelle

Dans un climat aride comme le nôtre, les valeurs de la température moyenne annuelle ne semblent guère remporter une grande signification. Seules, les températures moyennes mensuelles ainsi que les amplitudes thermiques peuvent remporter quelques indications sur l’aridité de la région, et aussi les conditions auxquelles sont soumis les différents éléments de l’écosystème.

La valeur moyenne annuelle enregistrée pour la période considérée est, 22,3 °C

3.1.1.2 Température moyenne mensuelle

Le tableau ci-dessous récapitule les températures moyennes mensuelles de la Station Ghardaïa (Tableau 3.2).

Température (° C)	Sp	Oc	Nv	De	Jv	Fe	Mar	Av	Ma	Jn	Jt	At	Année
Ghardaïa	28,8	22,9	16,2	11,7	10,7	13,1	16,8	20,6	25,9	31,0	34,4	33,9	22,3

Table 3. 2 Température moyenne mensuelle et annuelle

Du tableau ci-dessus il ressort que, pour la station de Ghardaïa, la période chaude s’étend du mois de mai à octobre, pendant lesquels les températures mensuelles sont

supérieures à la moyenne annuelle. La période froide commence du mois de novembre jusqu'au mois d'Avril.

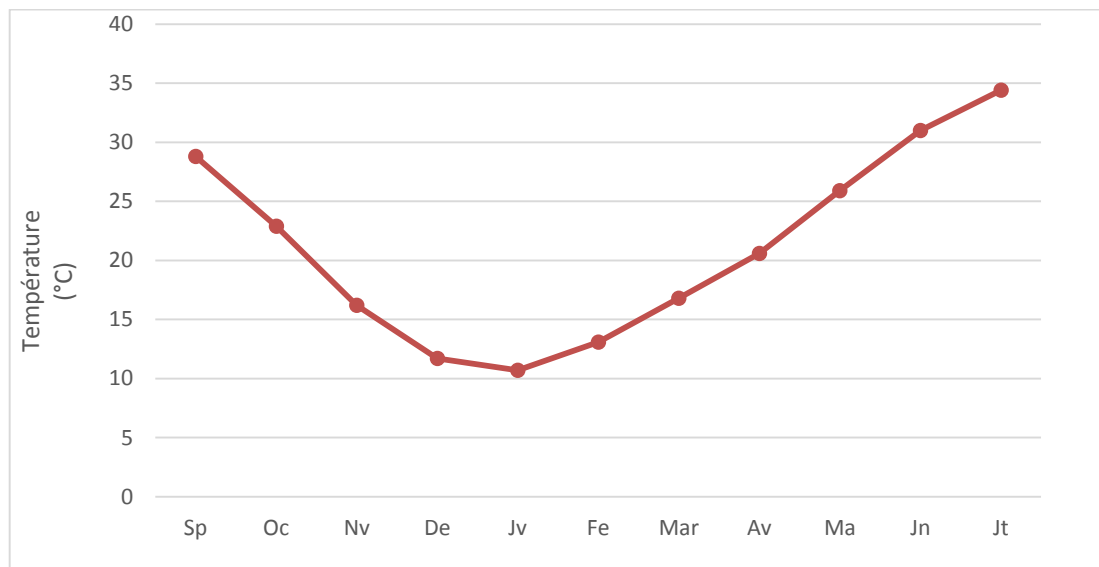


Figure 3. 1 Variation de la température mensuelle moyenne

3.1.1.3 Température extrême

Les écarts observés dans les valeurs de la température mensuelles nous incitent à étudier la dispersion des températures extrêmes moyennes. Nous indiquons ci-dessous la moyenne mensuelle des maximas et des minimas

Température (°C)	Sp	Oc	Nv	De	Jv	Fe	Mar	Av	Ma	Jn	Jt	At
Tmax	34,8	28,81	21,9	17,1	16,3	18,9	22,9	26,8	32,2	37,3	40,8	40,1
Tmin	22,6	17,4	11,1	7	5,9	7,6	10,8	14,1	19,1	23,9	27,2	27,1
Ecatr	12,2	11,41	10,8	10,1	10,4	11,3	12,1	12,7	13,1	13,4	13,6	13

Table 3. 3 Température extrême

La figure 3.2 ci-dessous, représente la variation mensuelle des températures moyennes extrêmes (maximas et minimas) de, Ghardaïa

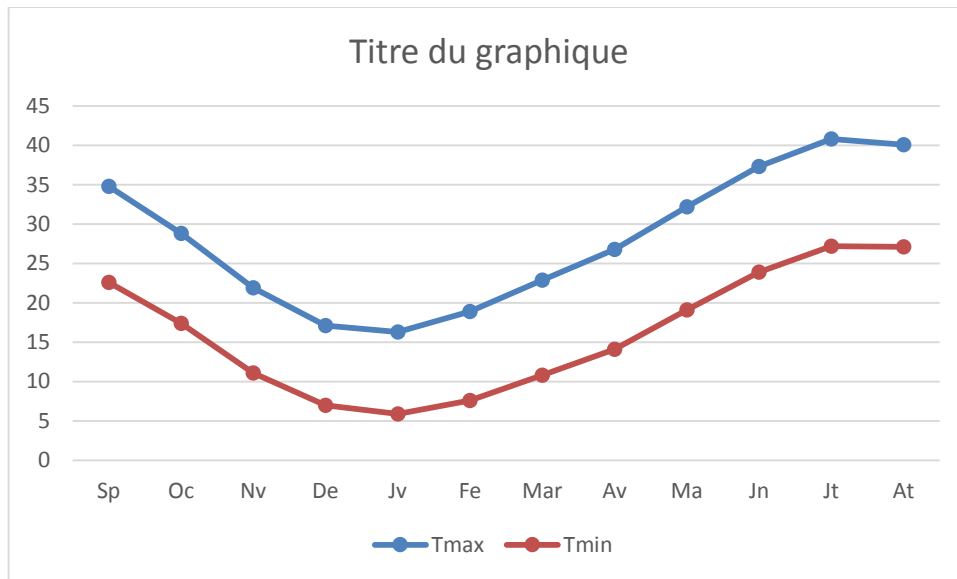


Figure 3. 2 la variation mensuelle des températures moyennes extrêmes (maximas et minimas) de, Ghardaïa

En étudiant le tableau on constate que ;

- Les valeurs des températures maximas sont les plus élevées en mois de juillet et aout (40.8 – 40.1 °C).
- Les valeurs les plus faibles des minimas sont enregistrées en mois de décembre et janvier (17.1 – 16.3 °C).
- Les écarts de la température sont en générale assez élevées variant entre 10 à 14 °C.
- Les plus fortes amplitudes thermiques sont rencontrées en période estivale oscillant entre 13 à 15 °C. Ceci est l'une des caractéristiques du climat du domaine continental du Sahara septentrional.

Station	Température (° C)		
	maximum	minimum	moyenne
Ghardaïa	40,8	5,53	22,2

Table 3. 4 Valeurs caractéristiques de la température mensuelle

3.1.1.4 L'amplitude thermique

Elle représente l'écart entre la température du mois le plus chaud et celle du mois le plus froid de l'année.

Le tableau ci-dessous indique l'amplitude thermique de la station de Ghardaïa.

Station	T _{moy} (° C)	Amplitude (° C)
Ghardaïa	22,2	22,7

Table 3. 5 Calcul de l'amplitude thermique de la station de Ghardaïa

L'amplitude thermique à la station de Ghardaïa est de 22,7°C

La répartition spatiale d'amplitude thermique nous montre une diminution progressive le long du bassin versant de l'oued M'Zab de l'amont vers l'aval. Ceci indique l'influence de la continentalité sur ce facteur, ainsi que le contraste thermique entre l'amont et l'aval du bassin versant de l'oued M'Zab

3.1.2 L'humidité relative

L'humidité relative représente le rapport de la tension de vapeur à la tension maximum correspondant à la même température.

Les données recueillies de la station de Ghardaïa donnent une moyenne annuelle de l'ordre de 39,2% (Tableau 3.6).

Les moyennes mensuelles varient de 46,6% à 58,1% en hiver et de 22,9 à 26,2% en été.

Mois	Sp	Oc	Nv	De	Jv	Fe	Mar	Av	Ma	Jn	Jt	At	Année
Humidité (%)	34,5	44,0	52,8	58,1	56,3	46,6	40,4	34,7	29,9	26,2	22,9	24,4	39,2

Table 3. 6 L'humidité moyenne mensuelle et annuelle (station de Ghardaïa)

Grosso modo, on constate que les valeurs de l'humidité mensuelle sont inversement proportionnelles à la température moyenne mensuelle. La température, parmi d'autres facteurs, demeure le principal facteur influençant sur la capacité de l'air à contenir de l'eau.

3.1.4 Le vent et le sirocco

Le vent est l'un des facteurs caractéristiques du climat. Il se caractérise par sa vitesse et sa direction. La région de Ghardaïa est régie d'une part, par les circulations des masses d'air propres à la méditerranée occidentale amenant l'humidité de l'Atlantique nord, et d'autre part, à l'ouverture des vents sahariens chauds (Sirocco).

Les vents dominants soufflent du Nord-Ouest. Les vitesses moyennes mensuelles observées au niveau de la station de Ghardaïa, montrent une répartition assez régulière comprise entre 3,3 et 4,8 m/s sur toute l'année, ce qui les classe dans la catégorie des vents modérés

Mois	Sp	Oc	Nv	De	Jv	Fe	Mar	Av	Ma	Jn	Jt	At	Année
Vitesse moy (m/s)	3,6	3,2	3,3	3,5	3,6	3,7	4,4	4,8	4,5	4,2	3,6	3,3	3,8

Table 3. 7 Vitesse moyenne du vent à la station de Ghardaïa

Les vitesses les plus élevées s'observent en printemps avec des pics en mois d'avril de 4,8 m/s. En période sèche le sirocco prédomine, il s'agit d'un vent sec et chaud qui souffle du continent vers la méditerranée desséchant ainsi l'atmosphère.

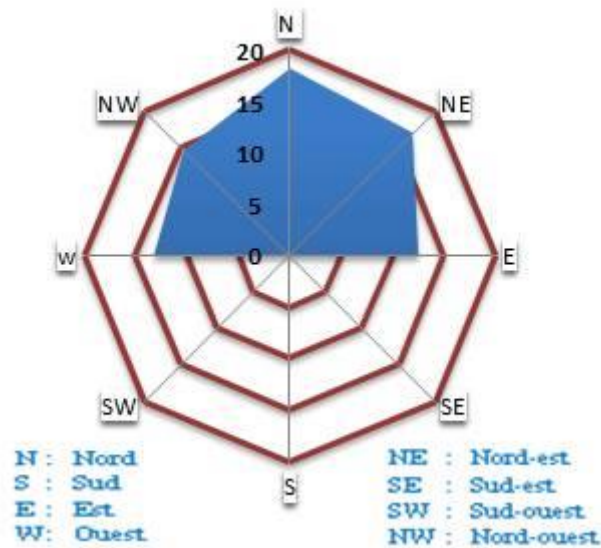


Figure 3. 3 la rose des vents

3.2 Etude des précipitations

3.2.1 Introduction

La précipitation est le facteur principal du climat saharien. Une pluie peut tomber durant toute l'année, et pendant le même mois des années de sécheresse peuvent se produire (J. Dubief, 1953) [01].

Les systèmes perturbants entraînant des précipitations sur la région sont liés, généralement, aux déplacements des fronts polaires, méditerranéens et des alizés méridionaux. Les précipitations engendrées peuvent être des importantes averses orageuses. J. Dubief (1953) [01] a localisé notre région entre l'isohyète 100 et 50mm (Figure 3.3).

Conventionnellement, l'isohyète 100mm est pris comme limite nord du domaine du désert. Le trait essentiel qui s'en dégage, une évolution latitudinale des précipitations avec une diminution du Nord vers Sud.

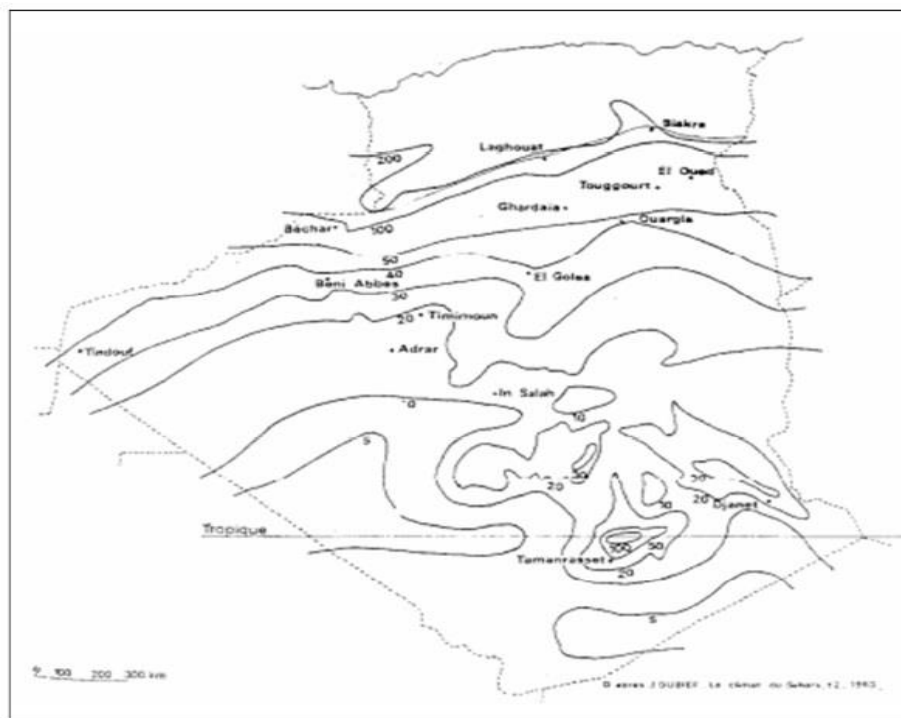


Figure 3. 4 Carte des isohyètes (J. Dubief, 1953) [01]

3.2.2 L'Origine de précipitation

Trois grands types de situations météorologiques sont à l'origine de précipitations importantes et intenses sur le bassin de l'oued M'zab. Ce sont les passages de fronts polaires venus directement du secteur nord ou nord-ouest, et les orages parfois violents qui se déplacent selon une composante orientée sud-est. D'autre part, ce sont les fronts polaires venus de l'ouest et associés avec une dépression circulaire dont le centre se déplace de l'Ouest du Maroc vers l'est, ou vers le nord. Ces fronts s'accompagnent d'un appel d'air chaud et humide depuis le Sénégal ou la Mauritanie. Ce sont les dépressions saoudano-sahélienne de Dubief. Ces systèmes s'accompagnent parfois de violentes convections, à l'origine de précipitation et de crues rares [08] (Dubief, 1959) [01] ; (Roche, 1963) [04]

3.2.2.1 Les Précipitations Maximales Journalières

Dans les régions arides le caractère exceptionnel de certaines pluies tombées en 24h est très important à considérer puisqu'elles peuvent être à l'origine du ruissellement des Oueds (Roche, 1963) [04]. Pour cerner le phénomène sur la région du M'Zab, on a accueilli les données pluviométriques, à partir de la station de Ghardaïa (l'ONM).

Les séries pluviométriques que nous traitons dans notre travail, sont aux nombres de trois origines différentes, la station de Ghardaïa (O.N.M) implantées dans le bassin versant de Vallée de M'Zab, la direction de ressource hydrique et A.N.R.H

Les valeurs de cette station englobent les prélèvements effectués durant une période de 44 ans allant de 1970 à 2014, faisant apparaître les précipitations journalières.

Nom	Ghardaïa
Organisme (source)	Office Nationale de la Météorologie (ONM)
Latitude	32°24 N
Longitude	03°48 E
Altitude (m)	468
Période d'observation	1970/2014
Nombre d'années observées	45
Observation	Station en fonctionnement

Table 3. 8 caractéristiques de la station pluviométrique de Ghardaïa

3.2.3 Précipitation Moyenne annuelle

Les moyenne annuelle calculée au niveau de station de Ghardaïa est de l'ordre de 76,32 mm/an.

Station	Altitude (m)	Période	Moyenne annuelle (mm)
Ghardaïa	450	1970-2014	76,32

Table 3. 9 Précipitations moyennes annuelles

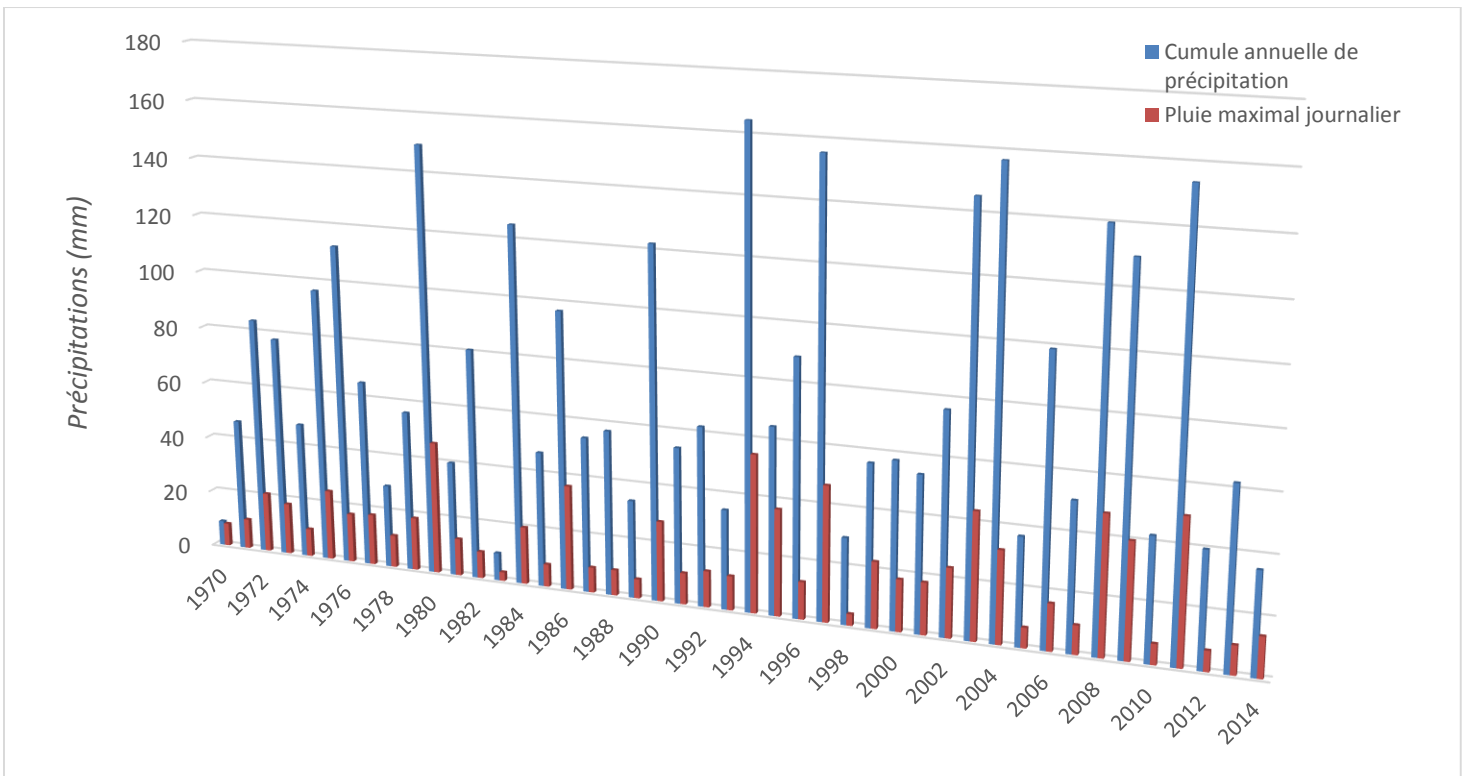


Figure 3. 5 Histogramme représente les cumules annuelles avec la pluie journalière maximal

Le figure 3.4 représente l’Histogramme de pluies journalières maximal dans les années de notre étude avec son cumule annuelle portant sur une période de 44 ans. Les données complémentaires, recueillies dans le cadre de la présente étude, concernent une durée de 44 ans sur les périodes 1970-2014. Sur cette période de 44 ans, deux pluies journalières sont proches de 55 mm, huit pluies journalières sont supérieures à 35 mm et 69% des pluies journalières sans inferieur a 20 mm avec 44% sans cumulé annuelle été entre 60 mm et 80mm.

La plus forte pluie relevée à Ghardaïa dans cette période a été de 54,8 mm du 28 septembre 1994 avec sans cumulée annuelle le plus forte a été de 164.5mm, et la plus faible pluie a été inferieur a 4mm du 1983.

La pluie de la nuit du 28 septembre 1994, d’une hauteur de 54,8 mm, est à l’origine de la forte crue du 28 septembre 1994 qui a inondé l’oasis de Ghardaïa.

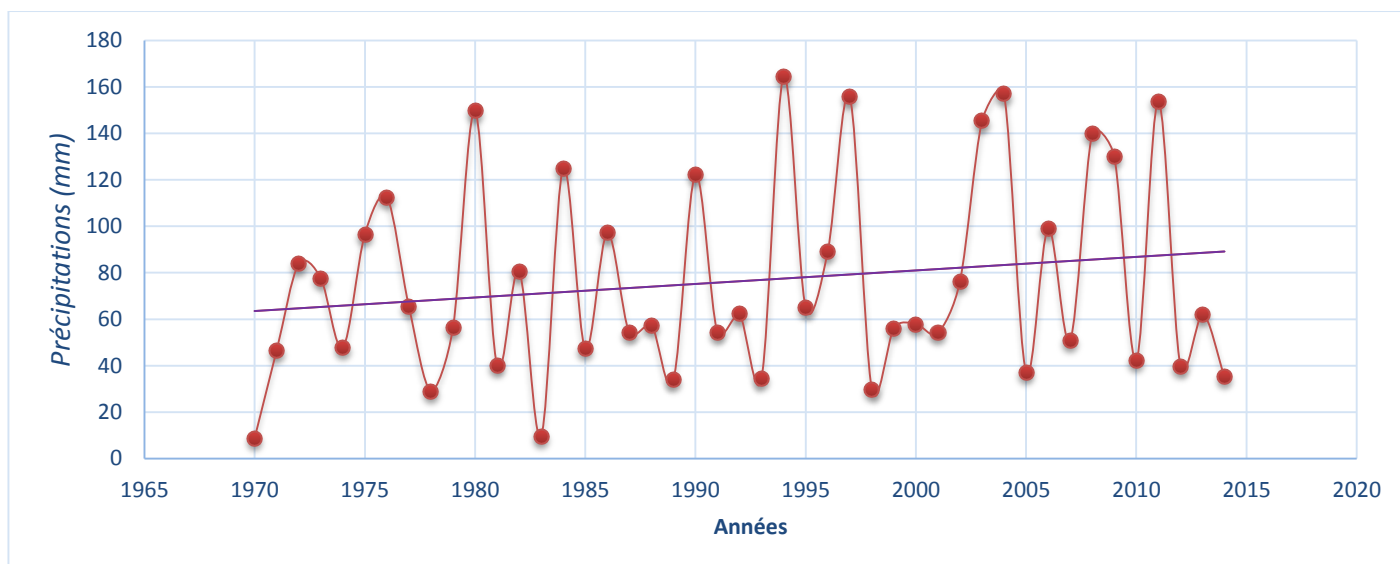


Figure 3. 6 Graphique des cumuls pluviométriques annuels pour la série de Ghardaïa (1970-2014).

Les pics les plus remarquables sont ceux de 1994 représentant l'année la plus pluvieuse de la série, et celui de 1970 qui représente l'année la plus sec (moins pluvieuse), les pics du graphique sont plutôt, hétérogènes à l'exception de certaines années présentant des volumes de précipitations annuels proches les uns des autres. Nous remarquons que les années allant de 1981 à 1991 reçoivent le même cumul annuel. Nous ne constatons que la droite inclinée vers l'avant, indique qu'à la deuxième moitié de la période la chute de pluies torrentielles est plus fréquente qu'à la première. Cependant, si l'on se réfère à la deuxième moitié, pour laquelle les observations dont nous disposons sont assurément plus complètes, la période de retour de ces pluies exceptionnelles, est au moins de 5 ans.

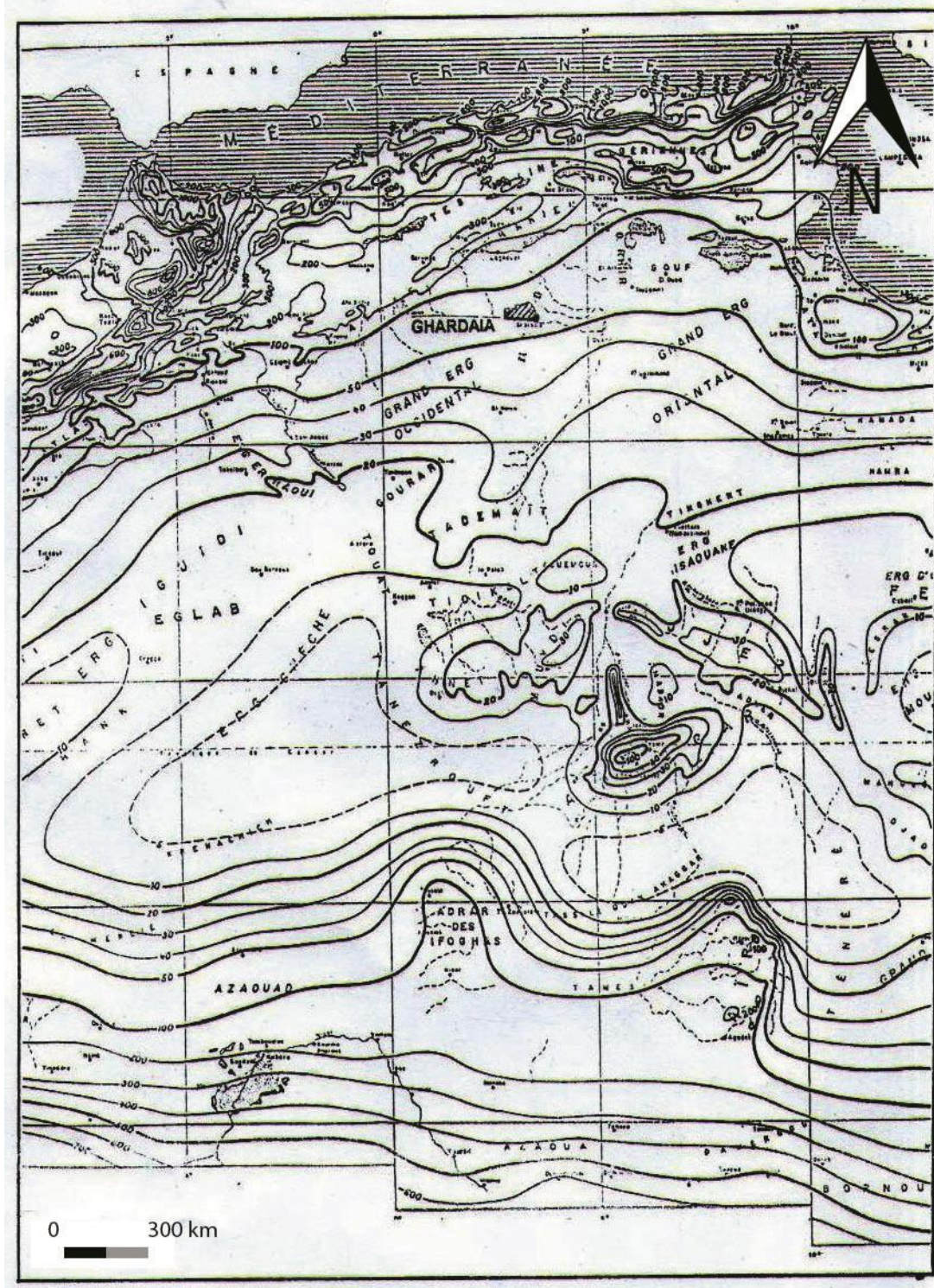


Figure 3. 7 Carte pluviométriques moyenne annuels (J. Dubief, 1963) [03]

3.2.4 Pluies journalières.

Il s'agit des hauteurs de pluie tombées en 24 heures, de 6 heures du matin le jour j jusqu'à 6 heures le lendemain $j + 1$, la hauteur étant portée au jour j . Elles peuvent être assimilées à une intensité de pluie en 24h. Plusieurs méthodes d'évaluation des crues utilisent ces hauteurs de pluie journalières qui sont donc une caractéristique importante. Une des raisons en est que ces données sont généralement plus disponibles que les intensités par intervalles de temps plus petits.

3.2.4.1 Fréquences du nombre de jours de pluie journalière en fonction de leur hauteur

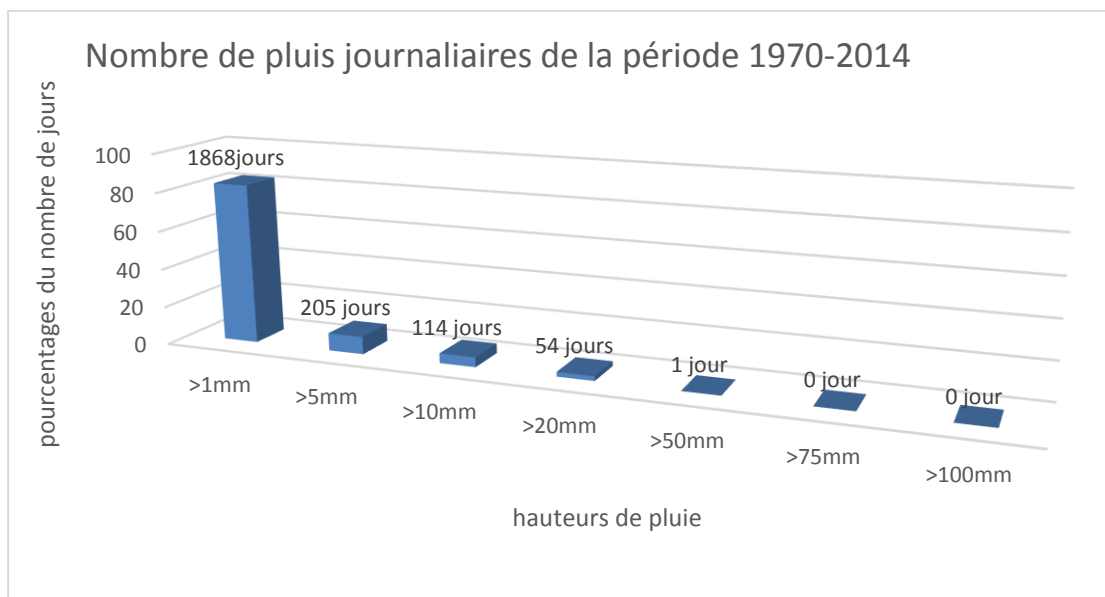


Figure 3. 8 nombre de pluies journalières de la période 1970-2014

Il s'agit des pourcentages du nombre de jours de pluie durant lesquels la hauteur d'eau tombée a été supérieure à une certaine limite : 1, 5, 10, 25, ... mm. Le nombre de jours de pluie au moins égale à 0,1 mm est pris comme référence. La Figure ce dessus indique ces fréquences pour la station de Ghardaïa.

Sur cette histogramme de fréquences cumulées des jours, on constate aussi la rapide diminution des pourcentages de pluies en 24 heures lorsque la hauteur journalière augmente. Ainsi à Ghardaïa, 83% des pluies journalières ont des hauteurs supérieures à 5 mm, 9% supérieures à 5 mm, 10 % supérieures à 10 mm, et 2.5% supérieures à 25 mm. Rappelons que le nombre moyen de jours de pluie mesurable est de 12 à Ghardaïa (J. Dubief, 1953). Le nombre de fortes pluies journalières par rapport

au nombre total de pluies est donc faible. Ces fréquences sont légèrement inférieures sur la période 1970-2014 (44 ans) en raison du nombre supérieur de pluie mesurable observé (17 jours).

En se référant à la fréquence des pluies égales ou supérieures à 5 mm et 10 mm, hauteurs limites du ruissellement que l'on peut prendre en considération, on se rend compte que 1 pluie sur 4 à 10 pluies supérieures à 0,1 mm est susceptible de provoquer un écoulement. Une telle évaluation demeure imprécise compte tenu des autres facteurs conditionnels, mais elle constitue néanmoins une approche intéressante des événements.

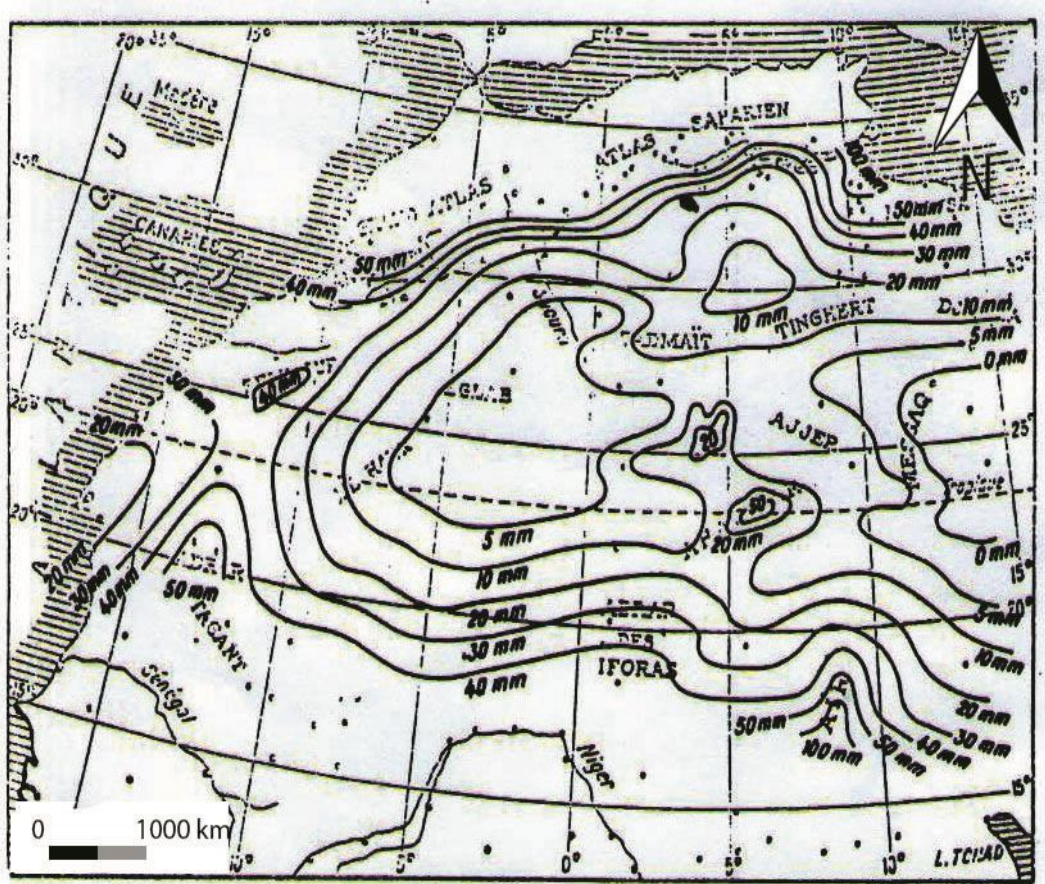


Figure 3. 9 Totaux annuels moyens des pluies supérieures à 5 mm en 24 heures (Dubief, 1959) [02]

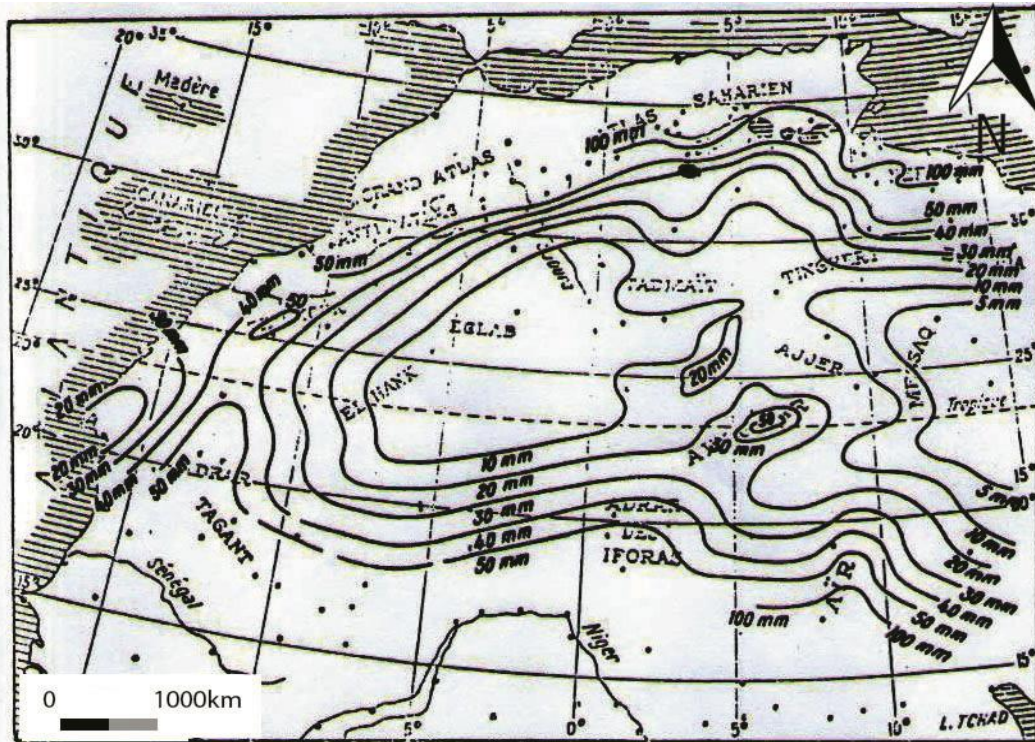


Figure 3. 10 Totaux annuels moyens des pluies supérieures à 10 mm en 24 heures (Dubief, 1959) [02]

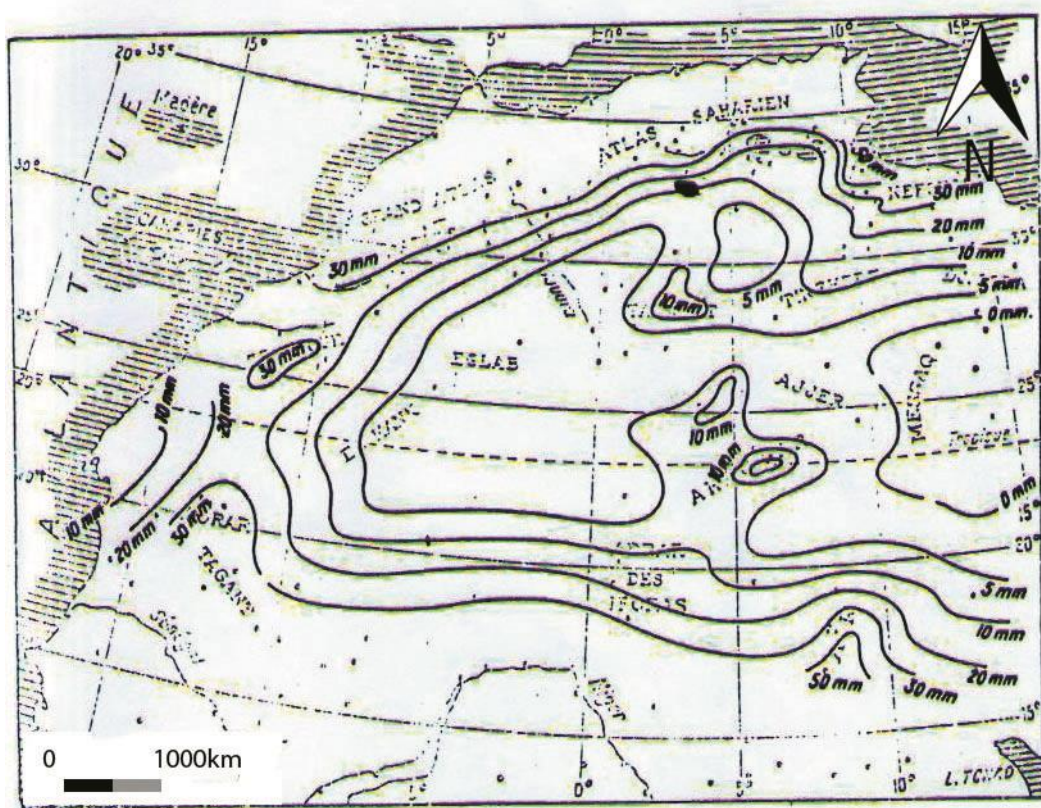


Figure 3. 11 Totaux annuels moyens des pluies supérieures à 20 mm en 24 heures (Dubief, 1959) [02]

3.2.5 Moyennes mensuelles des précipitations

Le tableau 3.10 et la figure 3.11 ci-dessous montrent la répartition des hauteurs moyennes mensuelles de la précipitation pour les stations de Ghardaïa dans la période étudiée.

Mois	Sp	Oc	Nv	De	Jv	Fe	Mar	Av	Ma	Jn	Jt	At
Précipitations (mm)	10,6	7,8	10,9	5,4	7,9	4,7	9,8	7,4	4,0	3,2	1,4	3,3

Table 3. 10 Précipitations moyennes mensuelles (période 1970-2014)

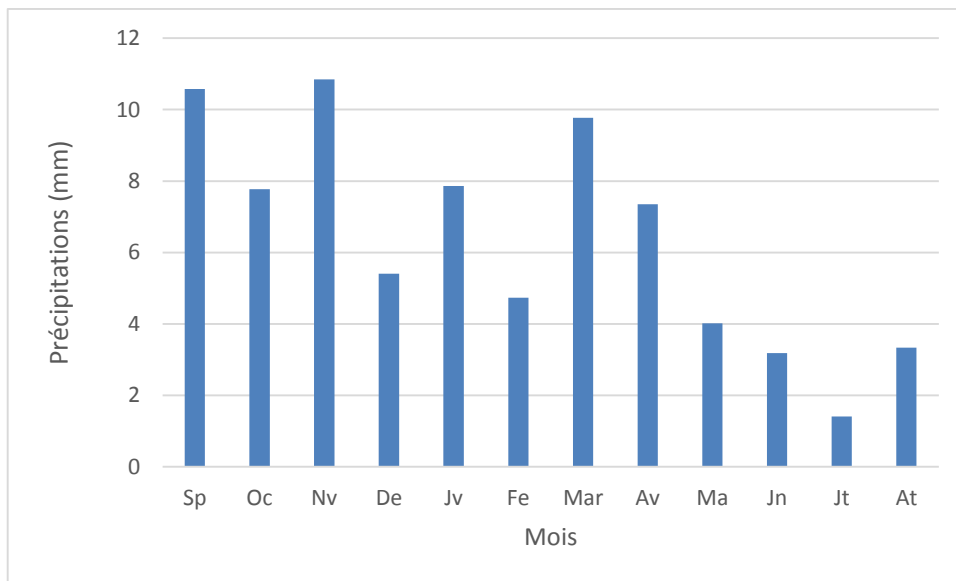


Figure 3. 12 la répartition des hauteurs moyennes mensuelles de la précipitation

La période allant du mois de septembre jusqu'au mois de janvier est la plus humidifiée de toute l'année. Les faibles hauteurs de la pluie sont enregistrées en été.

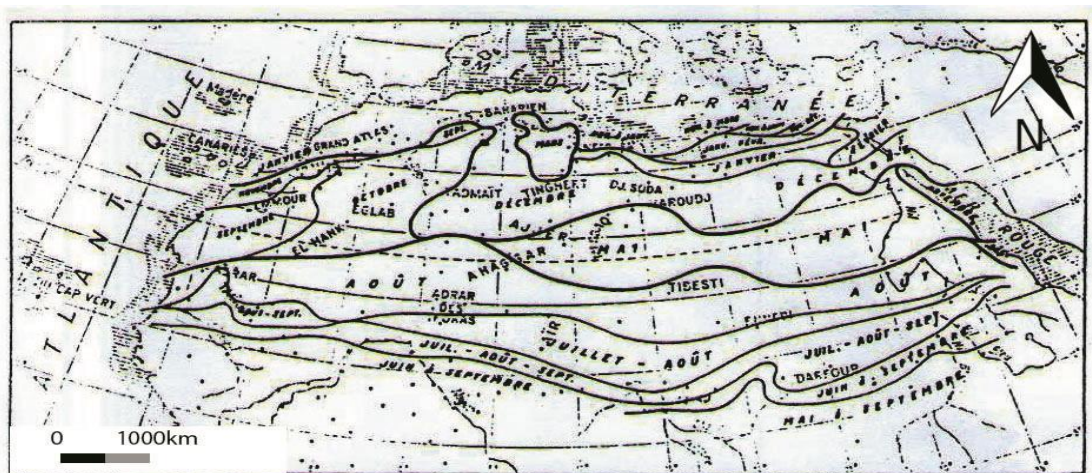


Figure 3. 13 Répartition des mois les plus pluvieux de l'année (Dubief. 1963) [03]

3.2.6 Répartition des pluies journalières durant la période 1970-2014

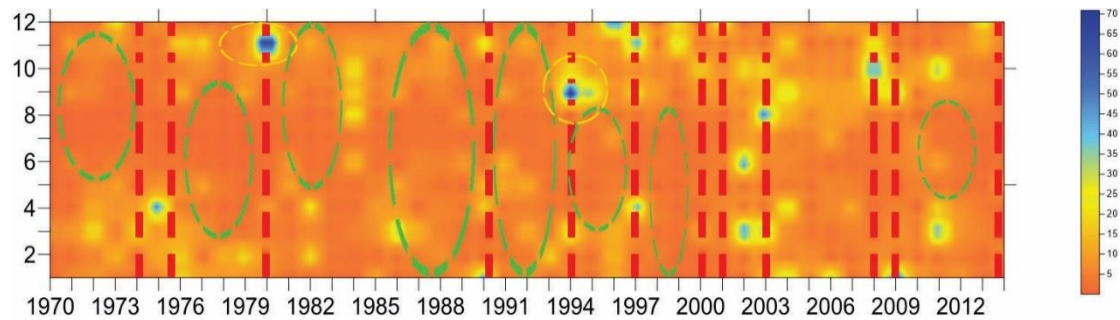


Figure 3. 14 Graphique en nuances de couleurs des précipitations mensuelles inter annuelles de Ghardaïa pour la période de (1970-2014).

On distingue la « sécheresse météorologique » ou durée des périodes sans précipitations mesurables (inférieures ou égales à 0,1 mm) qui séparent les phases pluvieuses, et d'autre part la « sécheresse efficace », séparant des pluies égales ou supérieures à 5 mm en 24 heures (Dubief, 1963) [03].

L'utilisation du logiciel SERFUR est indispensable pour le traçage du graphe c'est dessus (Figure 3.13), il correspond à la cumule mensuelle des pluies journaliers pour chaque année de la période 1970-2014. La différenciation de couleur permettra d'interpréter les phénomènes climatiques (période sèche – période humides) marquant la période étudiée.

La coloration orange indique les périodes sèches à largeurs différentes et qui sont très abondants, souvent sont séparés par un passage humide d'une courte durée de deux ans en moyenne. Le traits rouge indique la séparation entre les périodes sèches répétitifs, qui sont mentionnée comme suite :

- Premier intervalle de 1970 à 1974
- Deuxième intervalle de 1981 à 1990
- Troisième intervalle l'année 1991 a 1994
- Quatrième intervalle de 1997 à 192001
- Cinquième intervalle de 2003 à 2008
- Sixième intervalle de 2009 à 2014

Durant ces intervalles nous remarquons qu'il y a un nombre important des mois sec avec un cumul pluviométrique très faible, ce qui assure le prolongement de la saison sèche, en créant un rétrécissement de la période humide.

Aussi, on observe sur le graphique quatre périodes à pluviométrie intenses, c'est ce qui est caractérisé par les colorations jaunes à bleu foncé (cercles en pointillés jaunes) :

- Première période d'Novembre 1980.
- Deuxième période de septembre 1994.
- Troisième période d'aout et novembre 2002
- Quatrième période d'octobre 2008.

Ces périodes sont considérées comme les plus humides de toute la série pluviométrique de vallée de M'Zab, elles sont caractérisées par de fortes précipitations et un taux d'humidité relativement haut.

Les cercles verts pointillés délimitant des zones oranges représentent les périodes sèches interannuel, c'est-à-dire : probablement soit être séparées par des courtes périodes pluvieuses (zones jaunâtres et verdâtres). Il s'agit du chevauchement d'une saison par rapport à une autre, à savoir la saison sèche par rapport à la saison humide. Météorologiquement ces périodes sont caractérisées par des longues périodes sèches intercalées par des piques de chute de pluies (maximum 03 jours). On comptabilise sept périodes touchées par ce phénomène :

- Première période de 1970- 1974 du mois de Mai au mois de Novembre.
- Deuxième période de 1976- 1979 du mois de Mars au mois de septembre
- Troisième période de 1982- 1989 du mois de Mai au mois de Décembre
- Quatrième période de 1992- 1993 du mois Janvier au mois de Décembre
- Cinquième période de 1994 - 1997 du mois d'Avril au mois d'Aout
- Sixième période de 1997 - 2000 du mois de Janvier au mois d'Aout
- Septième période de 2009 - 2012 du mois d'Avril au mois de Septembre

La figure mise en évidence aussi :

- la période humide (pluvieuse) est classée comme étant une cyclicité qui revient marquée des longues périodes sèches de la série chronologique.
- Les intervalles de sécheresse réapparaissent de période en période sans que la durée de persistance soit homogène.

3.2.7 Indice xérothermique de Bagnouls et Gausson (Ix)

Ce diagramme ombro-thermique fait intervenir les pluies et les températures moyennes mensuelles. Selon les auteurs, un mois est dit sec si le total mensuel des précipitations en mm est égal ou inférieur au double à la température mensuelle moyenne : $P \leq 2T$.

La formule permet de construire des diagrammes ombro-thermique traduisant la durée de la saison sèche d'après les intersections des courbes.

Il en résulte que la saison sèche s'étend durant toute l'année où la courbe de la pluie demeure largement écartée de celle de la température.

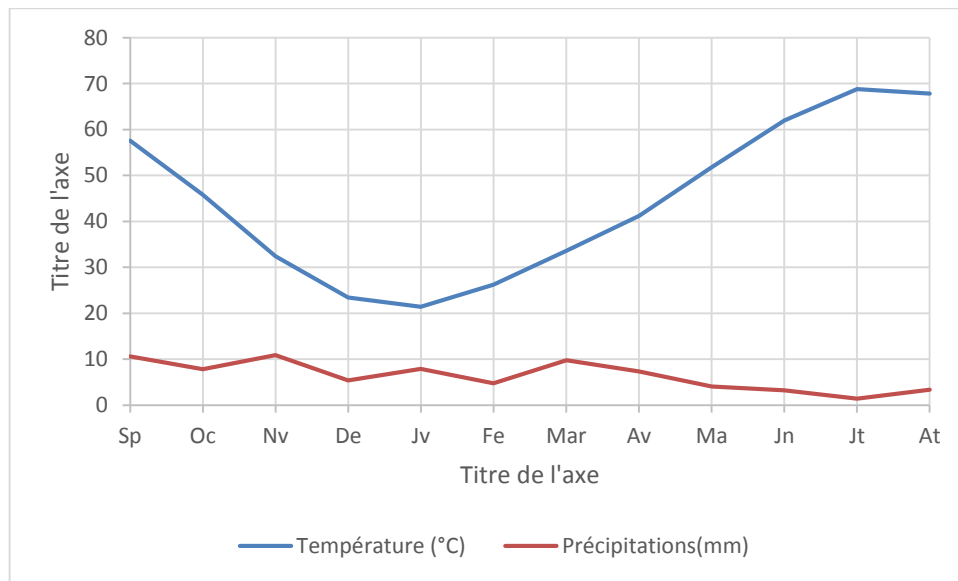


Figure 3. 15 Diagramme ombrothermique (1970-2014)

3.2.9 Les inondations les plus importantes qui ont touché la région dans la période 1970-2014

La crue du 29 et 30 septembre 1994 est mise en relation avec une pluie qui commence, en tenant compte de la précision temporelle tri-horaire des données, à partir de 21 heures le 28 septembre. D'un total de 37,8 mm, elle est particulièrement intense : 28,2 mm/3h de 21 heures à 24 heures. C'est la plus forte intensité du genre relevée sur les 6 ans d'observation. Elle est suivie, de 8,6 mm/3h de 0 heure à 3 heures le 29 septembre, puis d'une traîne de 1,0 mm/3h.

Cette averse a été précédée les deux nuits d'avant par deux pluies importantes, l'une de 11,7 mm le 27 septembre de 0 heure à 6 heures, l'autre de 18,9 mm de 18 heures à le 27 septembre à 3 heures le 28 septembre, avec une pointe finale d'intensité relativement élevée de 18,0 mm/3h.

L'épisode pluvieux totalise ainsi 68,4 mm, abstraction faite du dernier mm tombée en fin de soirée du 29 septembre.

Il faut encore souligner que les conditions de ruissellement ont été encore favorisées par des pluies antérieures : 2,3 mm, le 22 novembre et 2,9 mm le 25 novembre.

L'épisode pluvieux de fin novembre 1994 est dû, selon le type défini par Dubief, à une « dépression soudano-saharienne » [12].

L'Inondations du 20 Juin 1991 est appelé (MASAH 91) et la quantité de pluie journalier qui tombe est de 9 mm a causé des dommages considérables à l'effondrement de nombreuses maisons et l'effondrement de certaines installations traditionnelles.

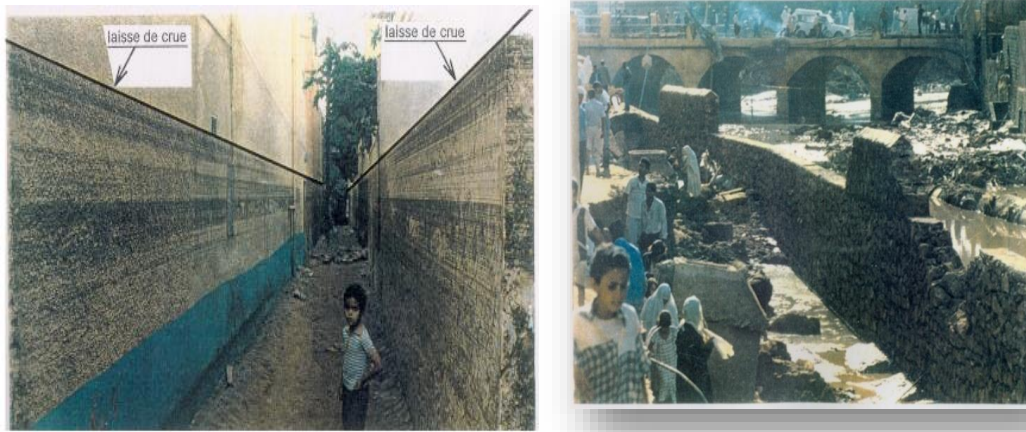


Figure 3. 16 Inondations du 20 Juin 1991 à Ghardaïa

Inondations de 01 octobre 2008 est appelé (MASAH 2008) et la quantité de pluie journalier qu'elle a tombé, est de 23 mm. Les pertes humaines et matérielles est le bilan de la catastrophe qui s'est abattue sur Ghardaïa et quelques communes voisines après les pluies torrentielles, dans une période de temps spécifique.



Figure 3. 17 L'inondation du 01 octobre 2008 à Ghardaïa

3.2.11 Corrélation pluie journalière –débit (cas 01 octobre 2008)

Les débits maximaux à Ghardaïa ont été estimés par plusieurs modèles analogiques, les résultats de l'assimilation sont assez acceptables (Ouled Belkhir, 2014), mais dans le cas de crue de 01 octobre 2008, la valeur résultant est différente de la valeur réelle qui a dépassé 1350 m³/s au centre-ville de Ghardaïa. Du point de vue météorologique l'averse qui a déclenché cette crue est plus intense sur la partie amont et septentrionale que la partie aval et sud du bassin (70 mm à Hassi R'mel contre 48 mm à Noumeratte). La pénurie des données pluviométriques dans la ville de Ghardaïa, et celle de la station de Hassi R'mel, ainsi que l'extrémité de la station météorologique actuelle à Noumeratte (20 km vers le sud de la vallée) pose un réel problème pour la fiabilité de la relation pluie-débit journaliers et débit. L'installation d'une station hydro-climatologique à la vallée est devenue une nécessité.

***CHAPITRE 04 - ETUDE
STATISTIQUE ET
DETERMINATION DE
REGIME
PLUVIOMETRIQUE***

4.1 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 1970 à 2014 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 45 années.

4.2 Analyse de la précipitation

Selon Dubief (1953) [10], 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.

4.2.1 Précipitations maximales journalières

Les précipitations maximales journalières permettent de calculer les intensités des pluies les plus fréquentes.

La série d'observation enregistrée entre 1970 jusqu'à 2014 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)
1970	8	1993	11,9
1971	10,5	1994	54,8
1972	21	1995	30
1973	18,1	1996	12
1974	9,8	1997	23
1975	24,7	1998	4
1976	17,2	1999	26
1977	17,9	2000	18
1978	11,3	2001	18
1979	18,6	2002	24
1980	46,5	2003	33
1981	13	2004	46
1982	9,4	2005	7
1983	2,9	2006	16,2
1984	20,2	2007	10
1985	6,8	2008	23
1986	36,6	2009	19,5
1987	8,8	2010	7,11
1988	8,9	2011	50
1989	7,9	2012	7,11
1990	27,9	2013	10
1991	10,9	2014	14,99
1992	12,6		

Table 4. 1 Pluies journalières maximales observées à Ghardaïa (1970-2014)

4.3 Analyse des données statistiques

- La moyenne interannuelle des précipitations maximales journalières P_j max, Durant 40 ans d'observations est

$$\bar{x} = 18,55 \text{ mm}$$

n : le nombre d'années d'observations (n= 45 ans).

- L'écart type « $\sigma P_{\max, j}$ » ;

$$\delta_x = 12,5 \text{ mm}$$

- Coefficient de variation : « C_v » :

$$C_v = 0,6713$$

➤ L'exposant climatique :

Selon les études régionales de l'A.N.R.H, nous avons $b = 0.45$

Paramètres	Valeur
Taille de la série	45
Moyenne arithmétique	18,55
L'écart type	12,5
Coefficient de variation	0,6713
L'exposant climatique	0.45
Moyenne log(P)	2,72
L'écart type log(P)	0,7

4.4 Choix de la loi d'ajustement

4.4.1 Ajustement de la série pluviométrique à la loi de Normal

Le tableau 01 dans l'annexe indique tous les valeurs d'ajustement

On tracer le graphe sur l'Excel :

- a) l'axe des X : les variables réduites
- b) l'axe des Y : les valeurs théoriques

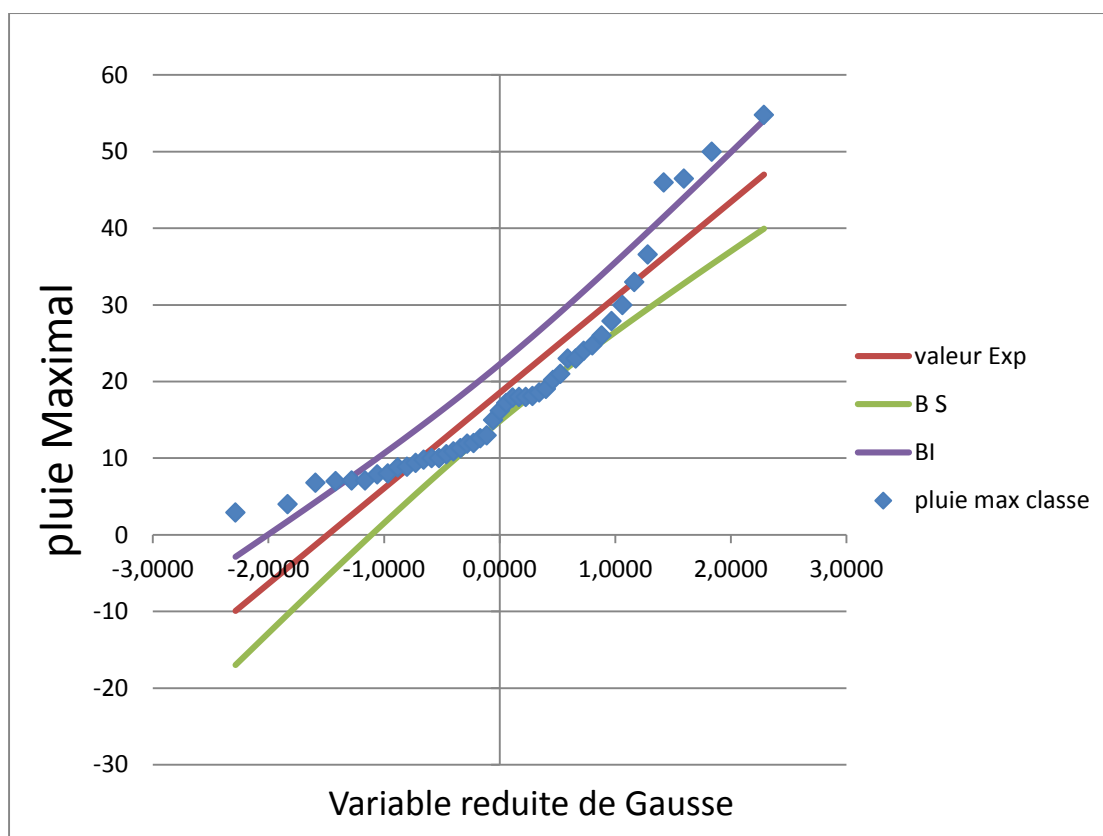


Figure 4. 1 Ajustement graphique d'une loi de Normal

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

Le tableau 02 dans l'annexe indique tous les valeurs d'ajustement

On tracer le graphe sur l'Excel :

- a) l'axe des X : les variables réduites
- b) l'axe des Y : les valeurs théoriques

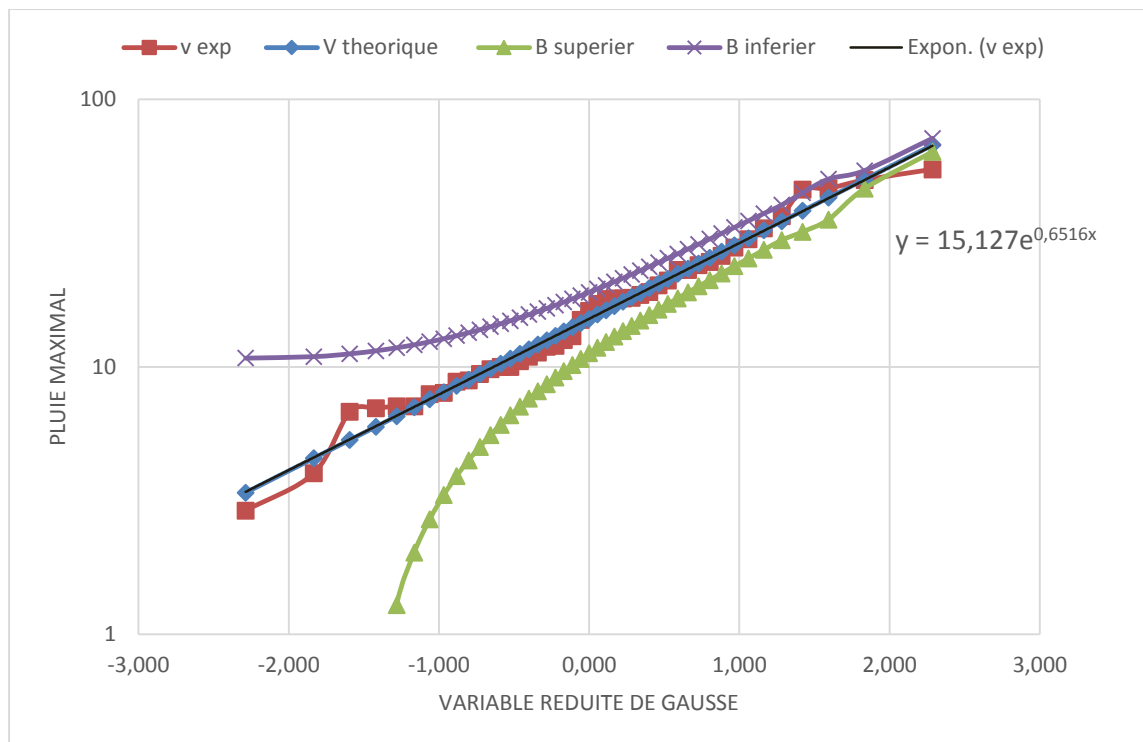


Figure 4. 2 Ajustement graphique d'une loi de Galton

4.4.3 Ajustement de la série pluviométrique à la loi de Gumbel

Le tableau 03 dans l'annexe indique tous les valeurs d'ajustement

On tracer le graphe sur l'Excel :

- a) l'axe des X : les variables réduites
- b) l'axe des Y : les valeurs théoriques

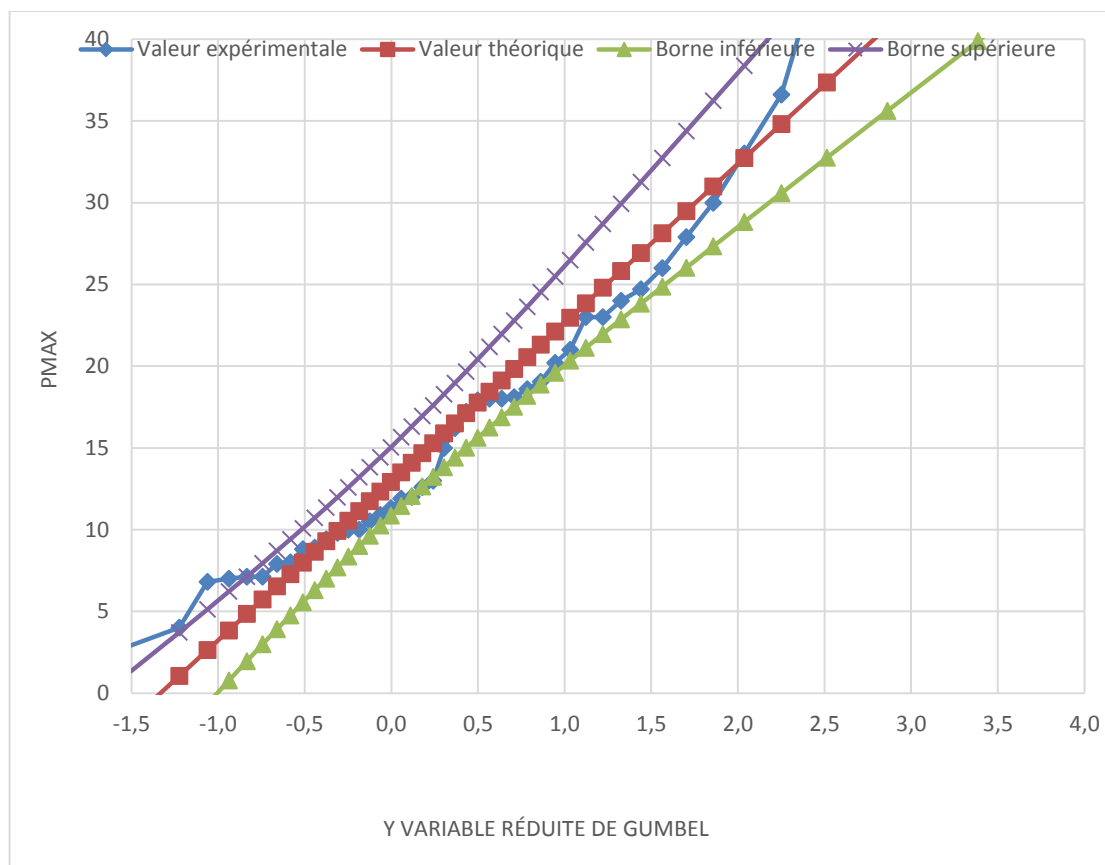


Figure 4. 3 Ajustement graphique d'une loi de Gumbel

4.5 Interprétation des graphes

La projection des données expérimentales sur les trois graphes et a permis de voir que la loi de Galton sont meilleures du moment que, la donnée expérimentale est proche de la droite théorique.

4.6 Test de χ^2

A. Loi normal

χ^2 (Valeur calculé)	10,797
χ^2 (Valeur théorique)	9,492
DDL	4
p-value	< 0,0001
α	0,05

Table 4. 2 Test de χ^2 appliqué sur la série des pluies (Normal)

B. Loi de Galton (log normal)

χ^2 (Valeur calculé)	1,929
χ^2 (Valeur théorique)	9,492
DDL	4
p-value	<0,070
α	0,05

Table 4. 3 Test de χ^2 appliqué sur la série des pluies (Galton)

C. Loi Gumbel

χ^2 (Valeur observée)	16,01234264
χ^2 (Valeur critique)	9,492
DDL	4
p-value	<0,070
α	0,05

Table 4. 4 Test de χ^2 appliqué sur la série des pluies (Gumbel)

Conclusion

D'après le test de χ^2 appliqué sur la série des pluies Dans la loi de Galton (log normal)

En remarque que :

Valeur critique > valeur observée. Ce qui montre que l'ajustement est accepté avec la loi de Galton.

4.8 Le régime pluviométrique

4.8.1 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 Log normal	P j max fréquentielle (mm)
2	0,5	0,0	16,82
5	0,8	0,8	29,11
10	0,9	1,3	38,77
25	0,96	1,8	52,63
50	0,98	2,1	64,12
100	0,99	2,3	76,59
500	0,998	2,9	109,73
1000	0,999	3,1	125,99
10000	0,9999	3,7	189,78

Table 4. 5 Pluies journalières maximales fréquentielles

Conclusion :

Il ressort de divers ajustements que les pluies journalières décennales sur la station de Ghardaïa est respectivement 38,77 mm, Les pluies centennales ont été évaluées à 76,59 mm.

Ainsi que les pluies milléniales ont été évaluées à 125,99 mm.

4.8.2 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 → b = 0,45 pour la station de Ghardaïa.

Les calculs ont donné les résultats suivants :

Période de retour (an)	Durée de l'averse (heure)								
	0,25	0,5	0,75	1	2	4	6	12	24
2	9,0	12,3	14,8	16,8	23,0	31,4	37,7	51,5	70,3
5	15,6	21,3	25,6	29,1	39,8	54,3	65,2	89,0	121,6
10	20,8	28,4	34,1	38,8	53,0	72,3	86,8	118,6	162,0
25	28,2	38,5	46,2	52,6	71,9	98,2	117,9	161,0	220,0
50	34,4	46,9	56,3	64,1	87,6	119,7	143,6	196,2	268,0
100	41,0	56,1	67,3	76,6	104,6	142,9	171,5	234,3	320,1
500	58,8	80,3	96,4	109,7	149,9	204,8	245,7	335,7	458,6
1000	67,5	92,2	110,7	126,0	172,1	235,1	282,2	385,4	526,5
10000	101,7	138,9	166,7	189,8	259,3	354,1	425,0	580,6	793,1

Table 4. 6 Pluies de courtes durées pour différentes périodes de retour

4.8.3 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 10000ans) et pour des durées d'averse de 15 min jusqu'à 1 jour.

Période de retour (an)	Durée de l'averse (heure)								
	0,25	0,5	0,75	1	2	4	6	12	24
2	36,1	24,6	19,7	16,8	11,5	7,8	6,3	4,3	2,9
5	62,4	42,6	34,1	29,1	19,9	13,6	10,9	7,4	5,1
10	83,1	56,8	45,4	38,8	26,5	18,1	14,5	9,9	6,8
25	112,8	77,1	61,7	52,6	35,9	24,6	19,6	13,4	9,2
50	137,4	93,9	75,1	64,1	43,8	29,9	23,9	16,3	11,2
100	164,2	112,1	89,7	76,6	52,3	35,7	28,6	19,5	13,3
500	235,2	160,6	128,5	109,7	74,9	51,2	41,0	28,0	19,1
1000	270,1	184,5	147,6	126,0	86,1	58,8	47,0	32,1	21,9
10000	406,8	277,9	222,3	189,8	129,6	88,5	70,8	48,4	33,0

Table 4. 7 Intensités maximales de durée t (h) et de période de retour T (an)

4.8.4 Construction des courbes IDF

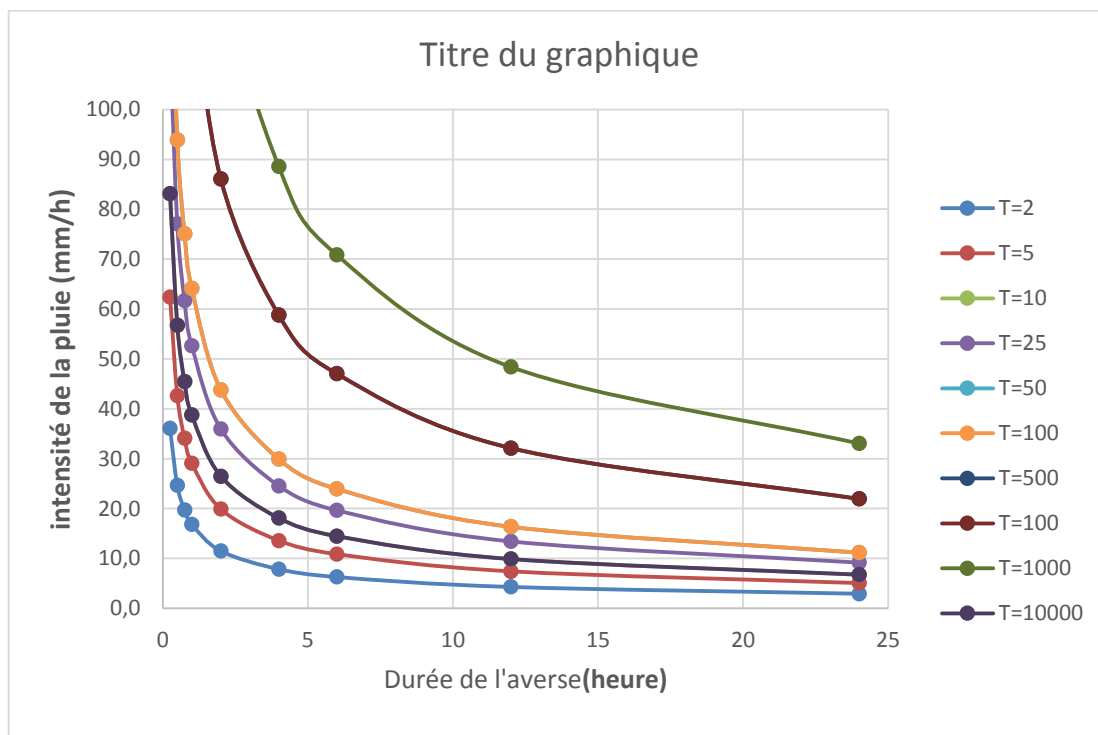


Figure 4. 4 Courbe IDF « Intensité – Durée – Fréquence »

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. On peut assimiler le temps de l'averse comme un temps de concentration qui le faut prendre en considération dans le dimensionnement des ouvrages d'évacuation de la crue.

Conclusion :

Les données traitées n'étaient pas homogènes, faute de disposer des données de pluies journalières depuis le début des observations. Les résultats varient ainsi selon la période, généralement la plus longue possible, prise en considération. Il est à noter que certaines données extrêmes ne peuvent être que dépassées au fur et à mesure que la période d'observation s'allonge.

Trois grands types de situations météorologiques sont à l'origine de précipitations importantes et intenses à Ghardaïa. Ce sont les passages de fronts polaires venus directement du secteur nord ou nord-ouest, et les orages parfois violents qui se déplacent selon une composante orientée sud-est. D'autre part, ce sont les fronts polaires venus de l'ouest et associés avec une dépression circulaire dont le centre se déplace de l'Ouest du Maroc vers l'est, ou vers le nord. Ces fronts s'accompagnent d'un appel d'air chaud et humide depuis le Sénégal ou la Mauritanie (dépressions saoudano-sahélienne). Ces systèmes s'accompagnent parfois de violentes convections, à l'origine de précipitation et de crues rares

La pluviométrie moyenne annuelle, à Ghardaïa, est de 76,32 mm, avec un écart-type de 34,0 mm. La médiane, susceptible d'être dépassée une année sur deux, est de 62,4 mm. La tendance sur 44 ans, est à une stabilisation de la moyenne. Un ajustement linéaire indiquerait une stabilité de la tendance tandis qu'un ajustement polynomial montre un minimum centré sur 1979, puis une remontée, probablement en raison de quelques années de fortes pluies en fin de période.

La pluie annuelle décennale a été évaluée à 38,77 mm, la centennale à 76,59 mm et la millennale à 125,99 mm.

Dans la région de Ghardaïa, on peut distinguer :

- Une saison de pluies d'hiver. Les dépressions qui la caractérisent sont à rattacher soit à des dépressions du front polaire, soit à des perturbations proprement sahariennes qui naissent au sud du Maroc, soit, enfin, à des « dépressions saoudano-sahariennes ».
- Une saison des pluies de printemps.
- Une saison d'été pluvieuse d'été marquée par des précipitations orageuses.

- Une saison de pluies d'automne, faisant suite de façon plus ou moins continue aux pluies d'été.

Les mois les plus pluvieux à Ghardaïa s'échelonnent de septembre à avril avec une grande sensibilité dans leur classement selon les groupes d'années pris en considération. Les totaux mensuels généralement les plus élevés sont ceux de novembre et mars. En ne comptant que les pluies journalières supérieures à 20 mm, les mois d'octobre et novembre, puis mars et janvier arrivent en tête.

Le pourcentage du nombre des pluies journalières supérieure ou égale à 0,1 mm est de 83% des jours sur la période de durée maximum qui a pu être traitée. Les nombres de jours de pluie journalière supérieure à 5 mm, 10 mm, et 20 mm, sont respectivement de 9%, 5.08%, et 2% par an. Le nombre relatif de fortes pluies est plus grand en hiver qu'en été.

Les périodes de sécheresse séparées par des pluies journalières de 5 mm durent 4 mois en moyenne. Les durées de sécheresses les plus longues observées sont de 2 an pour des pluies d'au moins 5 mm, et de 6 ans pour des pluies d'au moins 10 mm. Le fait le plus important est que la durée des phases pluvieuses est assez longue en hiver. Par contre en plein été, et particulièrement en juillet, les périodes pluvieuses sont toujours de courtes durées, comprises entre une heure et quelques minutes.

Les pluies journalières de hauteurs supérieures ou égales respectivement à 5 mm, 10 mm et 25 mm représentent respectivement environ 83%, 5.08%, et 2% du total annuel. Plus de la moitié du total annuel est encore donné par des précipitations supérieures à 5 mm tombant avec une intensité moyenne supérieure à 1 mm / h. Cette proportion n'est plus que de 20 à 40 % pour une intensité moyenne supérieure à 2 mm / h. Les pluies supérieures à 7,5 mm donnent la moitié du total annuel.

La pluie extrême observée à Ghardaïa a été de 54,8 mm (sur 44ans). On relève 50 mm en deuxième position. Les hauteurs de pluies journalières ont été ajustées au plusieurs lois notamment celles de Gausse, Galton et Gumbel. Le meilleur ajustement est correspond à loi de Galton. Les pluies journalières de fréquence décennale et centennale ont été évaluées respectivement à 38,77 mm et 76.59 mm. La pluie journalière quadri centennale a une hauteur de 109,73 mm. Enfin, la pluie millennale est déterminée à 125.99 mm. La pluie journalière de 57,1 mm a une période de retour de 35 ans.

Les intensités de pluie sont faibles de décembre à février. Ce sont les longues et lentes précipitations d'hiver. En fin de printemps et au début de l'automne, éventuellement en été, les intensités sont nettement plus fortes car elles correspondent à des averses orageuses. L'étude des intensités sur des pas de temps variables de quelques minutes n'a pas permis, compte tenu de la trop courte période d'observation disponible d'individualiser de très fortes intensités. La plus élevée n'a pas dépassé 27 mm/h en 3 minutes. L'existence de rafales de durée de quelques minutes au cours de pluies plus fines a été mise en évidence

Cela dit, tant au point de vue des durées que des intensités, les pluies sahariennes ne sont pas très originales. Si la plupart d'entre elles ont des durées relativement courtes, certaines, en hiver notamment peuvent persister de plusieurs heures à quelques jours.

Il est probable que la pluie soit plus forte sur les sommets que dans la vallée des oueds en raison de la dépression topographique. Aucune observation ne permet cependant d'étayer cette remarque.

Annexe

Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
-1,257	2,9	-9,9	-13,5	-7,0
-1,168	4	-4,3	-7,7	-1,4
-0,943	6,8	-1,3	-4,4	1,4
-0,927	7	0,9	-2,2	3,5
-0,919	7,11	2,6	-0,5	5,3
-0,919	7,11	4,1	1,0	6,7
-0,855	7,9	5,3	2,3	8,0
-0,847	8	6,5	3,5	9,1
-0,783	8,8	7,6	4,6	10,2
-0,775	8,9	8,6	5,6	11,1
-0,735	9,4	9,5	6,6	12,0
-0,703	9,8	10,4	7,5	12,9
-0,686	10	11,2	8,4	13,7
-0,686	10	12,0	9,2	14,6
-0,646	10,5	12,8	10,0	15,3
-0,614	10,9	13,6	10,8	16,1
-0,582	11,3	14,3	11,6	16,8
-0,534	11,9	15,0	12,3	17,5
-0,526	12	15,8	13,0	18,2
-0,478	12,6	16,5	13,8	18,9
-0,446	13	17,2	14,5	19,6
-0,286	14,99	17,9	15,3	20,3
-0,189	16,2	18,5	16,1	20,9
-0,108	17,2	19,2	16,8	21,6
-0,052	17,9	19,9	17,5	22,4
-0,044	18	20,6	18,2	23,1
-0,044	18	21,3	18,9	23,8
-0,036	18,1	22,1	19,6	24,5
0,004	18,6	22,8	20,4	25,2
0,040	19,05	23,5	21,1	26,0
0,133	20,2	24,3	21,9	26,8
0,197	21	25,1	22,7	27,6
0,358	23	25,9	23,5	28,5
0,358	23	26,7	24,3	29,3
0,438	24	27,6	25,2	30,3
0,494	24,7	28,5	26,1	31,2
0,598	26	29,5	27,0	32,3
0,751	27,9	30,6	28,0	33,5
0,920	30	31,8	29,1	34,9
1,161	33	33,0	30,2	36,4
1,450	36,6	34,5	31,4	38,3
2,205	46	36,2	32,3	41,2
2,245	46,5	38,4	34,4	43,5
2,526	50	41,4	37,0	46,9
2,911	54,8	47,0	42,1	53,2

TABLE 1 les valeurs d'Ajustement de la série pluviométrique à la loi de Normal

Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
-2,287	2,9	3	-4,010	10,778
-1,834	4	5	-1,817	10,921
-1,593	6,8	5	-0,530	11,188
-1,420	7	6	0,456	11,480
-1,282	7,11	7	1,286	11,784
-1,164	7,11	7	2,021	12,096
-1,061	7,9	8	2,691	12,415
-0,967	8	8	3,316	12,740
-0,882	8,8	8	3,906	13,074
-0,803	8,9	9	4,471	13,415
-0,728	9,4	9	5,017	13,766
-0,657	9,8	10	5,548	14,126
-0,589	10	10	6,069	14,496
-0,524	10	11	6,582	14,878
-0,461	10,5	11	7,090	15,273
-0,400	10,9	12	7,596	15,680
-0,341	11,3	12	8,101	16,103
-0,282	11,9	13	8,608	16,540
-0,225	12	13	9,119	16,995
-0,168	12,6	14	9,635	17,468
-0,112	13	14	10,159	17,962
-0,056	14,99	15	10,692	18,477
0,000	16,2	15	11,237	19,016
0,056	17,2	16	11,796	19,581
0,112	17,9	16	12,372	20,175
0,168	18	17	12,968	20,801
0,225	18	18	13,586	21,463
0,282	18,1	18	14,231	22,163
0,341	18,6	19	14,907	22,908
0,400	19,05	20	15,619	23,703
0,461	20,2	20	16,373	24,555
0,524	21	21	17,176	25,473
0,589	23	22	18,039	26,466
0,657	23	23	18,972	27,550
0,728	24	24	19,990	28,739
0,803	24,7	26	21,113	30,058
0,882	26	27	22,367	31,535
0,967	27,9	29	23,790	33,214
1,061	30	30	25,433	35,156
1,164	33	32	27,379	37,454
1,282	36,6	35	29,763	40,261
1,420	46	38	31,970	44,708
1,593	46,5	43	35,545	50,333
1,834	50	50	46,380	54,159
2,287	54,8	68	63,724	71,503

TABLE 2 les valeurs d'Ajustement de la série pluviométrique à la loi de log Normal

Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
-1,504	2,9	-1,66	-5,8068	1,3248
-1,224	4	1,05	-2,5314	3,7143
-1,061	6,8	2,64	-0,6473	5,1240
-0,938	7	3,84	0,7724	6,2090
-0,834	7,11	4,84	1,9503	7,1277
-0,743	7,11	5,73	2,9780	7,9455
-0,660	7,9	6,53	3,9029	8,6966
-0,583	8	7,28	4,7530	9,4015
-0,511	8,8	7,98	5,5465	10,0736
-0,442	8,9	8,65	6,2958	10,7222
-0,375	9,4	9,30	7,0099	11,3542
-0,311	9,8	9,93	7,6955	11,9750
-0,248	10	10,54	8,3579	12,5889
-0,186	10	11,14	9,0015	13,1995
-0,124	10,5	11,74	9,6296	13,8097
-0,064	10,9	12,32	10,2454	14,4222
-0,003	11,3	12,91	10,8516	15,0395
0,057	11,9	13,50	11,4504	15,6638
0,118	12	14,09	12,0442	16,2973
0,179	12,6	14,68	12,6351	16,9420
0,240	13	15,28	13,2251	17,6000
0,303	14,99	15,89	13,8164	18,2735
0,367	16,2	16,50	14,4110	18,9646
0,431	17,2	17,13	15,0110	19,6758
0,498	17,9	17,78	15,6189	20,4097
0,566	18	18,44	16,2370	21,1691
0,636	18	19,12	16,8680	21,9574
0,708	18,1	19,82	17,5150	22,7781
0,784	18,6	20,55	18,1811	23,6358
0,862	19,05	21,32	18,8704	24,5354
0,944	20,2	22,12	19,5872	25,4829
1,031	21	22,96	20,3368	26,4858
1,123	23	23,85	21,1256	27,5529
1,220	23	24,80	21,9614	28,6955
1,325	24	25,82	22,8542	29,9276
1,439	24,7	26,92	23,8165	31,2679
1,564	26	28,13	24,8653	32,7408
1,702	27,9	29,47	26,0236	34,3803
1,858	30	30,99	27,3241	36,2348
2,037	33	32,73	28,8161	38,3770
2,250	36,6	34,80	30,5784	40,9241
2,514	46	37,36	32,7498	44,0820
2,862	46,5	40,74	35,6111	48,2687
3,384	50	45,81	39,8875	54,5643
4,494	54,8	56,59	48,9373	67,9783

TABLE 3 les valeurs d'Ajustement de la série pluviométrique à la loi de Gumbel

v	$\alpha = 0,990$	$\alpha = 0,975$	$\alpha = 0,950$	$\alpha = 0,900$	$\alpha = 0,100$	$\alpha = 0,050$	$\alpha = 0,025$	$\alpha = 0,010$	$\alpha = 0,001$
1	0,0002	0,0010	0,0039	0,0158	2,71	3,84	5,02	6,63	10,83
2	0,02	0,05	0,10	0,21	4,61	5,99	7,38	9,21	13,82
3	0,12	0,22	0,35	0,58	6,25	7,81	9,35	11,34	16,27
4	0,30	0,48	0,71	1,06	7,78	9,49	11,14	13,28	18,47
5	0,55	0,83	1,15	1,61	9,24	11,07	12,83	15,09	20,52
6	0,87	1,24	1,64	2,20	10,64	12,59	14,45	16,81	22,46
7	1,24	1,69	2,17	2,83	12,02	14,07	16,01	18,47	24,32
8	1,65	2,18	2,73	3,49	13,36	15,51	17,53	20,09	26,13
9	2,09	2,70	3,33	4,17	14,68	16,92	19,02	21,67	27,88
10	2,56	3,25	3,94	4,87	15,99	18,31	20,48	23,21	29,59
11	3,05	3,82	4,57	5,58	17,27	19,67	21,92	24,72	31,26
12	3,57	4,40	5,23	6,30	18,55	21,03	23,34	26,22	32,91
13	4,11	5,01	5,89	7,04	19,81	22,36	24,74	27,69	34,53
14	4,66	5,63	6,57	7,79	21,06	23,68	26,12	29,14	36,12
15	5,23	6,26	7,26	8,55	22,31	25,00	27,49	30,58	37,70
16	5,81	6,91	7,96	9,31	23,54	26,30	28,84	32,00	39,25
17	6,41	7,56	8,67	10,08	24,77	27,59	30,19	33,41	40,79
18	7,01	8,23	9,39	10,86	25,99	28,87	31,53	34,80	42,31
19	7,63	8,91	10,12	11,65	27,20	30,14	32,85	36,19	43,82
20	8,26	9,59	10,85	12,44	28,41	31,41	34,17	37,57	45,32
21	8,90	10,28	11,59	13,24	29,61	32,67	35,48	38,93	46,80
22	9,54	10,98	12,34	14,04	30,81	33,92	36,78	40,29	48,27
23	10,20	11,69	13,09	14,85	32,01	35,17	38,08	41,64	49,73
24	10,86	12,40	13,85	15,66	33,20	36,41	39,37	42,98	51,18
25	11,52	13,12	14,61	16,47	34,38	37,65	40,65	44,31	52,62
26	12,20	13,84	15,38	17,29	35,56	38,88	41,92	45,64	54,05
27	12,88	14,57	16,15	18,11	36,74	40,11	43,19	46,96	55,48
28	13,57	15,31	16,93	18,94	37,92	41,34	44,46	48,28	56,89
29	14,26	16,05	17,71	19,77	39,09	42,56	45,72	49,59	58,30
30	14,95	16,79	18,49	20,60	40,26	43,77	46,98	50,89	59,70

TABLE 4 De distribution de khie2 (loi de K.Pearson)

Abréviation

ONM : Office nationale de météo

A.N.R.H : Agence national de la ressource hydrique

Coure I.D.F : Courbe intensité durée fréquence

DDL : Degré de liberté

P-value : Paramètre value

P_j : pluie journalier

P_{jmax} : pluie journalier maximal

Référence bibliographiques

- [1] DUBIEF J. (1953) : Essai sur l'hydrologie superficielle au Sahara. Institut de Météorologie et de Physique du Globe de l'Algérie ; Service des Etudes Scientifiques Alger, Algérie. 451p.
- [2] DUBIEF J. (1959) : Le climat du Sahara. Ed : Inst. Rech. Saha., Alger. Mémoire h.s.Tome I. 307 pages.
- [3] DUBIEF J. (1963) : Le climat du Sahara. Ed : Inst. Rech. Saha., Alger. Mémoire h.s. Tome II. 298 pages.
- [4] ROCHE M. (1963) : Hydrologie de surface, Gauthier-Villars, Paris.
- [5] Résumé - CHAPITRE 3 : LES PRECIPITATIONS- PDF.
- [6] ROCHE.GAUTHIER - hydrologie de surface. Villars éditeur- Paris 1963.
- [7] BENADDA Lotfi - les conditions climatiques – Ghardaïa 2012 - DOC.
- [8] OULED BELKHIR CHEIKH : Article reconstitution des crues DU RÉGIME DES CRUES SUR OUED M'ZAB (SAHARA SEPTENTRIONALE) Période 1921-2012
- [9] Magister ACHOUR (Ghardaïa) thème sur Vulnérabilité et protection des eaux souterraine en zone aride : cas de la vallée de M'Zab
- [10] J.P. LABORDEE - ELEMENTS D'HYDROLOGIE DE SURFACE - édition 2000- PDF.
- [11] SAOUCHA Lamia - Thèse : Etude de faisabilité d'une digue sur oued Laadhira Ghardaïa (ENP) - Octobre 2009.
- [12] Etude d'assainissement et de protection contre les crues d'oued M'Zab - Etude d'impact - Association BG-ENHPC - juin 2000