



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE



MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT

SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université Larbi Ben M'hidi– OUM EL BOUAGHI –

Faculté : Sciences et Sciences Appliquées

Département : Hydraulique

Filière : Hydraulique Urbaine

Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme du Magistère en
"Aménagement Hydraulique et Environnement"

Thème

**Quantification du transport solide et la pollution
dans le barrage de Foug El Gherza (Wilaya de
Biskra)**

Présenté par : Fadhila FARTAS

Devant le jury composé de :

Dr. B. BOUDAUD	Grade M.C.	Président	Université d'Oum-El-Bouaghi
Dr. A. KHIARI	Grade Prof.	Examineur	Université d'OumEl-Bouaghi
Dr. S. HAMOUDI	Grade Prof.	Examineur	Université de Chlef.
Dr. D. BOTATAOU	Grade M.C.	Examineur	Université d'Ouargla.
Dr. B. REMINI	Grade Prof.	Rapporteur	Université de Blida.

2013-2014

DEDICACE

Je dédie ce mémoire de fin d'étude à mes trop chers Parents, qui m'ont toujours soutenu par leurs encouragements permanents, ce qui m'a permis de poursuivre ma passion, je ne cesserai de les remercier, en leur souhaitant une longue vie pleine de joie.

A tous mes frères et sœurs

Abd Araouf, Hassane, Nasre Adine et Imen

A tous ma famille

A mes amies : Souad, Asma, Aida, Zineb, Imen, Ibtessem Radia, Mona et Sonia.

A tous ceux qui sont présent dans mon cœur et absents entre ces lignes.

A tous ceux que j'aime.

Fadhila

REMERCIEMENTS

Au terme de ce mémoire, nous tenons à remercier le bon Dieu qui nous a donné le courage et la force pour mener à bien ce modeste travail.

Je ne sais comment ce travail serait fait si ce n'était la présence et le soutien de plusieurs personnes que je dois remercier.

Mes remerciements particuliers vont : A mon encadreur Mr B. Remini, Professeur à l'université de Blida, pour avoir accepté de m'encadrer et en particulier à mon co-encadreur Mr Marouf Nadir, Maître de conférences à l'université d'Oum-El-Bouaghi pour tous ses efforts, ses conseils, sa disponibilité et sa grande contribution à l'élaboration de ce travail.

Nous tenons à exprimer nos remerciements les plus sincères aux membres du jury qui ont accepté de juger notre travail et avoir honoré de leurs présences, en particulier :

Dr B. Boudaoud, maître de conférences à l'université d'O.E.B qui m'a fait l'honneur de présider le jury. Je lui en suis très reconnaissant. Mr A. Khiari, Professeur à l'université de Biskra, Mr S. Hamoudi, professeur à l'université de Chlef, Mr D. Boutataou, maître de conférences à l'université d'Ouargla pour bien également accepter de juger le contenu de ce travail et participer au jury

Tous le personnel de l'A.N.R.H et l'A.B.H de Constantine également MS.Techtach, MS. Hadeff, M^{me}Yousfi.

Tous le personnel de l'A.N.R.H et l'A.B.H de Ouargla également MS. Benbrahim.

Tous le personnel de l'A.N.R.H et l'A.B.H de Biskra également MS. Meftah et MS. Halel.

Enfin, je saisis cette même occasion pour remercier mon père, mais amis et toutes les personnes ayant contribué, de près ou de loin, à l'élaboration de ce travail.

Merci à tous

Fadila

Résumé :

L'envasement des barrages constitue sans doute la conséquence la plus grave de l'érosion hydrique. Les effets néfastes de ce phénomène sont nombreux, allant de la réduction considérable de la capacité d'emménagement et de stockage du barrage, jusqu'à la dégradation nette de la qualité de l'eau du barrage (l'eutrophisation des eaux). La gestion des barrages en exploitation en Algérie nécessite une étude prévisionnelle des dépôts des sédiments pour l'actualisation de la courbe hauteur capacité. La prévision de l'envasement est une étape indispensable pour tout projet de faisabilité d'un barrage et le suivi régulier des apports solides dans un barrage est nécessaire pour un éventuel dévasement de la retenue.

Notre travail consiste à une définition préalable de l'ensemble des paramètres géomorphologiques, géologiques, hydrologiques et climatiques du bassin versant d'Oued Abiod à été effectuée. L'analyse quantitative et qualitative détaillée des débits liquides et des débits solides a permis de dégager des relations temporaires (annuelles mensuelles, saisonnières et à l'échelle de crue) entre le transport solide et le débit liquide. L'examen détaillé des relations entre les débits liquides et les débits solides instantanés puis saisonnières et celui des concentrations en fonction des débits de crue par l'utilisation des courbes en hystérésis ont permis d'identifier les principales classes d'évolution, qui sont les courbes dans le sens des aiguilles d'une montre puis dans le sens contraire et enfin en forme de huit.

Ce travail permettra d'étudier et de suivre l'envasement du barrage de Foug El Gherza ont se basant sur des mesures instantanées de débit liquide et de concentration des sédiments en suspension dans le but de l'obtention des relations temporaires (annuelles mensuelles, saisonnières et à l'échelle de crue) et en comparant nos résultats avec les différentes levées bathymétriques élaborés dans la retenue du barrage.

Mots clés :

Transport, Sédiments en suspension, concentration, débit, hystérésis, pollution, envasement.

Abstract :

The silting of dams is perhaps the most serious consequence of water erosion. The adverse effects of this are many, ranging from the dramatic reduction in storage capacity and storage dam to the sharp deterioration in the quality of the dam water (eutrophication) . Management of dams in operation in Algeria need a predictive study of sediment deposits for updating the capacity height curve. The forecast of siltation is a prerequisite for any project feasibility of a dam and regular monitoring of sediment yield in a dam is necessary for possible desalting of the reservoir stage .

Our job is to pre- set definition of geomorphological , geological, hydrological and climatic parameters of the watershed of Wadi Abiod has been made. Detailed quantitative and qualitative analysis of liquid and solid flow rates has identified temporary relationships (annual monthly, seasonal and wide flood) between sediment transport and water discharge . Detailed examination of the relationship between the liquid flow and instant and seasonal sediment discharge and the concentration- flood flows through the use of hysteresis curves have identified the main change classes , which are the curves of its clock hand and in the opposite direction and finally figure of eight .

This work will investigate and monitor the siltation of Foun El Gherza were based on instantaneous measurements of fluid flow and concentration of suspended sediment in order to obtain monthly temporary relationships (annual, seasonal and wide flood) and compare our results with different bathymetric lifted developed in the selected dam .

Keywords :

Transport , Suspended Sediments , concentration, flow, hysteresis , pollution, siltation.

ملخص:

توحد السدود يتكون بدون شك نتيجة الانجراف المائي. الآثار السلبية لهذه الظاهرة كثيرة، بدءاً من انخفاض هائل في قدرة تخزين السد إلى غاية التدهور الحاد في نوعية مياه السد (ظاهرة زيادة الأملاح المعدنية). إن عملية تسيير السدود في الجزائر بحاجة إلى دراسة تقديرية للرواسب لتحديث منحنى ارتفاع - قدرة. تعيين قيمة التوحد هي مرحلة أساسية من أجل جدولة مشروع سد والرصد المنتظم للحمل العالق في السد أولوية أساسية للحد من التوحد.

هذا العمل يعتمد على المعرفة المسبقة لمجموعة المتغيرات الجيومورفولوجية والجيولوجية والهيدرولوجية والمناخية لحوض الصب للوادي الأبيض والتي تم إنجازها. إن التحليل الكمي والكيفي المفصل لمعدلات تدفق المواد السائلة والرواسب يبين العلاقة الزمنية (سنوية، شهرية، فصلية حسب سلم الفيضانات) وكذلك بين الحمل العالق و تدفق المواد السائلة. وقد حددت دراسة تفصيلية للعلاقة بين التدفق و الحمل العالق اللحظي والموسمي، وتركيز الرواسب بدلالة تدفق الفيضان من خلال استخدام منحنيات التزامن والتي تسمح بالمطابقة مع أصناف التطور الرئيسي، والتي هي منحنيات في اتجاه عقارب الساعة أو في الاتجاه المعاكس أو على شكل الرقم ثمانية.

وهذا العمل يسمح بدراسة و متابعة التوحد في سد فم الغرزة استناداً على القياسات اللحظية للتدفق و الحمل العالق من أجل الحصول على علاقات مؤقتة (السنوية و شهرية والموسمية حسب سلم الفيضان) ومقارنة نتائجنا مع الاعماق المختلفة للصادرات التي وضعت في السد .

الكلمات المفتاحية:

الحمل العلق، التركيز، تدفق، منحنيات التقديرات، التلوث، توحد .

Sommaire

Introduction Générale.....	001
PREMIERE PARTIE	
CHAPITRE I: RECELS BIBLIOGRAPHIQUES ET THEOREQUES	
I.1. Introduction.....	004
I.2. Généralité.....	005
I.3- Les principaux agents de l'érosion.....	007
I.3.1- Intensité et agressivité des précipitations.....	007
I.3.2- Le ruissellement.....	008
I.3.3- Effet de la pente	008
I.3.4- Le couvert végétal	009
I.4- Forme de manifestation de l'érosion hydrique	009
I.4.1- Erosion en nappe	009
I.4.2- Erosion linéaire.....	009
I.4.3- Erosion en griffes et rigoles.....	010
I.4.4- Erosion par ravinement	010
I.5- Quantification d'érosion hydrique.....	011
I.5.1- Formule de Wischmier et Smith (1978).....	011
I.5.2- Formule de Fournier (1960).....	011
I.5.3- Formule de Tixeront (1960).....	011
I.5.4- Formule de la Sogreah	012
I.5.5- Formule de Demmak (1982)	012
I.5.6- Modèle de Touiabia (2000).....	013
I.5.7- Méthodes liées à la mesure de la turbidité	013
II- Le transport solide.....	015
II.1- Les apports solides par charriage.....	016
II.2- Les apports solides en suspension	018
II.3- Approches méthodologiques pour la Quantification du transport des sédiments.....	020
II.4- La mesure des transports solides charrie sur le fond du lit des cours d'eau.....	024
II.4.1- Les anciennes méthodes de mesure du charriage et leur examen critique.....	024
II.4.2- Les Méthodes modernes de mesure du charriage.....	027
II.4.2.1. La méthode des peintures et résines	027
II.4.2.2. La méthode des traceurs luminescents.....	028
II.4.2.3. La méthode des traceurs radioactifs	028
II.5. La mesure des transports solides effectuée en suspension par les cours d'eau.....	031
II.5.1- Principes des méthodes de mesure	031
II.5.2- Appareillage pour la mesure des transports solide en suspension.....	033
II.6- Méthodes d'estimation des charges solides.....	035
II.6.1- Méthode numérique.....	035
II.6.2- Méthode de régression.....	035
II.7 – Rappel bibliographique des travaux sur le transport solide en Algérie.....	036
II.7.1- Medinger (1960).....	036
II.7.2- Tixeront (1960).....	036
II.7.3- Capolini (1965-1969).....	037
II.7.4- Sogreah (1969).....	037
II.7.5- Demmak (1982).....	037
III. Moyens de lutte contre l'érosion et l'envasement des barrages.....	038
IV- Conséquences et les méthodes de prévision et défense	038
IV.1- Conséquences du phénomène du transport solide	038
IV.1.1- Mécanisme de l'envasement	038
IV.1.1.1- Comportement des sédiments fins	039

IV.1.1.2- Comportement des sédiments grossiers	039
IV.2- Méthodes de prévision des apports solides	039
IV.3- Méthodes de lutte contre l'érosion et le transport solide	039
IV.3.1- Procédés agro techniques.....	040
IV.3.2- Les cours d'eau	040
CHAPITRE II: PRESENTATION DE LA REGION D'ETUDE	
I. Présentation du bassin versant l'Oued El Abiod.....	042
I.1. Situation géographique.....	042
I.2.Morphométrie du bassin versant.....	044
I.2.1.La forme.....	044
I.2.2.Rectangle équivalent.....	044
1. Longueur du rectangle équivalent.....	044
2. Largeur du rectangle équivalent.....	045
I.2.3.Caractéristiques des altitudes (le relief).....	045
I.2.3.1.Courbe hypsométrique.....	045
I.2.3.2.Indice de pente globale.....	047
I.2.3.3.Dénivelée spécifique DS.....	047
I.2.4.Caractéristiques hydrographiques du bassin versant.....	048
I.2.4.1.Densité de drainage Dd.....	048
I.2.4.2.Coefficient de torrentialité.....	048
I.2.4.3.Temps de concentration.....	051
II. Caractéristiques climatiques du bassin versant.....	052
II.1.Les précipitations et leur variabilité.....	052
II.2.Equipement du Bassin Versant.....	053
II.3.Les températures moyennes mensuelles.....	053
II.4. Régime climatique.....	054
II.5. Indice d'Aridité	055
II.6.L'humidité relative de l'air.....	056
II.7.Les Vent.....	056
II.8.L'évapotranspiration.....	057
III. Le cadre géologique et lithologique du bassin versant.....	059
III.1Introduction.....	059
III.2. Caractéristiques physiques du bassin versant.....	060
III.2.1.Structure géologique du bassin versant.....	060
III.2.2- Stratigraphie.....	061
III.2.2.1-Trias.....	061
III.2.2.3-Le Crétacé.....	061
III.2.2.2-Jurassique	061
III.2.2.3-Le Crétacé.....	061
III.2.2.4-LE Paléogène (Nummulitique).....	061
III.2.2.5-Le Néogène	062
III.2.2.6-Quaternaire.....	062
III.3.La cuvette.....	065
III.4.Etanchéité de la cuvette.....	065
III.5.Tectonique.....	065
III.6.Fondation du barrage.....	065
IV. Couvert végétal.....	066
IV.1. Superficies bien protégées en permanence.....	066
IV.2. Superficies moyennement protégées par le couvert végétal.....	066
IV.3. Superficies mal protégées ou totalement nues.....	067
VI. GEOPHYSIQUE.....	068
VI. Fonctionnement actuel du barrage.....	069

VI.1. Présentation du barrage Foug El Gherza.....	069
VI.1.1.La vôte.....	069
VI.1.2.La culée rive gauche.....	070
CHAPITRE III: Analyse des précipitations	
I.1. Hydrologies du bassin versant.....	072
I.1.1 Etude de Précipitation.....	072
I.1.1. Comblement des lacunes.....	073
I.1.2- Interprétation des caractéristiques statiques	075
Le coefficient d'asymétrie.....	075
Le coefficient d'aplatissement.....	075
Le coefficient de variation Cv	075
I.1.3. Analyse en composantes principales (ACP) des précipitations annuelles	075
I.1.3.1- Analyse des résultats de l'ACP.....	076
I.1.3.2- Ajustement des vecteur C1 à une loi de probabilité.....	079
I.1.3.3- Stations représentatives de bassin Oued Abiod.....	080
I.1.3.4- Ajustement des Précipitations annuelles à une loi de probabilité.....	081
I.2- Analyse par ACP du régime pluviométrique mensuelle.....	085
I.2.1-Présentation des résultats.....	087
I.2.1.1- Ajustement des Précipitation mensuelles à une loi de probabilité.....	087
I.2.1.2- Analyse des résultants de l'ACP.....	088
I.2.2- Interprétation des résultats d'ACP mensuel.....	089
I.2.2.1- Ajustement de vecteur C1 à une loi de probabilité.....	090
I.3- Ajustement des précipitations journalières à une loi de probabilité.....	094
II.1- Courbes Intensité-Durée-Fréquence.....	099
CHAPITRE IV: ANALYSE DES ECOULEMENT	
I-Introduction.....	101
II.2- Débit moyen annuels.....	101
II.2.1- Variations des débits annuels moyens bruts (m3/s).....	103
II.2.2-Variations des débits annuels moyens spécifiques Mo (l/s/km2).....	104
II.2.3- L'irrégularité inter annuelle des écoulements et leur répartition statistique.....	104
II.2.3.1- L'hydraulicité.....	104
II.2.3.2- Coefficient de variation.....	104
II.2.4- Etude statistique des modules.....	106
II.2.5- Le bilan hydrologique et le déficit annuel d'écoulement.....	108
II.2.6- Variation précipitations-écoulements.....	109
II.3- Variabilité saisonnière et mensuelle de l'écoulement.....	110
II.4- Modification inter annuelles du régime saisonnier.....	112
II.5- Variations journalières des débits.....	112
III. ETUDE DES DEBIT EXTREMES	114
III.1.les crues	114
III.1.1- Les crues de saison froide	116
a)- leur genèse, leur répartition temporelle et spatiale.....	116
b)- L'exemple de la crue de 3 Novembre 1982.....	116
III.1.2- Les crues de saison chaude.....	117
a)- leurs caractères généraux.....	117
b)- l'exemple de la crue de 20-21 Septembre 1989.....	117
III.1.3- Puissance des crues.....	119
III.1.4- Rapport débit de pointe /débit moyen journalier maximal.....	119
III.1.5- Apport de crues.....	120
III.1.6- Relation entre le volume total écoulé pendant la crue et le débit moyen.....	121
III.1.7- Relation entre le volume total écoulé pendant la crue et le débit maximal.....	123
III.1.8- Etude statistique des débits maximaux.....	124

III.2- Conclusion.....	126
CHAPITRE V: COLLECTE ET MISE EN FORME DES DONNEES	
Introduction.....	127
I- Collecte et mise en forme des données	127
II- Dépouillement des données	128
III- Données d'apport à la retenue de Foum El Gherza.....	129
IV- Présentation et mise en forme.....	129
IV.1 Classification des données.....	129
V-Répartition de la totalité des données	131
V.1- Données et méthodes	131
V.2- Analyse des débits instantanés.....	131
V.3. Répartition de la monté et la décrue de la totalité des donnés	132
V.4.Répartition annuelles des débits solides-débits liquides.....	133
V.5.Répartition mensuelles des débits solides-débits liquides	135
V.6. Répartition saisonnières des débits solides-débits liquides.....	138
V.6.1- Analyse graphique.....	138
VI-Analyse des crues.....	139
CHAPITRE VI: TRAITEMENT ET ET INTERPRETATION DES RESULTATS	
Introduction.....	146
II. Méthode de régression linéaire	147
II.1 Avantage d'un modèle.....	147
II.1.1 Estimation des paramètres du modèle.....	147
II.1.2 Méthode des moindres carrés.....	147
II.1.3 Coefficient de corrélation.....	148
II.2 Présentation des modèles régressifs.....	148
II.2.1 Modèle linéaire « type de droite ».....	148
II.2.2 Modèle logarithmique.....	149
II.2.3 Modèle de l'exponentiel.....	149
II.2.4 Modèle puissance.....	149
II.2.5 Modèle polynial.....	149
III.TRAITEMENT DES DONNES.....	150
III.1 Recherche des relations : Débit liquide-concentration-débit solide.....	150
III.1.1 Choix du modèle.....	150
III.1.2 Recherche de relation débit – concentration.....	151
III.1.3 Evaluation des apports annuels.....	151
IV.1-Calcul des débits et quantification	152
IV.1.1- Calcul du débit solide	152
IV.1.2- Quantification du transport solide en suspension.....	152
IV.2- Evaluation des apports annuels.....	155
Apports liquides.....	156
Apports solides.....	156
IV.3- Calcul du transport solide par charriage.....	156
IV.4-L'érosion spécifique	158
IV.4.1 Calcul du taux d'érosion spécifique	158
Discussion des résultats	158
IV.4.2 Estimation du taux d'érosion spécifique par la méthode de T'ixeront	159
IV.4.3- Résultats de l'érosion spécifique.....	160
Variation de l'érosion spécifique.....	160
IV.4.4- Rôle des crues dans le Transfer des sédiments en suspensions.....	162
IV.5- Influence des paramètres hydro-climatologique sur l'érosion.....	162
IV.5.1 Recherche de relation entre l'érosion spécifique et le coefficient d'écoulement.....	162
IV.5.2 Influence du débit maximum sur l'érosion.....	164

IV.5.3 Relation entre dégradation spécifique et lame d'eau ruisselée.....	166
IV.5.4 Variation du taux d'érosion et de la pluie annuelle.....	167
V. Application à l'envasement au droit du barrage de Foug El Gherza	169
V.1- Introduction	169
V.2- Envasement de la retenue.....	169
V.3- Constat de l'envasement actuel de la retenue de Foug El Gherza.....	169
VI. Conclusion.....	170
CHAPITRE VII: ANALYSE DE L'EFFET D'HYSTERESIS SUR LA RELATION C-Q	
I. Méthodologie	171
II. Application au bassin de Oued Abiod	174
III. Identification des classes de relation C-Q	175
IV. Conclusions.....	181
DEUXIEME PARTIE	
Chapitre I : Pollution des eaux de surface	
I. Introduction	182
II. Caractéristiques des eaux de surface.....	182
II.1 Définition des eaux de surface.....	182
II.1.2 Composition des eaux naturelles.....	182
II.1.2.1 Composition chimique.....	183
a- Les matières minérales.....	183
b- Les matières organiques.....	183
II.1.2.2 Composition physique.....	183
Les matières dissoutes.....	183
Les matières suspension (MES).....	184
Les matières colloïdales.....	184
III. Les paramètres de la qualité de l'eau	184
III.1. Les paramètres organoleptiques	184
III.2. Paramètre physico-chimiques en relation avec la structure naturelle des eaux.....	186
III.3. Les paramètres organiques	191
III.4. Les paramètres concernant des substances indésirables.....	192
III.5. Les paramètres concernant des substances toxiques	193
III.6. Les classes de qualité d'eau.....	195
III.6.1. La classe très bonne	195
III.6.2. Les classes bonne et passable :	195
III.6.3. La classe mauvaise	196
III.6.4 La classe très mauvaise.....	196
IV. La pollution des eaux de surface.....	196
IV.1. Définition de la pollution.....	196
IV.2. L'origine de la pollution des eaux de surfaces	196
IV.2.1. L'origine urbaine	196
IV.2.2. L'origine industrielle.....	197
IV.2.3. L'origine agricole	197
V. Les types de pollution	197
VI. Les signes caractéristiques de la pollution	198
VI.1. Les signes Caractéristiques physiques de la pollution	198
VI.2. Les signes caractéristiques chimiques de la pollution	198
VI.3. Les signes caractéristiques biologiques de la pollution.....	198
VI.4. Les impacts des pollutions de l'eau	199
VI.5. L'eutrophisation des lacs et des réservoirs.....	200
VI.5.1. Définition de l'eutrophisation.....	200
VI.5.2. Causes de l'eutrophisation	201
VI.5.3. Eutrophisation naturelle et eutrophisation anthropique.....	202

VI.5.4.Délimitation du problème de l'eutrophisation par rapport aux autres formes de pollution..	202
VI.5.5. Impact potentiel de l'eutrophisation sur la santé de l'homme et la salubrité des écosystèmes.....	203

Chapitre II : Etude Expérimentale

I.Introduction	205
II. Prélèvement d'un échantillon d'eau	205
III- Les paramètres physico-chimiques	206
III.1- Mesure de pH	206
III.2- Détermination de la conductivité électrique	206
III.3- Détermination des titres hydrométriques TH	207
III.4- Détermination de l'alcalinité TA et TAC	208
III.5- Détermination de la turbidité	209
III.6- Détermination des chlorures par la méthode de Mhor	209
III.7- Détermination des sulfates (SO_4^{2-})	210
III.8- Détermination du DBO	211
III.9- Mesure d'oxygène dissous.....	212
III.10- Détermination des matières en suspension (MES) par centrifugation.....	212

Chapitre III : Résultat et discussion

I. Paramètres indicateurs de pollution.....	214
I.1. Etude du Paramètre NH_4^+	214
I.2. Variation de paramètre NO_2^-	214
I.3. Variation de paramètre O_2 dissous	215
I.4. Variation de paramètre NO_3^-	216
I.5.Variation de paramètre SO_4	216
I.6.Variation de la turbidité	217
I.7.Variation de paramètre PO_4	218
I.8.Variation de paramètre DCO.....	218
I.9. Variation de paramètre DBO_5	219
I.10. La qualité des cours d'eau du bassin Foug El Gherza (2008-2011).....	219
II. Résultats organoleptiques et physico-chimiques des eaux du barrage de Foug El Gherza.....	220
II.1. PH.....	220
II.2. Conductivité	220
II.4. Les Chlorures.....	220
III. Interprétation des paramètres de pollution	220
IV.- Analyse en composantes principales (ACP) des paramètres de pollutions.....	222
IV-1. Analyse des résultats de l'ACP	222
IV-2- Ajustement des vecteur C1 à une loi de probabilité.....	226
V- L'Analyse par régression multiple des paramètres de pollution.....	231
Régression multiple entre les paramètres (PO_4 , MES_{105} , NO_2 , PH).....	231
Régression multiple entre les paramètres (NO_2 , DCO, O_2 diss, PO_4 , NH_4).....	232
Régression multiple entre les paramètres (Ca, Cod, SO_4 , O_2 diss, Saturant, Rs_{105} , MOAcid).....	232
Régression multiple entre les paramètres (Cod, Ca, SO_4 , Rs_{105} , Cl, DCO).....	233
Régression multiple entre les paramètres (Cod, Ca, SO_4 , Rs_{105} , Cl, DCO, MOAcid , Saturat, Na)....	234
Régression multiple entre les paramètres (DCO, Mg, Cod, Cl, Rs_{105}).....	235
Régression multiple entre les paramètres (Cl, Rs_{105} , Cod, DCO).....	236
Régression multiple entre les paramètres (O_2 diss, NH_4 , NO_2 , PO_4 , DBO_5 , DCO, MOAcid , HCO_3)	236
Régression multiple entre les paramètres (O_2 diss, PO_4 , Ca, Saturat%, MOAcid , Ph).....	237
Régression multiple entre les paramètres (O_2 diss, NH_4 , PO_4 , MOAcid , NO_2).....	238
Régression multiple entre les paramètres (SO_4 , Rs_{105} , MOAcid , Cl, DCO, Cod).....	239
Régression multiple entre les paramètres (SO_4 , MOAcid , PO_4 , O_2 diss, NO_2).....	239
Régression multiple entre les paramètres (NH_4 , O_2 Saturant%, O_2 diss).....	240
Régression multiple entre les paramètres (O_2 Saturant%, O_2 diss, Ca, ph, Cl, Cod).....	241

Régression multiple entre les paramètres (MES105, T, DBO5, ph).....	241
Régression multiple entre les paramètres (Mn, Fe, Zn, Cu).....	242
Régression multiple entre les paramètres (Zn, Cu, Mn, Fe).....	243
Régression multiple entre les paramètres (Fe, MES105, MOAcid, SO4, PO4, NH4, NO2, O2diss)...	243
VI. Conclusion.....	244
Conclusion générale.....	245

Liste des Tableaux

PARTI(1) : Chapitre I : Recueils bibliographiques et Théoriques	
Tableau I.1 : Forme d'érosion hydrique.....	10
Tableau I.2 : Valeur de α pour différente perméabilité.....	12
Tableau I.3 : Les classe granulométriques utilisées dans le développement des formules de transport solide (Coiado et Paiva, 2005).....	23
Chapitre II : Présentation de la région d'étude	
Tableau II.1 : Variation de surface en fonction de l'altitude.....	46
Tableau II.2 :Variation de l'indice de pente global.....	47
Tableau II.3 : Classification de l'O.R.S.T.O.M du relief.....	48
Tableau II.4 : Résultats morphométriques et géométriques	51
Tableau II.5 : Caractérisation des stations pluviométriques et hydrométrie.....	53
Tableau II.6 : Températures moyennes mensuelles interannuelles.....	54
Tableau II.7 : Détermination du régime climatique par la méthode d'Euverte.....	54
Tableau II.8 : Humidité relative de l'air	56
Tableau II.9: Mesure des vitesses du vent.....	57
Tableau II.10 : Evolution du coefficient correctif mensuel K_m	57
Tableau II.11: les paramètres mensuelles a_i et b_i	58
Tableau II.12: ETP mensuelle selon ANRH-Penman à la station Mchouneche.....	58
Tableau II.13: ETP mensuelle selon ANRH-Penman à la station Mdina.....	58
Tableau II.14 : Les caractéristiques des matériaux du bassin versant.....	60
Tableau II.15 : Caractéristiques de chaque bassin.....	68
Chapitre III : Analyse des précipitations	
Tableau III.1 : Identification des stations pluviométriques de bassin versant du Chott Melrir.....	72
Tableau III.2 : Précipitation annuelles (mm) aux différentes stations pluviométrique.....	74
Tableau III.3: Moyenne, Ecart des variables initiales.....	76
Tableau III.4:Matrice des coefficients de corrélation entre les variables.....	76
Tableau III.5: Valeur propre, Variances expliquées et Variances cumulées.....	77
Tableau III.6: Pourcentage d'inertie.....	77
Tableau III.7 : Projection des variables actives.....	77
Tableau III.8 : Projection des observations.....	78
Tableau III.9: Ajustement à la loi normale du vecteur régionale.....	79
Tableau III.10 : Code de stations.....	80
Tableau III.11: précipitation annuelles et leurs fréquences expérimentales station de foun el gherza.....	81
Tableau III.12: Equations d'ajustement des précipitations annuelles à la loi Long normale des différentes stations.....	82
Tableau III.13 : Précipitations annuelles (mm) pour différents périodes de retours.....	83
Tableau III.14: Précipitations (mm) pour différents périodes de retours.....	86
Tableau III.15:Equations d'ajustement des précipitations mensuelles à la loi Long normale (Medina).....	87
Tableau III.16: précipitations mensuelles (mm) pour différentes périodes de retours.....	87
Tableau III.17: Moyenne, Ecart des variables initiales.....	88
Tableau III.18:Matrice des coefficients de corrélation entre les variables.....	88
Tableau III.19:Valeur propre, Variances expliquées et Variances cumulées.....	88
Tableau III.20: Projection des observations actives.....	89

Liste des Tableaux

Tableau III.21: Projection des Variables actives.....	89
Tableau III.22: Ajustement à la loi normale du vecteur régional (C_1).....	90
Tableau III.23: Précipitation maximales journalières en mm aux stations représentatives	94
Tableau III.24:Précipitation maximales journalières et leurs fréquences expérimentales station de Foug El Gherza.....	95
Tableau III.25:Equations de la droite de Galton : précipitations maximales journalières....	96
Tableau III.26:Précipitations maximales pour différentes périodes de retours.....	97
Chapitre IV: Analyse des écoulements	
Tableau IV.1: Variation interannuelle de l'écoulement de station hydrométrique.....	101
Tableau IV.2:Caractéristiques de l'écoulement du bassin a la station de Mchounech.....	103
Tableau IV.3:valeurs caractéristiques des modules au niveau des bassins versants.....	104
Tableau IV.4:Equations d'ajustement des débits moyens annuels à la loi log-normale.....	106
Tableau IV.5:Débit moyen annuelle pour différentes périodes de retours.....	106
Tableau IV.6 : Débit moyen annuelle et leurs fréquences expérimentales station de Mchounech.....	107
Tableau IV.7: Bilan moyen annuel de l'écoulement.....	108
Tableau IV.8: Crues d'Oued Abiod à Chounech (1971-1994).....	115
Tableau IV.9: Volume totaux écoulés à l'oued Abiod (1971-1994).....	120
Tableau IV.10:Equations d'ajustement des débits moyens annuels à la loi log-normale....	124
Tableau IV.11:Débit moyen annuelle pour différentes périodes de retours.....	124
Tableau IV.12: Débit moyen annuelle et leurs fréquences expérimentales station de Mchounech.....	125
Chapitre V : Collecte et mise en forme des données	
Tableau V.1 : Inventaire des fichiers de données.....	127
Tableau V.2 : Les Apports moyens de l'Oued El Abiod au droit de la station de Mchounech.....	129
Tableau V.3:Variation mensuelle et annuelle du nombre de mesure de la concentration des sédiments en suspension.....	130
Tableau V.4: Modèles retenues et leur coefficient de corrélation calculés à l'échelle mensuelle pour la station de Mchounech.....	135
Tableau V.5: Modèles retenues et leur coefficient de corrélation calculés à l'échelle annuelle pour la station de Mchounech.....	137
Tableau V.6 : Modèles retenues et leur coefficient de corrélation calculés à l'échelle saisonnière pour la station de Mchounech.....	139
Chapitre VI : Traitement et interprétation des résultats	
Tableau VI.1: Résultats de quantification du transport solide suspension.....	153
Tableau VI.2 : Résultats de l'érosion spécifique.....	158
Tableau VI.3 : Résultats de l'érosion spécifique par la méthode de Tixeront.....	159
Tableau VI.4: Taux d'érosion extrêmes.....	161
Tableau VI.5: fluctuations annuelles des paramètres Es-Ce.....	163
Chapitre VII : Analyse de l'effet d'hystérésis sur la relation C-Q	
Tableau VII.1: Classes des relations C-QI.....	172
Tableau VII.2:Chronologie des crues sélectionnées.....	175
Tableau VII.3: Paramètres statistiques des crues sélectionnées.....	179
Tableau VII.4: Classement et caractéristiques des crues.....	180
PARTI (2) : Chapitre I : Pollution des eaux de surface	

Liste des Tableaux

Tableau I.1: les ions susceptibles de retrouver dans l'eau (Raymound).....	183
Tableau I.2: les ions susceptibles de retrouver dans l'eau.....	190
Chapitre III: Résultats et discussion	
Tableau III.1: Les paramètres de pollution de la station de Mchounech.....	223
Tableau III.2 : Moyenne, Ecart des variables initiales.....	223
Tableau III.3: Matrice des coefficients de corrélation entre les variables.....	224
Tableau III.4 : Valeur propre, Variances expliquées et Variances cumulées.....	225
Tableau III.5: Projection des variables actives.....	225
Tableau III.6 : Projection des observations actives.....	226
Tableau III.7 : Ajustement à la loi normale du vecteur régional (C1).....	226
Tableau III.8: Moyenne, Ecart des variables initiales.....	231
Tableau III.9 : Matrice des coefficients de corrélation entre les variables.....	231
Tableau III.10 : Régression linéaire avec 3 variables explicatives.....	231
Tableau III.11: Moyenne, Ecart des variables initiales.....	232
Tableau III.12 : Matrice des coefficients de corrélation entre les variables.....	232
Tableau III.13: Régression linéaire avec 2 variables explicatives.....	232
Tableau III.14: Moyenne, Ecart des variables initiales.....	232
Tableau III.15: Matrice des coefficients de corrélation entre les variables.....	233
Tableau III.16: Régression linéaire avec 4 variables explicatives.....	233
Tableau III.17: Moyenne, Ecart des variables initiales.....	233
Tableau III.18: Matrice des coefficients de corrélation entre les variables.....	233
Tableau III.19: Régression linéaire avec 3 variables explicatives.....	234
Tableau III.20: Moyenne, Ecart des variables initiales.....	234
Tableau III.21: Matrice des coefficients de corrélation entre les variables.....	234
Tableau III.22: Régression linéaire avec 4 variables explicatives.....	235
Tableau III.23: Moyenne, Ecart des variables initiales.....	235
Tableau III.24: Matrice des coefficients de corrélation entre les variables.....	235
Tableau III.25: Régression linéaire avec 2 variables explicatives.....	235
Tableau III.26: Moyenne, Ecart des variables initiales.....	236
Tableau III.27 : Matrice des coefficients de corrélation entre les variables.....	236
Tableau III.28 : Régression linéaire avec 1 variables explicatives.....	236
Tableau III.29: Moyenne, Ecart des variables initiales.....	236
Tableau III.30 : Matrice des coefficients de corrélation entre les variables.....	237
Tableau III.31 : Régression linéaire avec 2 variables explicatives.....	237
Tableau III.32: Moyenne, Ecart des variables initiales.....	237
Tableau III.33 : Matrice des coefficients de corrélation entre les variables.....	237
Tableau III.34 : Régression linéaire avec 2 variables explicatives.....	238
Tableau III.35 : Moyenne, Ecart des variables initiales.....	238
Tableau III.36 : Matrice des coefficients de corrélation entre les variables.....	238
Tableau III.37: Régression linéaire avec 2 variables explicatives.....	238
Tableau III.38: Moyenne, Ecart des variables initiales.....	239
Tableau III.39: Matrice des coefficients de corrélation entre les variables.....	239
Tableau III.40: Régression linéaire avec 2 variables explicatives.....	239
Tableau III.41: Moyenne, Ecart des variables initiales.....	239
Tableau III.42: Matrice des coefficients de corrélation entre les variables.....	240
Tableau III.43: Régression linéaire avec 1 variable explicative.....	240

Liste des Tableaux

Tableau III.44: Moyenne, Ecart des variables initiales.....	240
Tableau III.45: Matrice des coefficients de corrélation entre les variables.....	240
Tableau III.46: Régression linéaire avec 1 variable explicative.....	240
Tableau III.47: Moyenne, Ecart des variables initiales.....	241
Tableau III.48: Matrice des coefficients de corrélation entre les variables.....	241
Tableau III.49: Régression linéaire avec 2 variables explicatives.....	241
Tableau III.50 : Moyenne, Ecart des variables initiales.....	241
Tableau III.51: Matrice des coefficients de corrélation entre les variables.....	242
Tableau III.52: Régression linéaire avec 1 variable explicative.....	242
Tableau III.53: Moyenne, Ecart des variables initiales.....	242
Tableau III.54: Matrice des coefficients de corrélation entre les variables.....	242
Tableau III.55: Régression linéaire avec 1 variable explicative.....	242
Tableau III.56: Moyenne, Ecart des variables initiales.....	243
Tableau III.57: Matrice des coefficients de corrélation entre les variables.....	243
Tableau III.58: Régression linéaire avec 1 variable explicative.....	243
Tableau III.59 : Moyenne, Ecart des variables initiales.....	243
Tableau III.60: Matrice des coefficients de corrélation entre les variables.....	244
Tableau III.61: Régression linéaire avec 2 variables explicatives.....	244

Introduction générale

Les ressources en eau en Algérie constituent l'une des principales richesses sur lesquelles repose la prospérité et le développement du pays. Malheureusement ces ressources sont menacées par la perte de capacité de stockage des barrages due au phénomène d'envasement.

L'envasement ou l'alluvionnement est la conséquence naturelle de la dégradation des bassins versants. Il constitue actuellement une préoccupation aux projecteurs et aux exploitants d'un pays caractérisé par un taux démographique élevé, cause nécessaire pour conserver les réserves d'eaux existantes.

Depuis les années 70, un intérêt s'est accru concernant l'estimation du transport solide. Les raisons sont nombreuses et diverses, et incluent le transport de contaminant, les tendances de qualité aquatique, la sédimentation de réservoir, l'envasement de canaux et de port, l'érosion et la perte de sol, aussi bien que les impacts écologiques. Cet intérêt est motivé par l'importance des aspects quantitatifs et qualitatifs du transport solide.

Pour l'ensemble du monde, tous continents réunis, la quantité totale des sédiments évacués en suspension est aujourd'hui de 13.50 10⁹ tonnes par an sur une aire de drainage externe de 8.6 10⁶ km² (contre 148.9 10⁶ km² pour l'ensemble des continents), ce qui correspond à un transport spécifique de 152 tonnes par km² et par an (Milliman et Meade 1983). Cependant, la distribution est très variable d'un point à l'autre. Les taux élevés de transport de sédiments sont concentrés dans les régions près de l'équateur et dans des régions arctiques. Sur les grandes îles du Pacifique (Indonésie), le transport spécifique est près de six fois supérieure à la moyenne globale (1000 T.km⁻².an⁻¹). En Asie du Sud-Est, l'érosion mécanique des régions himalayennes est également très forte (380 T.km⁻².an⁻¹ pour l'ensemble du continent). L'Europe (50 T.km⁻².an⁻¹), l'Afrique (35 T.km⁻².an⁻¹), l'Australie (28 T.km⁻².an⁻¹) ne contribuent que pour une faible part (6%) au bilan global. L'énorme charge solide (de sédiments) arrivant dans les océans de l'Asie du Sud-Est représente les deux tiers de la charge totale de sédiments transportés vers les océans. Cette situation résulte de la combinaison de facteurs liés à l'activité tectonique, à des précipitations abondantes, à un relief local très prononcé avec des pentes abruptes, et à des sols érodables, notamment la ceinture de loess du nord de la Chine. Le Huang He (le fleuve Jaune) produit 1080 millions de tonnes de sédiments par année (Milliman et al, 1987), en comparaison, le bas relief, les faibles précipitations et le permagélisol contribuent à réduire grandement la concentration et la charge de sédiments dans les cours d'eau de Sibérie (environ 15 millions de tonnes pour chacun des cours d'eau).

Le fleuve Jaune est considéré comme le fleuve le plus grand fournisseur de sédiments avec une concentration moyenne de l'ordre de 22000 mg l⁻¹, suivi du Nil (3700 mg l⁻¹), le Ganges (1700 mg l⁻¹), le Mississippi (360 mg l⁻¹) et en moindre position le Niger avec 78 mg l⁻¹.

En Algérie, le taux d'érosion spécifique atteint les valeurs les plus élevées d'Afrique du Nord. Selon Demmak (1982), ceux-ci dépassent 2000 Tonnes km².an dans les bassins versants de l'Atlas Tellien. Les concentrations des sédiments en suspension dans les cours d'eau dans les régions semi-arides où l'on pratique une agriculture intensive sont élevées. Il n'est pas rare de trouver des concentrations de 200 grammes par litre à certains endroits pendant ou immédiatement après des pluies abondantes. Sur certains cours d'eau des concentrations maximales dépassant 500 g l⁻¹ ont été observées. Ces chiffres donnent une idée sur l'ampleur du phénomène et la gravité des problèmes qui

en découlent. Cela a pour conséquence directe l'envasement des retenus et une réduction de leurs capacités (Remini, 2002)

Il est connu que le transport des matières en suspension se fait principalement en période de crue et que les principaux facteurs qui contrôlent la production et le transport en suspension dans les bassins versants sont dus essentiellement à l'effet conjugué de l'intensité des précipitations, la configuration du bassin versant et les caractéristiques hydrauliques du cours d'eau.

La pollution des eaux de surface continue de poser un problème sérieux pour l'homme et son environnement (René, 1968). Les changements climatiques et le développement industriel et agricole, le contrôle et la surveillance de la qualité des eaux de surface et les eaux souterraines devraient susciter un intérêt particulier (El Haiti, 1991). Elles doivent avoir comme objectifs majeurs la préservation de la santé de la population et le dépistage de tous les types de pollution pouvant nuire à la santé humaine.

Le barrage de Foug El Gherza sur l'oued L'Abiod, situé à 15 km Nord-est de la ville de Biskra, est un vieil ouvrage de plus d'un demi siècle et classé comme patrimoine national. Il a connu une opération de dévasement afin de récupérer près de 70% de sa capacité initiale de 47 hm³. Il est destiné spécialement à l'irrigation de 1200Ha de palmerais dans la Daïra de Sidi Okba. Ce barrage est aujourd'hui dans un état d'envasement très avancé, ce qui a réduit considérablement sa capacité d'emmagasinement.

Notre travail a pour finalité plus qu'une présentation monographique, une approche analytique des modalités de l'écoulement, du transport des sédiments en suspension. L'approche consiste en la recherche d'un modèle régressif pouvant expliquer la relation débit liquide et débit solide au droit de la station hydrométrique.

Notre travail s'articule sur le plan suivant :

Une synthèse bibliographique sur les processus du transport solide, la pollution des eaux de surface, relation transport solide-polluants.

Le diagnostic physico-géographique, première étape de la connaissance des bassins versants, permettra de caractériser les principaux facteurs naturels intervenant dans l'alimentation en eau et dans l'écoulement ; facteurs orographiques et morphologiques, lithologiques, climatiques et biogéographiques.

L'étude hydrologique, sera basée sur le traitement statistique des données hydrométriques, on procède à l'analyse critique des chroniques pluviométriques et débitométriques des années 1971 à 1995, l'évaluation des apports liquides annuels, saisonnier, mensuel et des crues dans le sous bassin concerné. Nous établissons quelque modèles analytiques et descriptifs pluie-débit, débits liquides-débits solides, basés sur une approche statistique d'analyse des chroniques de données et de corrélations simple.

L'étude des transports solides en suspension et modélisation, permettra d'évaluer les quantités des sédiments transportés par l'Oued Abiod et par conséquent d'en tirer des conclusions quant à l'envasement des ouvrages.

Introduction générale

On analysera le mode d'évolution de la charge solide C en fonction des débits liquides Q_l durant les différents événements de crues. Ce genre d'étude a été introduit initialement par Wood pour étudier les événements de crues dans un bassin versant. Plus tard, Williams et Asselman présentent une classification détaillée des différents types d'hystérésis représentant l'évolution des crues dans les rivières des Etats-Unis.

En seconde partie, sera étudié le phénomène de la pollution des eaux et leur valorisation au niveau du barrage de Foum El Gherza.

Partie I:

Transport solide

Chapitre I

Recueils Bibliographiques et Théoriques

EROSION ET TRANSPORT SOLIDE EN SUSPENSION

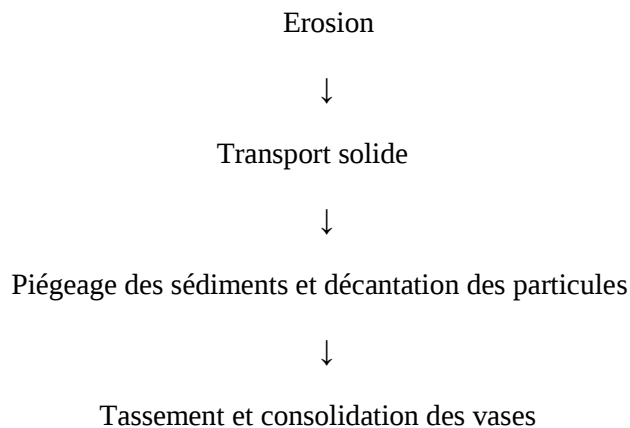
I.1. INTRODUCTION

L'étude du transport solide est devenue essentielle dans de nombreux domaines, de l'étude des processus d'érosion et de sédimentation dans les retenues aux études sur la pollution des cours d'eau.

Les écoulements de surface transportent avec eux les produits de la désagrégation des roches des régions hautes vers les zones basses et en définitif vers la mer. Le transport solide par les cours d'eau est fortement lié à l'érosion de sol due à la pluie.

L'eau s'infiltrant dans le sol peut contribuer aux éboulements et glissements qui peuvent devenir des sources principales des sédimentations pour les cours d'eau.

Le processus entier peut être considéré comme un cycle continu de :



Les problèmes d'érosion sont fréquents en Afrique, mais l'importance relative des différents processus varie d'une région à l'autre. Le Maghreb septentrional est l'une des régions les plus vulnérables, au monde, à l'action érosive de la pluie et du ruissellement.

Dans les zones semi-arides, caractérisées par des précipitations très irrégulières souvent intenses, les facteurs climatiques ont une influence considérable sur les pertes des sols (Bergaoui et al., 1998). Or, en région méditerranéenne, la quantification des matières transportées par les cours d'eau est une entreprise peu aisée, du fait du caractère irrégulier du régime hydrologique (Serrat et al., 2001) et du manque de données nécessaires à ces études (Achite et Meddi, 2005).

Outre les pertes en terres fertiles ainsi que l'alluvionnement et l'exhaussement des fonds de barrages, des ports et estuaires, les sédiments en suspension constituent un support de nombreux contaminants chimiques provenant des bassins versants.

Un grand nombre de chercheurs qui ont tenté de comprendre l'évolution spatio-temporelle du phénomène et de quantifier les charges solides aux exutoires des bassins versants, de nombreux modèles ont été mis au point Tixeront(1960), Heusch (1970,1982), Delhoume (1981), Demak (1982 et 1984), Milliman et Meade (1983), Sogreah (1983), Wallig (1984), Lahlou (1990,1994), Snoussi et al.

(1990), Probst et Sucher (1992), Kssoul et al., (1997), Bourouba (1996,1998), Bergaoui (1998), Moukhchane et al., (1998), Meddi et al (1992, 1998,1999), Achite et Touibia (2000), Meddi et Morsli (2001), Bou kheir et al., (2001), Achite (2002), Terfous et al., (2001,2003), Megnounif et al.,(2003), Benkhalel et Rimini (2003), Larifi et Rimini (2006), Benoit Camenen et Magnus Larsou (2006), Megenni et Rimini (2008). Vincent Koulinski (2009).

L'objectif est d'expliquer les mécanismes complexes du transport solide et de quantifier les volumes des sédiments transportés

Avec une érosion spécifique annuelle moyenne variant entre 2000 et 4000 t/km², l'Algérie est classée parmi les pays aux sols les plus érodibles du monde. On compte en moyenne annuellement entre 1 et 2 millions de m³ le volume de sédiments arraché au bassin et déposé en mer pour les seuls bassins tributaires de la Méditerranée. Certaines régions productives en sédiments ont dépassé le seuil critique. L'érosion hydrique pose de graves problèmes sociaux, poussant la population à l'exode rural, suite à la réduction de la surface agricole utile. Face à de graves pénuries d'eau, à un engorgement précoce de plus de 50 % des barrages et à une dégradation croissante de la qualité des eaux (Demmak, 1982).

I.2.GENERALITE

L'érosion a pour conséquence une diminution des surfaces cultivables, une décroissance de la fertilité du sol et une augmentation des dégâts occasionnés par les fortes crues, ce qui entraîne une insuffisance alimentaire et des problèmes économiques et sociaux très graves dans le monde. Les études d'érosion ont démontré que les barrages perdent un taux de 1% par an de leur capacité, ce qui représente un coût de l'ordre de 6 milliards de dollars. (Mahmoud, 1987).

Les facteurs favorisant l'érosion sont nombreux : pente, nature des roches, relief, climat, et homme en fin de chaîne. En région méditerranéenne, et notamment en zone semi-aride, le climat est le premier responsable du phénomène avec les variations spatio-temporelles brusques observées de la pluie et des écoulements, l'action du gel et du dégel, le pouvoir évaporant du sirocco. Les facteurs anthropiques ont participé de façon remarquable à la dégradation des sols par les incendies, les défrichements, le morcellement du foncier, le surpâturage, ...rendant les bassins-versants très vulnérables au ruissellement. (Touibia, 2010).

Nous nous intéressons dans cette étude plus particulièrement, le transport solide, qui est un phénomène largement répandu et dont les conséquences peuvent entraîner des pertes de terre irréversibles et une diminution des capacités de stockage des barrages.

Les différentes formes d'érosion hydrique (en nappe, par ravinement, par mouvement de masse, laves torrentielles et sapement de berges). Ces types d'érosion contribuent certainement, selon des proportions différentes, à la production des sédiments.

L'ampleur de l'érosion et ses stades d'évolution confèrent à la nature des paysages très différents les uns des autres, passant graduellement de la griffe au ravinement.

Les résultats de l'érosion pluviale se traduisent par des paysages empierrés, des glissements de terrains, des mouvements de masse, un ravinement intense et des envasements des infrastructures de mobilisation d'eau. Les conséquences sont d'autant plus graves que l'érosion est active dans les régions exemptes d'aménagements, engendrant des pertes économiques très importantes (inondations et asphyxies des terres cultivées, envasement de barrages...) en provoquant un régime d'écoulement torrentiel. Sur le bassin d'alimentation, le transport solide provoque un colmatage superficiel des sols (sols lourds) et augmente le ruissellement aux dépens de l'infiltration. L'érosion va contribuer au changement progressif du relief, en accentuant les pentes, en provoquant des ravinements intenses et en accélérant la formation du réseau hydrographique au profit des surfaces arables.(Touibia, 2000).

L'envasement des barrages, l'affouillement et le comblement des lits d'oueds sont spectaculaires en Algérie. La vitesse de colmatage des ouvrages d'art est variable d'un barrage à un autre selon la force de l'érosion et de la lame ruisselée (Touibia, 2003) ; la durée de vie d'un barrage est estimée à une trentaine d'années (Kadik. B, 1987).

Un cas frappant de sédimentation a été étudié. Durant les mois de Juin et Juillet 2002, 45000 m³ de vase consolidée ont été enlevés d'un barrage de prise, après avoir mobilisé toutes les infrastructures du périmètre d'irrigation de la Mitidja ouest (Touibia, 2005)

L'érosion par ravinement du réseau d'écoulement, qui peut représenter à elle seule plus de 50 % de l'apport solide annuel, est la forme d'érosion la plus grave en Algérie. Des lâchers d'eau de barrage peuvent facilement augmenter l'apport de sédiments.

L'érosion hydrique correspond à la séparation entre la particule et son support, sans inclure le transport et la sédimentation, même s'il se produit toujours un micro-transport (Rampon.A., 1990). Ce phénomène est très répandu en Afrique du Nord. En effet, la majorité des bassins versant de l'Algérie, la Tunisie, et le Maroc est caractérisée par de fortes dégradations spécifiques dépassant 2000 t/km².an sur la plupart des bassins versants de l'Atlas Telein (Rhio, Sly, Fodda, Mazafran, Isser). Il atteint 4000 t/km².an sur la chaîne côtière de Dahara, et 5000 t/km².an sur le bassin très dégradé de l'Oued Agrioum (Demmak A.,1982).

En Algérie, les chercheurs de l'INRF et de l'ORSTOM ont mesuré des pertes en terre par érosion en nappe de 0.1 à 20 t/ha/an, 5 à 60 t/ha/an pour l'érosion mécanique sèche par les travaux culturels motorisés (Roose et al.1993), et 90 à 300 t/ha/an pour le ravinement (Chebbani et Belaidi, 1997). Mais dans le Sud de la Côte d'Ivoire, Roose (1973-80) a montré que l'érosion en nappe et rigoles peut atteindre 700 t/ha/an sur une pente défrichée de 22%.

Bouraba, en 2002, dans une étude de synthèse a montré l'ampleur de ce fléau, tout en justifiant par la présentation des chiffres alarmants de dégradation spécifique dans le Nord de l'Algérie. L'étude a porté sur plus de 35 bassins versants ; le calcul est établi sur des cycles hydrologiques différents, généralement, sur un cycle au moyen.

L'érosion spécifique varie annuellement de 307 à 5453 t/km² dans le bassin de Cheliff, de 1557 à 9397 t/km² dans le côtiers Algérois, 3990 t/km² dans l'Isser, 248 t/km² dans le Soummam, 252 à 10375 t/km² dans le côtiers Constantinois, 742 t/km² dans le Sybouse, 782 t/km² dans Kebir Rhumel, 164 à 5153 t/km² dans le Chott Hodna, 794 à 2621 t/km² dans le haut plaine Constantinois, 838 à 1260 t/km² dans le Chott Melrhir, 938 t/km² dans le Côtiers Oranais et de 301 à 406 t/km² dans la Tafna.

I.3- LES PRINCIPAUX AGENTS DE L'ÉROSION HYDRIQUE

I.3.1- Intensité et agressivité des précipitations :

La désagrégation de la structure et le détachement des particules sous l'impact des gouttes de pluie résultent du "travail" exercé par les gouttes à la surface du sol. Il est donc lié à l'énergie cinétique des gouttes E_c .

$$E_c = \frac{1}{2} m \cdot V^2 \quad (\text{Joule}) \quad (\text{I.1})$$

Où, m est la masse de la goutte (kg) et V la vitesse (m/s), E_c l'énergie cinétique (joules). L'évaluation de l'énergie cinétique des gouttes reste un bon critère d'évaluation de l'agressivité des pluies. Il existe d'ailleurs une relation empirique reliant l'intensité d'une pluie et son énergie cinétique (Remy, J.C. et al. 1998).

$$E_c = 11.9 + 8.73 \log I_p' \quad (\text{Joule}) \quad (\text{I.2})$$

Avec, E_c : Energie cinétique en $\text{J/m}^2/\text{mm}$ et I_p : intensité de pluie en mm/h .

Les pluies, lors de l'impact des gouttes, provoquent un détachement des matières et une destruction des agrégats lors de la conversion de l'énergie cinétique en efforts de cisaillement.

Plusieurs phases sont à considérer lors d'une averse. Les premières gouttes de pluies qui arrivent au sol y pénètrent proportionnellement à son ameublissement et sa porosité. Cette première phase s'accompagne d'un déplacement de particules et d'un tassement du sol. Puis la couche superficielle s'humidifie, et l'on assiste au développement quasi simultané de trois processus: la désagrégation de la structure, la formation d'une pellicule de battance et l'érosion par "splasch" ou érosion par rejaillissement (Benkhadra, H. 1997).

L'impact direct des gouttes de pluie provoque non seulement le délitage et la fragmentation des agrégats du sol, mais également l'entraînement et la projection des particules dans toutes les directions. Ce rejaillissement peut être important. Plusieurs chercheurs ont essayé de quantifier cette masse de sol détachée (D_p) expérimentalement. Les relations obtenues sont en général de la forme (Poessen, J., 1984).

$$D_p = a \cdot E_c^b \quad (\text{kg}) \quad (\text{I.3})$$

Où D_p est la masse détachée et E_c l'énergie cinétique de la pluie. Les coefficients a et b dépendent essentiellement de la texture et de la structure du sol.

Feodoroff et al. (1965), donnent des valeurs de 15 tonnes de terre remuées par hectare pour une averse de 25 mm et de 300 tonnes par hectare pour une averse de 100 mm.

Ces processus de désagrégation de la surface du sol et d'érosion par rejaillissement conduisent à la fermeture des pores à la surface du sol et à la réduction de son infiltrabilité en formant une croûte de battance.

Jusqu'à ce stade, on ne peut parler de transport proprement dit. Il faut que le ruissellement démarre pour qu'il y ait une prise en charge des particules détachées par mise en suspension ou par charriage.

I.3.2- Le ruissellement

L'aspect le plus important de l'érosion est l'érosion pluviale et plus précisément l'érosion par ruissellement. Les terrains étant nus (déboisement, jachère, labour...), le ruissellement qui fait suite aux averses torrentielles décape progressivement les horizons supérieurs du sol. La lame d'eau, en mouvement le long des versants, se divise progressivement en filets d'eau, qui se regroupent dans les petites dénivellations du sol. Concentrée, cette lame déploie une force lui permettant d'arracher les obstacles (Touibia, 2010).

Emportés par l'eau, ces derniers, vont augmenter la faculté d'érosion, qui se voit amplifiée avec l'épaisseur de la lame d'eau ruisselée, la longueur et la pente du versant (Touibia, 2010).

Le ruissellement ne débute qu'après un cumul pluviométrique journalier de 18 à 20 mm (Laouina, A. 1998) sur sol sec même si les pluies sont intenses ou après un cumul de 4 mm sur sol humide et compact (Chibbani, R et al, 1997).

Selon Laouina, A et al. (1993), les pluies continues mais de faibles intensités permettent une certaine infiltration de l'eau et réduisent le ruissellement sur les versants, par contre les 127 épisodes de fortes intensités entraînent un ruissellement plus important. Mais ce sont les épisodes pluvieux durables avec des événements de forte intensité répétitifs qui occasionnent la dégradation la plus forte, avec en particulier le passage du ruissellement en nappe au ruissellement en griffes et rigoles.

D'une manière générale, il est admis que la vitesse du ruissellement est le paramètre prépondérant de l'action érosive du ruissellement superficiel. En 1965, Meyer a proposé la relation suivante pour évaluer cette vitesse (Meyer, L.D. 1965) :

$$V_R = (I^{0.33} Q_R^{0.33}) / n^{0.66} \quad (\text{m/s}) \quad (\text{I.4})$$

Où V_R : vitesse de ruissellement ;
 I : pente du terrain ;
 Q_R : débit du ruissellement ;
 n : rugosité du sol.

I.3.3- Effet de la pente

L'influence de la pente est complexe. Tous aménagement antiérosif doit donc avoir comme objectif la diminution de l'énergie de ruissellement des terrains en pente faible à moyenne, en particulier dans les plaines ou il y a des ravins qui déversent leurs eaux dans la retenue du barrage.

Il se développe une érosion en rigoles dix fois plus agressive que l'érosion en nappe (Rose et al 1998).

I.3.4- Le couvert végétal

Il est clair que le couvert végétal est efficace pour réduire le ruissellement. La couverture du sol, plus particulièrement celle assurée par la strate herbacée et les résidus végétaux, constitue la protection la plus efficace du sol. Elle intervient vis à vis du sol par :

- l'interception nette : une partie de la pluie qui tombe sur la végétation est directement reprise par l'évaporation, elle ne participe alors, ni à l'infiltration, ni au ruissellement.
- la dissipation de l'énergie cinétique : une partie de la pluie interceptée par le feuillage continue sa course jusqu'au sol. L'énergie cinétique des gouttes s'en trouve alors modifiée.

L'expérience montre (Ruiz-Figueroa, J.F. 1983) que l'efficacité d'un couvert végétal à l'égard de l'infiltration est d'autant plus marquée que le dernier élément récepteur est bas.

I.4- FORME DE MANIFESTATION DE L'EROSION HYDRIQUE**I.4.1- Erosion en nappe**

Elle se produit lorsque l'écoulement et l'érosion se font sur toute la surface du sol, ce qui provoque une usure homogène non perceptible dans la majorité des cas (Bouanani, 2004).

La plupart des «études sur l'érosion dans les champs cultivés concernent l'érosion en leur nappe et en rigoles et leur spatialisation est basée sur l'équation universelle des pertes en terre (USLC de Wischmeier et Smith, 1978) laquelle tente de prévoir à long terme (>20 ans) l'érosion en nappe et rigole en fonction de l'érosivité des pluies, du sol, de la pente et du système de culture (Roose, 1994).

En Algérie, les chercheurs de l'INRF et de l'ORSTOM ont mesuré des pertes en terre par érosion en nappe de 0.1 à 20 t/ha/an (Roose et al.,1993).

En région méditerranéenne, l'érosion en nappe reste modeste quelle que soit la pente étant donnée la richesse de la surface des sols en argile et/ou en cailloux (souvent calcaire), la stabilité des agrégats saturés en Calcium (Roose et al.,1993 ;Kouri et al., 1997). Heusch (1970) arrivait aux mêmes conclusions dans le Pré-rif Marocain, à savoir que l'érosion linéaire est beaucoup plus efficace que l'érosion en nappe en milieu montagnard méditerranéen.

Dans les collines en semi-orange des régions tropicales humides l'érosion en nappe peut pentes plus raides où les sols sont plus argileux, moins épais et souvent protégés par des fragments de roches, les litières et les résidus des cultures (Roose,1994).

I.4.2- Erosion linéaire

L'érosion linéaire par l'énergie du ruissellement se manifeste par des griffes (centimétriques), des rigoles (quelques décimètres) ou des ravine de 50 cm de profondeur (on ne peut plus les effacer par les techniques culturales), des ravins de plusieurs mètres de profondeur et des « badland » ou ravinement généralisé, lorsque la surface primitive a complètement disparu.

I.4.3- Erosion en griffes et rigoles

Elle se produit lorsque l'écoulement d'eau se concentre et choisit son passage. Dès qu'une griffe s'établit, l'eau de ruissellement tend à se réunir, et plus elle se creuse plus il y a appel d'eau dans la rigole. Ainsi le phénomène de creusement s'accélère de lui-même.

De point de vue quantitatif, ce type d'érosion reste dans les mêmes proportions que l'érosion en nappe.

I.4.4- Erosion par ravinement

Les ravines sont spectaculaires, mais leur activité est très variable dans le temps et dans l'espace. Certaines sont très anciennes (plusieurs dizaines d'années), mais sont stabilisées après une longue période d'activité, en rapport avec la lithologie, des périodes de surélévation des montagnes ou des changements climatiques ou socio-économiques (Sari, 1977; Laouina et al., 2000). Certaines ravines sont très récentes et agressive, en relation avec des averses exceptionnelles (Rapp, 1972 ; Mathys et al., 2000), l'implantation d'habitations ou de routes (Tchotsua et Bonvallot , 2000), l'extension de cultures peu couvrantes sur des sols fragiles ou l'imperméabilisations de surfaces par le piétinement du bétail et des hommes (Boutrais,2000). Toutes ces interventions de l'homme augmentent le ruissellement et les risques de ravinement (Roose, 1994).

L'érosion ravinant prend une place relativement importante en Algérie en relation avec le volume et l'intensité des précipitations, avec la topographie et l'énergie du ruissellement (Roose, 1999).

En Algérie l'érosion ravinement a déplacé 90 à 300 t/ha/an en fonction du volume des pluies, de la vitesse d'altération des versants (8 à 17 mm/an), de la pente et de la couverture de la surface du sol. (Roose, 1999).

Tableau (I.1): Formes d'érosion hydrique

Application des lignes d'écoulement (d'après Roose, 1994)	
Profondeur	Appellation
Quelques centimètres	Griffes
>10 cm	Rigoles
10 à 20 cm quelques mètre de large	Nappe Ravinant
>50 cm	Ravines

I.5- QUANTIFICATION DE L'ÉROSION HYDRIQUE

Il existe plusieurs formules permettant la quantification de l'érosion hydrique, nous ne citons que celles qui impliquent des paramètres physiques représentatifs.

I.5.1- Formule de Wischmier et Smith (1978)

La plupart des études sur l'érosion dans les champs cultivés concernent l'érosion en nappe et en rigoles et leur spatialisation est basée sur l'équation universelle des pertes en terre (USLE de Wischmier et Smith, 1978) laquelle tente de prévoir à long terme (>20 ans) l'érosion en nappe et rigole en fonction de l'érosivité des pluies, du sol, de la pente et du système de culture (Roose, 1994).

La formule s'écrit : $P_s = E_p \cdot E_s \cdot F_{IP} \cdot F_P \cdot F_{am} \cdot F_V$ (t/ha/an) **(I.5)**
Avec :

P_s : pertes annuelles de sol (t/ha/an) ;

E_p : érosivité des précipitations (N/h) ;

E_s : érodabilité du sol ou susceptibilité du sol à l'érosion (t.h/N.ha) ;

F_{IP} : facteur de longueur de pente (sans dimension) ;

F_P : facteur de pente (sans dimension) ;

F_{am} : facteur d'aménagement (sans dimension) ;

F_V : facteur de conservation des sols pratiqué (sans dimension).

I.5.2- Formule de Fournier (1960)

$$A_{ss} = (1/36)(P_m/P_{am})^2(2.65)(h/s)^2(0.46) \quad (\text{t/km}^2/\text{an}) \quad \textbf{(I.6)}$$

Avec :

A_{ss} : apport solide spécifique (t/km²/an) ;

P_m : précipitations moyennes mensuelles du mois le plus pluvieux (mm) ;

P_{am} : précipitations annuelles (mm) ;

h : dénivelée moyenne (m) ;

S : superficie du bassin versant (km²).

I.5.3- Formule de Tixeront (1960)

Basée sur les données recueillis dans 32 bassins algériens et 9 bassins tunisiens sur une durée comprise entre 2 et 22 ans.

$$A_{ss} = 354 \cdot E^{0.15} \quad \text{pour les bassins Tunisiens} \quad (\text{t/km}^2/\text{an}) \quad \textbf{(I.7)}$$

$$A_{ss} = 92 \cdot E^{0.21} \quad \text{pour la région Est Algérien} \quad (\text{t/km}^2/\text{an}) \quad \textbf{(I.8)}$$

$$A_{ss} = 200.E \text{ pour la région Centre Algérien}$$

Avec :

A_{ss} : apport solide spécifique en $t/km^2/an$;

E : écoulement en mm.

I.5.4- Formule de la Sogreah (1969)

Basée sur les données de 30 bassins Algériens, de superficie comprise entre 100 et 300 km^2 , soumis à une pluviométrie annuelle comprise entre 300 et 1000 mm.

$$A_{ss} = \alpha.E^{0.15} \quad (t/km^2/an) \quad (I.9)$$

Avec :

A_{ss} : apport solide spécifique ($t/km^2/an$) ;

α : coefficient dépendant de la perméabilité du sol, donné au tableau ci-dessous ;

E : écoulement annuel (mm).

Tableau (I.2): Valeur de α pour différentes perméabilités

Perméabilité	α
Forte	8.5
Moyenne	75
Moyenne à faible	350
Perméabilité faible	1400
Imperméable	3200

I.5.5- Formule de Demmak (1982)

$$T_{ss} = 26.62I_e + 5.71I_p + 9.77C_t - 593.59 \quad (t/km^2/an) \quad (I.10)$$

T_{ss} : transport solide spécifique moyen annuel ($t/km^2.an$) ;

I_e : indice lithologique (%) ;

I_p : indice des précipitations (%) ;

$C_t = D_d.F_I$: coefficient de torrentialité.

$$D_d = \frac{\sum_{I=1}^N L_I}{A} \text{ densité de drainage}$$

L_I : longueur de tous les cours d'eau d'ordre « 1 » (Km) ;

F_I = nombre de talweg/ surface fréquence des talwegs élémentaire.

Cette formule est applicable dans les conditions suivantes :

$$I_e > 10\%$$

$$I_p > 300 .$$

I.5.6- Modèle de Touiabia (2000)

Ce modèle est basé sur la recherche d'une relation fonctionnelle entre le débit solide et le débit liquide à différentes échelles spatiales, pour identifier les différentes formes d'érosion. Il en résulte que la modèle statistique puissance à toutes les échelles spatiales explique 80% de la variation totale.

$$Q_s = f(Q_l) \quad (\text{Tonne/an}) \quad (\text{I.11})$$

I.5.7 Méthodes liées à la mesure de la turbidité

La mesure de la turbidité de l'eau peut être reliée à la quantité de sédiments arrachés au bassin versant.

En vue de sa mesure, des prélèvements d'échantillons par des équipements spéciaux au droit de la station de jaugeage de débit au moulinet.

Sur un certain nombre de points répartis sur plusieurs verticales A, B, C, D...d'une section, on mesure simultanément la vitesse « V » du courant avec un moulinet et la concentration « C » en (g/l) des matériaux en suspension.

En reportant cette section à un système « XOY » avec en abscisse la largeur de la rivière « rive droite au rive gauche » et en ordonnée les profondeurs à partir de la surface d'eau, n'importe quel point de mesure sera identifié (voir figure. I.1).

Sur chaque verticale, on représente le débit solide rapporté à l'unité de surface « qs » qu'est le produit de concentration « C » par la vitesse « V » mesurés aux différentes profondeurs par des vecteurs horizontaux, dirigés dans le sens du courant pour une verticale donnée (voir figure. I.3).

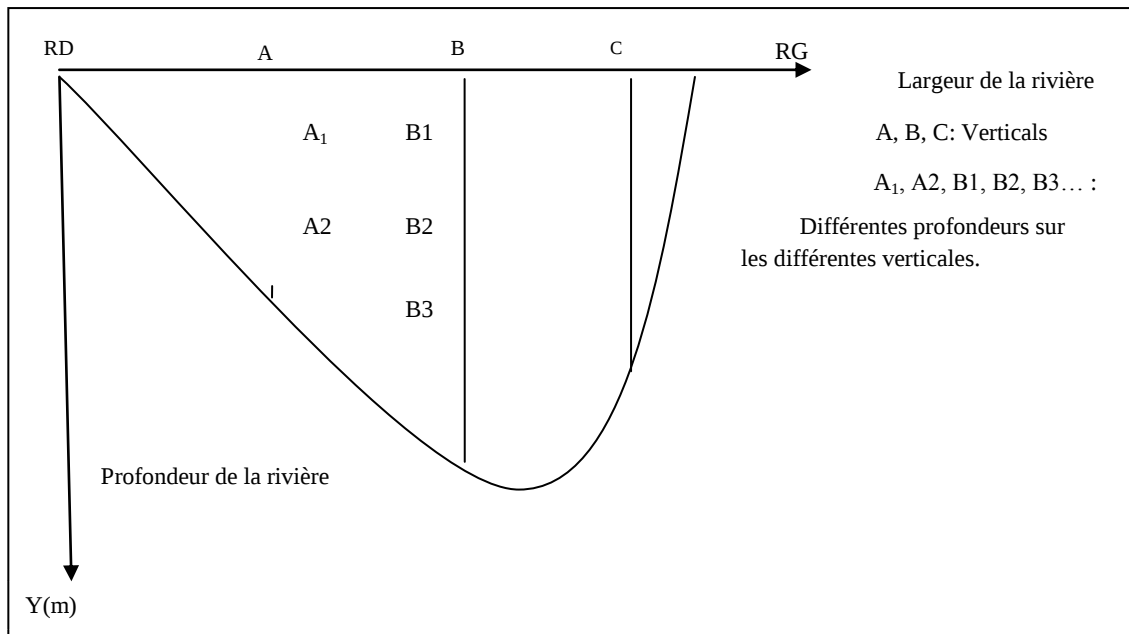


Figure. I.1 : Répartition des verticales

Si on prend une verticale, on a :

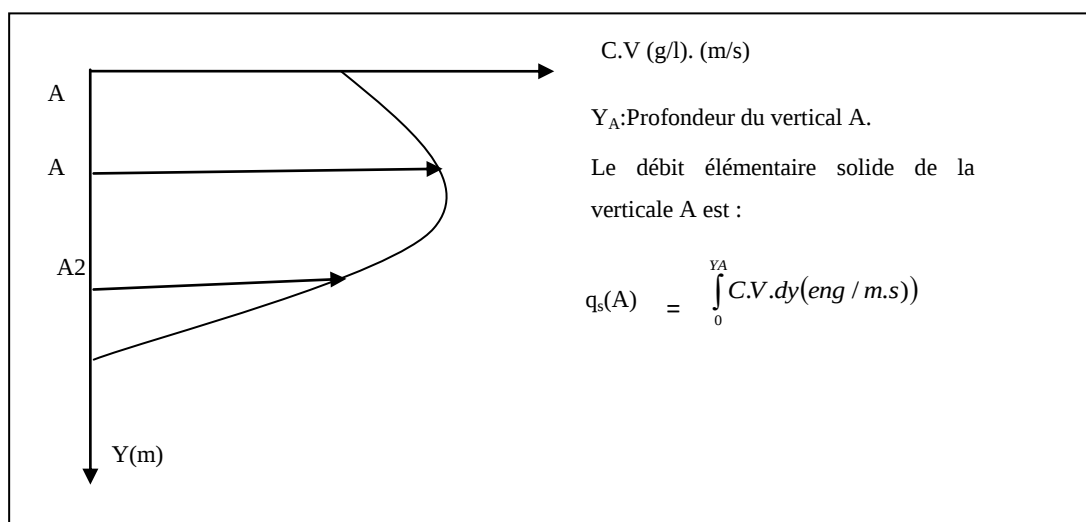


Figure. I.2 : Epure des vitesses

De même pour les autres verticales.

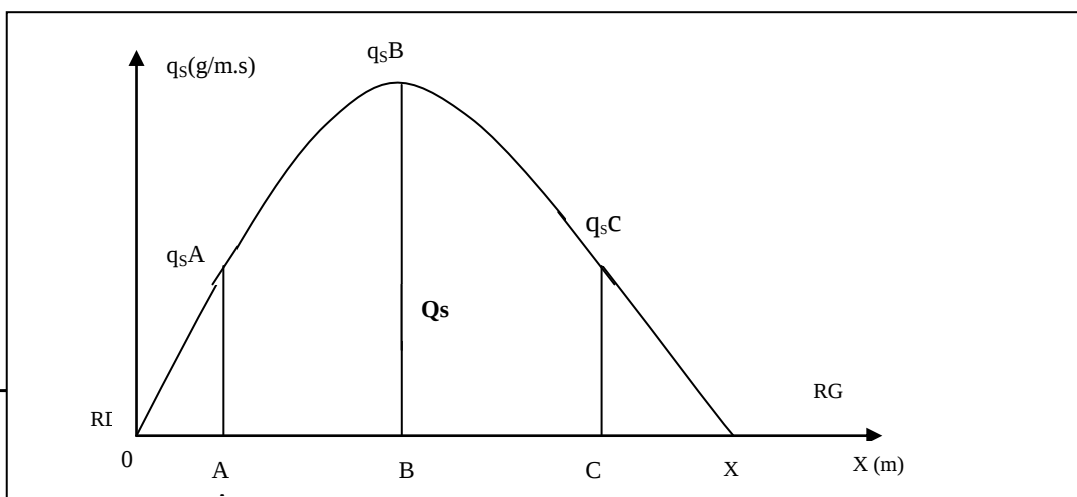


Figure.1.3 : Epure du débit solide sur toute la section de mesure.

On détermine graphiquement le débit solide en suspension par unité de largeur de la rivière, au droit d'une verticale.

Le débit solide en (g/s), n'est que l'intégration des différents débits élémentaires des différentes verticales. Représentés un système « X0Y » ou x représente la largeur de la rivière, et y le débit élémentaire « q_s », le débit solide total Q_s est planimétrie. C'est la surface comprise entre la courbe des débits élémentaires et l'axe X, comme la montre la figure I.3

$$Q_s = \int_0^x q_s(x) dx. \text{ g/s ou en tonne/an.} \quad (\text{I.12})$$

Pour la détermination de la concentration des matériaux en suspension, les prélèvements d'eau sont filtrés sur les filtres pesés au préalable, séchés à 100°C à l'étuve et par double pesés, le poids des matériaux en suspension est déterminé et ramené à l'unité de volume (g/l, kg/m³), après calcination de la matière organique si elle existe (Touibia, B, 1986).

II.LE TRANSPORT SOLIDE

Le transport solide est par définition la quantité de sédiment (ou débit solide) transportée par un cours d'eau. Ce phénomène est limité par la quantité de matériaux susceptible d'être transportée. Il est principalement réglé par deux propriétés du cours d'eau :

- Sa compétence – Elle est mesurée par le diamètre maximum des débris rocheux que peut transporter le cours d'eau. Cette caractéristique est essentiellement fonction de la vitesse de l'eau. Les variations de la compétence en fonction de la vitesse et la granulométrie du substrat ont été étudiées par Hjulstrom (d'après Boulvain, 2004).
- Sa capacité – C'est la quantité maximale de matériaux solides que peut transporter en un point et à un instant donné le cours d'eau. La capacité est fonction de la vitesse de l'eau, du débit et des caractéristiques de la section (forme, rugosité, etc.).

Le transport solide dans les cours d'eau constitue la seconde phase de l'érosion. Il relève essentiellement du ruissellement et met en jeu diverses formes d'écoulement de l'eau dans la nature (Hug, M, 1975).

Le transport solide résulte d'interactions entre la phase liquide et la phase solide. Il faut voir ces interactions comme des actions constantes de l'écoulement sur la morphologie des cours d'eau et, réciproquement, de l'action du flux solide sur la nature de l'écoulement.

La prévision des taux de transport de sédiments est un élément fondamental pour les études morphologiques fluviales et côtières. Deux modes de transport se distinguent : le charriage, confiné près du fond et forcé par les collisions inter-granulaires (Camenen & Larson, 2005), et la suspension, dominée par la turbulence du fluide et affectant l'ensemble de la colonne d'eau (Fredsøe & Deigaard, 1994). Le transport solide en suspension prédomine souvent dans le cas des sédiments fins ($d_{50} < 0.5$ mm) et la présence de formes de fond.

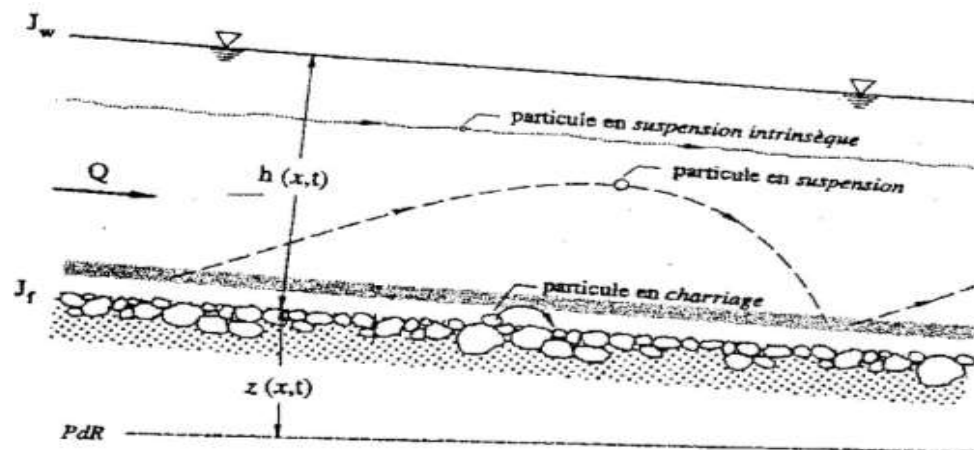


Figure.1.4 : les différents modes de transport solide, d'après Graf et Altinakar 2002

II.1- LES APPORT SOLIDES PAR CHARRIAGE

Le transport solide par charriage dans les lits fluviaux constitue un flux de matières qui participe activement à la dynamique de l'écosphère continentale. Son action morphogénique en fait le moteur principal du bon fonctionnement physique et écologique des hydrosystèmes fluviaux (Malovoi et Souchon, 1996 ; Wasson, 2001).

La connaissance du transport solide par charriage est aussi fondamentale en termes de prédiction des réponses fluviales aux forçages d'origine climatique et anthropique. Les changements qui affectent de régime pluviométrique ou l'occupation du sol d'un bassin versant peuvent avoir des effets importants sur l'activité géomorphologique des versants. Ces effets sont transmis vers l'aval par les processus qui gouvernent le routage des sédiments dans le réseau hydrographique (Benda et Dunne, 1997 ; Jacobson et Gram 1999).

Ces transferts se font de manière discontinue, les matériaux étant piégés temporairement dans les stocks alluvionnaires.

Dans les rivières torrentielles, le transport sédimentaire de fond (charriage) qui détermine la morphologie du lit se produit principalement au moment des hautes eaux et lors des crues et les différents matériaux qui couvrent le fond de la rivière sont mobilisés progressivement en fonction de leur taille et de leur localisation dans le lit. (Belleudy et al. 2009).

Ils concernent les matières minérales en phase solide plus particulièrement les plus gros éléments qui contribuent à la formation et à l'équilibre du lit, principalement la pente. Ces éléments transportés sur le fond par roulement, glissement, saltation et aussi par suspension lorsque le débit liquide est très important. Le débit charrié dans les retenues Algériennes est estimé entre 10 à 15% du débit en suspension. En France, par exemple, le flux du transport spécifique moyen par charriage avoisine $35 \text{ m}^3/\text{km}^2.\text{an}$ à Serre Ponçons, il descend aux environs de $20 \text{ m}^3/\text{km}^2.\text{an}$ à Cadarache, il était de $25 \text{ m}^3/\text{km}^2.\text{an}$ à l'ancienne prise de Briliane sur le Verdon, le flux à hauteur de Greoux est de $25 \text{ m}^3/\text{km}^2.\text{an}$ (Rimini, 2005).

Le transport solide par charriage correspond aux éléments grossiers traînés ou roulés sur le fond par l'écoulement. Les interactions avec le lit sont alors prépondérantes et ce type de transport est directement lié à la morphologie du lit. D'autre part, il est nécessaire que les contraintes hydrauliques soient élevées pour pouvoir assurer le transport des cailloux sur le fond. Un tel transport est donc exceptionnel et ne se produit que quelques dizaines de jours par an, lorsque les débits sont particulièrement élevés.

- **Description du phénomène**

Sur le lit des matériaux sans cohésion les grains isolés sont soumis aux forces de pesanteur et aux forces hydrauliques.

- Les forces de pesanteur sont des forces stabilisations ;
- Les forces hydrauliques sont des forces déstabilisatrices dues à l'écoulement (trainée et portance).

La grandeur physique explicative de ce mode de transport (charriage) est la contrainte hydrodynamique critique « τ_c »

Donc les grains constituant l'interface solide-liquide, ayant un poids et un coefficient de frottement fini, ne peuvent être mis en mouvement par l'action du fluide que si la contrainte sur le fond « τ » dépasse la valeur de la contrainte critique « τ_c ». Ce mouvement de granulats se traduira par un transport de fond dans le sens de l'écoulement.

La contrainte sur le fond de la rivière est exprimée par :

$$\tau = \rho g R_h \quad (\text{I.13})$$

J : Perte de charge régulière de l'écoulement ;

R_h : Rayon hydraulique.

Pour cela, on dit que le charriage est un phénomène à seuil et l'analyse très simplifiée pour le début de mouvement, revient à comparer directement la force déstabilisation due à l'écoulement et à la capacité de résistance au mouvement des matériaux, qui tapissent le fond.

- **Les formules existantes du transport solide par charriage**

Le transport solide par charriage est généralement représenté par l'intermédiaire du paramètre adimensionnel :

$$\Phi = \frac{q_{sb}}{\sqrt{(s-1)gd_{50}^3}} \quad (\text{I.14})$$

Où q_{sb} est le débit solide volumétrique, s la densité relative du sédiment ($s = \rho_s/\rho$, avec ρ_s et ρ les masses volumiques du sédiment et de l'eau), g l'accélération de la pesanteur, et d_{50} diamètres médian de sédiments.

De nombreuses formules de transport ont été proposées où le débit est directement fonction du paramètre de Shields :

$$\theta_c = \frac{\tau_c}{(\rho_s - \rho)gd_{50}} = \frac{\frac{1}{2}f_c U_c^2}{(s-1)gd_{50}} \quad (I.15)$$

Avec τ_c la contrainte de cisaillement au fond, f_c le coefficient de frottement et U_c la vitesse moyenne du courant. Trois formulations ont été plus particulièrement étudiées :

Meyer-Peter & Muller (1948)	$\Phi = 8(\theta_c - \theta_{cr})^{3/2}$
Nielsen (1992)	$\Phi = 12\theta_c 0.5(\theta_c - \theta_{cr})$
Ribberink (1998)	$\Phi = 11(\theta_c - \theta_{cr})1.65$

Où θ_{cr} est le paramètre de Shields critique. Celui-ci sera par la suite déterminé à l'aide de la formule de Soulsby & Whitehouse (1997).

II.2- LES APPORTS SOLIDES EN SUSPENSION

Ils concernent les éléments fins du transport solide qui sont maintenus en suspension, par la turbulence de l'eau, créée par les matériaux du lit. La quantité de matériaux en suspension dépend uniquement des quantités d'éléments très fins, qui proviennent de l'érosion des bassins versants, due au ruissellement des eaux de pluie. Les concentrations d'éléments en suspension des oueds Algériens dépassent souvent les 100 g/l surtout pendant les premières pluies d'Automne. A titre d'exemple dans l'oued Isser (Boumerdes), la concentration est de 20 g/l en moyenne, et elle dépasse 265g/l en période de crue. Par contre dans les rivières Françaises, la concentration en matériaux fins est d'environ 2 g/l en moyenne et atteint fréquemment 20 g/l en crue (Rimini, 2005)

Les matériaux en suspension considérés seront les matériaux provenant du lit et en interaction avec lui. Les matériaux fins provenant du bassin versant sont transportés en auto-suspension et n'interagissent pas avec le lit mineur. Pour cette raison, il n'est pas nécessaire de les étudier ici. Par contre ces matériaux fins se déposent dans le lit majeur lors des décrues.

Le transport solide par suspension correspond au déplacement des matériaux au sein de l'écoulement : ils sont assez fins pour que la turbulence de l'écoulement dépasse la vitesse de chute du grain. Ces matériaux sont transportés sans contact permanent avec le lit. Ils n'ont donc pas d'influence majeure sur le comportement de l'écoulement et la morphologie du lit mineur. Par contre, ils peuvent jouer un rôle prépondérant pour le développement des terrasses élevées ou l'envasement des retenues.

- **Description du phénomène**

Au fur et à mesure que la vitesse du courant s'accroît dans le cours d'eau, l'intensité de la turbulence s'accroît également jusqu'au stade où les particules en saltation atteignent une hauteur au-dessus du fond où les forces extensionnelles fluctuantes dues à la turbulence dépassent le poids des particules.

A partir de ce moment, les particules ne suivent plus une trajectoire dans l'épaisseur du fluide. Le critère d'apparition des phénomènes de suspension qui consiste à définir la vitesse « U » d'écoulement du liquide, par laquelle la poussée de ce dernier sur les grains de diamètre « D » permet

la mise en suspension des grains quartzeux de 0,2 à 0,85 millimètres de diamètre dans des écoulements naturels de rivières est définie par la formule de W.Kresser.

$$U = 360. g. D \quad (\text{m/s}) \quad (\text{I.16})$$

Avec $U = C\sqrt{hj}$ et $\tau = \gamma J. h$ d'où $\tau = 360 \left(\frac{\gamma g}{C^2} \right) D$

τ : tension tangentielle de l'écoulement ;

γ : poids volumique du liquide ;

C : coefficient de Chezy ;

h : hauteur du liquide ;

J : perte de charge régulière ;

U : vitesse de l'écoulement (m/s) ;

D : diamètre des grains (mm) ;

g : accélération de pesanteur (m^2/s).

Selon Roose (1987), la présence d'élément solide en suspension dans un cours d'eau est due à la turbulence de l'écoulement. Les particules solides subissent l'action des composantes transversales des vitesses de turbulence ($v = \bar{v} + \acute{v}$) qui s'opposent à la pesanteur pour maintenir les particules en suspension.

- **Calcul et estimation du transport solide en suspension**

Le calcul du débit solide constitue depuis longtemps un défi pour les ingénieurs et chercheurs, qui ont élaboré une panoplie complexe de méthodes et de formules pour faciliter ce calcul.

Les données de débit liquide et de concentration sont employées pour calculer le débit solide journalier. Le débit solide d'un cours d'eau est calculé comme le produit du débit liquide mesuré et de la concentration de sédiments en suspension, durant une période de temps donné. Il est exprimé par l'équation :

$$Q_s = QC \quad (\text{kg/s}) \quad (\text{I.17})$$

Où Q_s est le débit solide, en tonnes par jour ; Q est le débit liquide, en m^3/s ; et C est la concentration de sédiments en suspension, en mg/l ou g/l .

L'évaluation des apports solides journaliers, mensuels et annuels des cours d'eau Algériens est effectuée par les services de l'A.N.R.H de la même manière que pour les apports liquides sur la base d'un dépouillement des enregistrements limnographiques.

Pour une station hydrométrique donnée, on sélectionne les journées de crues pour les quelles un nombre suffisant et représentatif de prélèvements à été effectué permettant une bonne reconstitution du turbidigramme. Un organigramme de la méthode de calcul d'un débit solide.

Cette méthode opérationnelle, bien qu'automatisée s'avère insuffisante et limitée en raison du caractère aléatoire du phénomène, du système de collecte d'échantillons qui raréfie le prélèvement des concentrations élevées et enfin des lacunes inévitables au sein des séries d'observations.

L'équation est traduite par une relation curviligne entre les mesures du débit liquide et le débit solide est dérivé sur papier logarithmique. La relation est ainsi appliquée aux débits liquides pendant des périodes où le débit solide ne peut pas être calculé directement.

II.3. APPROCHES METHODOLOGIQUES POUR LA QUANTIFICATION DU TRANSPORT DES SEDIMENTS

Si les méthodes de détermination du transport en suspension sont abondantes dans la littérature (Lane et Kalinske, 1939 ; Einstein, 1942, 1950 ; Brooks, 1958 ; Bagnold, 1966 ; Yang, 1996), la quantification de la charge de fond est encore un enjeu dans les études de dynamique fluviale. Les processus physiques impliqués sont en effet mal compris et complexes. La quantité de variables engagées dans la mécanique du transport solide rend difficile l'établissement de critères satisfaisants dans tous les cas, de sorte qu'il n'existe pas de méthode universellement consacrée.

Plusieurs hydrauliciens et géomorphologues ont cherché à établir des relations permettant d'estimer le transport solide des cours d'eau. Parmi les nombreuses méthodes trouvées dans la littérature spécialisée, on a des méthodes purement empiriques jusqu'à des modèles théoriques complexes. Certains estiment la quantité de sédiments transportés de façon directe, d'autres de façon indirecte en utilisant comme données les paramètres hydrauliques de la section ou du tronçon d'étude et les caractéristiques du matériel de fond.

Un des méthodes appliquées pour déterminer le transport solide consiste à utiliser des pièges à sédiments (Helley et Smith, 1971; Klingeman et Milhous, 1971; Ryan et Troendle, 1997, Ryan et Porth, 1999), Dans cette méthode, le volume de matériel transporté par l'eau est déterminé en fonction de la relation entre la quantité de sédiment capturé dans le piège pendant une période donnée ou un événement, ce qui permet d'effectuer des mesures directes de flux sédimentaires. Pour obtenir la quantité de matériel transporté, les matériaux accumulés dans les trappes doivent être séchés et pesés, ce qui permet un calcul du flux sédimentaire moyen par unité de temps.

Il existe nombreuses variantes quant à la forme et à la taille des pièges, mais tous adoptent le même principe (Figure I.2). L'utilisation des pièges à sédiments est indiquée pour les chenaux peu profonds et à faible énergie; dans les grands chenaux, ce type d'instrument fonctionne difficilement et il faut installer un système de pompage pour vider le piège (Gregory et Walling, 1985).

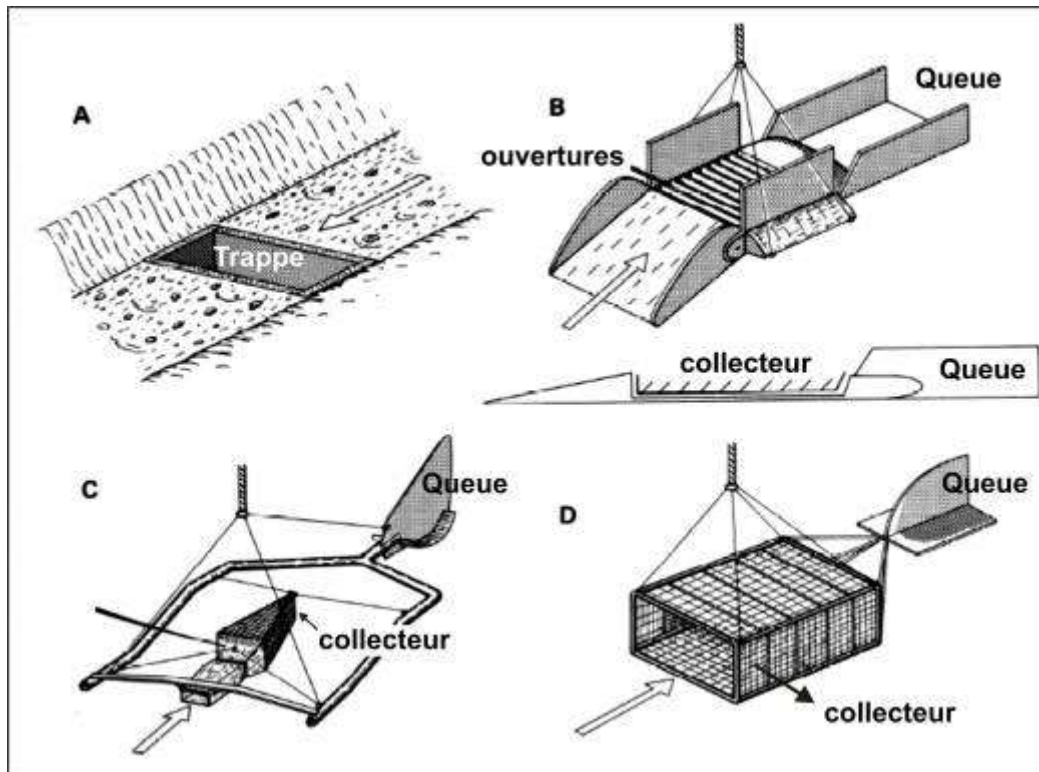


Figure (I.5) : Pièges à sédiment. (reference)

Certains auteurs mentionnent encore l'usage de traceurs fluorescents ou radioactifs, de matériels naturels identifiés ou de matériel synthétique. Dans ce cas, le déplacement des marqueurs est utilisé pour déterminer la vitesse de propagation des particules et la charge est inférée d'un échantillonnage ou de formules. Les traceurs, qu'ils soient naturels ou artificiels, peuvent être suivis pendant une durée qui peut varier de quelques heures à plusieurs mois. Pour être utilisable comme marqueur, le matériel adopté doit avoir un comportement dynamique aussi proche que possible des caractéristiques du matériel naturel du point de vue de la granulométrie, de la densité, de la rugosité de surface ainsi que des caractéristiques de forme; le matériel doit enfin être de détection facile. Il existe des contraintes liées à l'utilisation des traceurs fluorescents et radioactifs directement dans l'environnement; il faut utiliser du matériel de basse à demi-vie et basse toxicité; dans certains cas, il faut disposer de l'autorisation des organismes environnementaux pour les introduire dans les cours d'eau naturels (Levoy et Monfort, 2001).

Malgré le développement et le perfectionnement des pièges et des techniques de mesure, il reste de nombreuses incertitudes quant à la consistance des données qu'on utilise dans les cours d'eau naturels. Il convient encore de reconnaître que les techniques intrusives, surtout les pièges à sédiments, modifient nécessairement le flux sédimentaire, en modifiant non seulement la résistance du lit mais aussi la trajectoire des particules. Elles sont indiquées principalement pour les expérimentations de courte durée et dans des conditions de basse énergie et dans des chenaux de petite taille. En ce qui concerne les cours d'eau à lit sableux couvert de dunes, les valeurs obtenues par le charriage à partir des pièges à sédiments varient dans des proportions inquiétantes suivant la position du point de prélèvement par rapport à la crête de la dune (Roche, 1963). En ce qui concerne les grands cours d'eau, l'utilisation de pièges à sédiments n'est pas très efficace, la saturation du piège est parfois très rapide dans les chenaux où le transport est le plus intense, sans compter les difficultés d'installation et récupération des pièges. Il est enfin difficile d'orienter les pièges selon le flux ; dans ce cas, l'aide d'un plongeur est possible.

Les équations sont la méthode plus utilisée par les hydrologues et les géomorphologues pour estimer le transport solide. Ces équations sont des formules développées pour quantifier le transport solide d'un courant en fonction des caractéristiques hydrauliques et géométriques du chenal et des caractéristiques granulométriques du matériel de fond. Les équations de transport solide sont classées en trois groupes. Du premier groupe, relèvent celles qui donnent seulement la charge en suspension, dans ce cas la charge de fond est inférée indirectement en fonction du matériel en suspension. Dans le deuxième groupe, on a les formules qui donnent directement le charriage. Enfin, dans le troisième groupe, les formules incorporent les deux types de transport en donnant la charge totale.

En vertu de la complexité des processus impliqués et de la quantité de paramètres liés au transport mécanique des sédiments dans un écoulement, plusieurs méthodes ont été développées au long des années. La majeure partie des méthodes a été basée sur des approches théoriques ou semi-empiriques, élaborées dans des canaux expérimentaux, où le chercheur possède le contrôle de toutes les variables impliquées dans les processus de transport solide. Dans ces cas, on cherche à estimer le transport solide à partir des interactions entre les conditions hydrauliques du flux et les caractéristiques des sédiments, les quels sont déjà connus. Dans quelques cas, les formules ont été testées ultérieurement et améliorées avec des données prises sur le terrain pour confirmer leur fiabilité et leur applicabilité au milieu naturel. En général les méthodes théoriques sont obtenues à partir d'associations et de simplifications d'équations qui gouvernent le flux et les sédiments et peuvent être modifiées dans différentes conditions. Les fonctions semi-empiriques sont données en fonction des caractéristiques d'écoulement, qui sont la pente de la ligne d'énergie, la profondeur de la colonne d'eau et la vitesse du flux, et des caractéristiques des sédiments (composition du matériel et diamètre des particules).

Du Boys (1879) a présenté la première formule pour la détermination du transport solide. Jusqu'aux années 1940 les recherches développées sur ce sujet ont été spécialement influencées par l'approche de DuBoys. Ensuite plusieurs méthodes sont apparues. Les approches les plus utilisées sont la tension de cisaillement sur le fond, le débit et la vitesse du flux, les formules obtenues par fonction stochastique du mouvement qui rapportent le transport à la puissance hydraulique (Garcia et Sala, 1998).

Les formules de DuBoys (1879), Straub (1935), Kalinsk (1947), Schoklitsch (1914, 1950), Shields (1936), Meyer-Peter et Müller (1948), Levi (1948), Sato, Kikkawa et Ashida (1958), Yalin, (1963), et Pernecker et Vollmer (1965) peuvent être considérées comme étant du même type que celle de DuBoys (1879). L'application de ces formules donne des résultats de charge de fond quant les valeurs des tensions de cisaillement d'écoulement dépassent les valeurs de la tension critique de début de mouvement et l'utilisation de ces formules est limitée aux conditions utilisées (Coiado et Paiva, 2005).

Dans les formules de Schoklitsch (1914, 1950), le transport solide est donné en fonction de la différence entre le débit liquide total et le débit liquide dans lequel commence le mouvement de charriage, ce qu'il a appelé « débit critique ». Colby (1957) présente une formule simplifiée qui utilise comme paramètres le débit liquide, la profondeur moyenne, la vitesse du flux, la largeur de la section et la concentration des solides en suspension. Einstein (1942) propose une loi de charriage fondée sur une théorie stochastique. Il a supposé que la mobilité d'un grain suit une loi de probabilité normale. Les caractéristiques réelles du transport solide par charriage sont influencées par les fluctuations de la turbulence du flux et par l'agencement des particules (Garcia et Sala, 1998 ; Abderrezzak, 2006). Comme Einstein (1942), Shields (1936), Kalinske (1947), Levi (1948), Einstein-Brown (1950), Yalin

(1963), et Pernecker et Vollmer (1965) considèrent les fluctuations turbulentes du flux et la tension de cisaillement du flux pour la détermination du transport solide. Pour Inglis et Lacey (1968), le déplacement des particules est fonction de la vitesse de chute et de la viscosité. Bagnold (1966), Engelund et Hansen (1967) et Yang (1973) utilisent le concept de puissance du courant et le principe de la similarité (Coiado et Paiva, 2005).

Dans les formules de Meyer-Peter et Müller (1948) et de Garde et Albertson (1961), les auteurs considèrent le rôle des déformations du lit sur le transport solide. Ackers et White (1973) ont déterminé que le transport solide est fonction de trois termes adimensionnels : le diamètre adimensionnel de la particule, un paramètre lié à mobilité de la particule et un taux adimensionnel de transport solide. Cette fonction a été obtenue à partir de presque mille expérimentations en canal avec mouvement uniforme et avec profondeurs d'écoulement vers 0,4 m. En ce qui concerne au diamètre des sédiments, sur le tableau suivant on peut voir les classes granulométriques selon chaque méthode à été développée (Tableau I.3).

Tableau I.3 : Les classe granulométriques utilisées dans le développement des formules de transport solide (Coiado et Paiva, 2005).

Formules	Diamètres des sédiments (mm)
<i>DuBoys (1879) et Straub (1935)</i>	$0,10 \leq D_{84} \leq 4,0$
<i>Schoklitsch (1914, 1950)</i>	$0,315 \leq D_i \leq 7,02$
<i>Shields (1936)</i>	$1,56 \leq D_{50} \leq 2,47$
<i>Meyer-Peter et Müller (1948)</i>	$0,40 \leq D_a \leq 4,22$
<i>Kalinske (1947)</i>	$0,315 \leq D_i \leq 28,6$
<i>Levi (1948)</i>	$0,063 \leq D_i \leq 2,0 (*)$
<i>Einstein (1942) et Einstein-Brown (1950)</i>	$0,30 \leq D_i \leq 30,0$
<i>Sato, Kikkawa et Ashida (1958)</i>	$0,30 \leq D_i \leq 7,01$
<i>Rottner (1959)</i>	$0,31 \leq D_i \leq 15,5$
<i>Garde et Albertson (1961)</i>	$0,78 \leq D_i \leq 15,5$
<i>Yalin (1963)</i>	$0,787 \leq D_i \leq 2,86$
<i>Pernecker et Vollmer (1965)</i>	
<i>Inglis et Lacey (1968)</i>	$0,063 \leq D_i \leq 2,0 (*)$
<i>Bogardi (1974)</i>	$0,31 \leq D_i \leq 15,5$

DuBoys et Straub utilisent le diamètre à 50 % (D_{50}) comme diamètre représentatif dans ces formules. Schoklitsch (1914, 1950) ont défini le diamètre à 40 % comme représentatif dans ces formules. La formule de Meyer-Peter et Müller (1948) utilise le valeur de 0,047 kgf/m² de façon que seules les fractions soumises à une tension supérieure à cette valeur peuvent se déplacer en produisant le transport de fond. Le diamètre représentatif de la formule de Meyer-Peter et Müller (1948) est le D_a . La formule de Pernecker et Vollmer (1965) utilise la valeur de 0,040 kgf/m², de façon que seules les fractions de sédiments soumises à des tensions supérieures à ces valeurs se déplacent en produisant le transport de fond. Yalin (1963) et Pernecker et Vollmer (1965) recommandent d'utiliser comme diamètre représentatif un diamètre moyen mais sans préciser lequel (D_a , D_{50} , D_g). La formule de Levi (1948) reste limitée aux fractions sableuses, sans préciser quel diamètre utiliser (Coiado et Paiva, 2005).

Bref, la plupart des formules ont été développées à partir d'expériences en canaux expérimentaux qui permettent le contrôle de toutes les variables engagées dans le transport des sédiments. Ce contrôle permet d'établir une relation entre le transport de fond et les conditions hydrauliques du flux. Ce type d'approche, explorée de façon systématique dans plusieurs domaines et pendant plusieurs années, propose des méthodes fortement expérimentales. Les difficultés techniques pour obtenir des données de terrain sur le transport de fond ont limité les travaux de calibration et le développement de nouveaux modèles et de nouvelles méthodologies (Garcia et Sala, 1998). Quelques fois les formules sont passées par nouveaux essais, avec introduction de données de terrain pour une meilleure calibration (Parker *et al.*, 1982 et Gomez et Church, 1989). Parker *et al.* (1982) ont utilisé les formules calibrées pour des conditions spécifiques de flux ; néanmoins, même en chenal naturel, les résultats ne sont pas les mêmes et sont bons que dans le cours d'eau originel où la formule a été développée.

Le manque de données continues sur les fleuves, c'est-à-dire sur une large gamme de conditions hydrauliques et sédimentaires, rend difficile l'établissement d'un modèle universel. Hubbell (1964), dans une révision des instruments et techniques de mesure du transport par charriage, estimait qu'il n'existe pas d'instrument ou de technique, soit théorique ou empirique, universellement acceptée pour la détermination du charriage à grande échelle et des conditions hydrauliques en milieu naturel. La réalisation de mesures dans les cours d'eau naturels est plus difficile, surtout quand on travaille sur des grands cours d'eau, soit à cause des limitations techniques soit à cause des coûts opérationnels de la réalisation de travaux extensifs sur le terrain. Comme on peut le voir, plusieurs formules permettent d'estimer la charge par charriage dans les cours d'eau et canaux.

Dans ces travaux, on a sélectionné les formules de Meyer-Peter et Müller (1948), Engelund-Fredsøe (1982), Van Rijn (1984), outre la méthode du déplacement des dunes. Les méthodologies ont été sélectionnées en fonction de l'approche théorique utilisée dans la formulation. Toutes les méthodes sélectionnées ont été formulées en utilisant la même approche théorique, basée sur la tension critique et la puissance du courant.

II.4.LA MESURE DES TRANSPORTS SOLIDES CHARRIES SUR LE FOND DU LIT DES COURS D'EAU

La mesure de la quantité de matériaux charriés sur le fond du lit des cours d'eau constitue encore à l'heure actuelle un problème complexe qui est loin d'être résolu. La gamme des éléments soumis dans ce cas la mesure s'étend des sables jusqu'à des matériaux de grosse taille, voire même des blocs rocheux dans les parcours montagneux, en passant par les graviers.

Jusqu'en 1953-1954, d'anciennes méthodes de mesure étaient seuls employées. Depuis cette époque, de nouvelles méthodes, fondées sur les traceurs luminescents ou les traceurs radioactifs, ont fait leur apparition et ouvrent une nouvelle voie d'investigation.

II.4.1- Les anciennes méthodes de mesure du charriage et leur examen critique:

Ces méthodes sont de différents genres.

1)- il fut tout d'abord tenté d'appliquer aux cours d'eau des formules semi-théoriques pour calculer les transports solides qu'ils effectuent par traction sur le fond de leur lit. Mais cette

application représente une extrapolation posée et les hydrologues recherchèrent des méthodes de mesure directe du charriage par prélèvement d'échantillons.

Plusieurs méthodes sont utilisées pour mesurer le débit solide par charriage. La plus directe d'entre elles est de disposer d'une trappe sur la largeur du lit de l'oued (transversalement), qui va piéger des sédiments et à l'aide d'un pompage, on connaîtra le volume charrié.

2) Les capteurs d'échantillon les plus connus sont les « nasses de prise en rivière».

Une nasse de prise en rivière consiste en un récipient de capture des éléments solides. L'eau peut le traverser. Elle pénètre à l'amont et ressort à l'aval mais rencontre, dans son parcours à travers le récipient, un système de retenue des éléments solides qu'elle tracte.

Deux systèmes de retenue ont été utilisés :

a) le premier consiste en un grillage dont les ouvertures sont déterminées en fonction de deux facteurs : la possibilité de retenir des éléments de taille donnée; la rétention des éléments sans colmatage du grillage.

b) le second, plus récent, consiste en une plaque à profil sinusoïdal placé au milieu d'un canal à parois latérales pleines. L'eau traverse le canal et s'évacue librement vers l'aval mais son passage sur la plaque à profil sinusoïdal provoque une sédimentation des éléments charriés.

Elles doivent être immergées en position horizontale et parallèlement au courant. Elles doivent être déposées sur le fond du lit en position horizontale. Elles doivent être maintenues adhérentes au fond et dans le sens du courant. Pour leur remontée, elles doivent être décollées du fond sans renversement vers l'amont ni raclage. Leur remontée doit s'opérer en position identique à celle de leur descente.

Si l'on considère la nature même du phénomène mesuré et les règles qu'il faudrait respecter en maniant les nasses, on conçoit aisément que les nasses de prise en rivière n'aient pas donné une entière satisfaction. En effet, on est déjà en droit de se demander, dans des conditions normales, quels sont les effets des troubles causés par un appareil de prélèvement posé sur le fond d'un lit. Ils sont encore très mal connus. D'autre part, en supposant même qu'un charriage par unité de volume d'eau soit assez bien mesuré, une nouvelle source d'erreur apparaît avec la mesure de la vitesse de l'écoulement au fond du cours d'eau.

Déjà difficile dans des conditions normales, la mesure du charriage devient ardue dans les circonstances capitales, c'est-à-dire au cours des très grosses crues, lorsqu'existent des courants très rapides chargés d'éléments solides volumineux. Lors de ces phénomènes violents, les charriages peuvent devenir paroxysmaux et dépasser de cent fois des transports normaux. Il serait capital de les apprécier. Or, en de telles circonstances, les très gros matériaux mis en mouvement ne peuvent être captés par des nasses. Ces appareils de capture risquent d'être tordus et détériorés et d'abord de ne pouvoir même être immergés au fond du lit étant donné la violence des écoulements liquides comme solides.

Les nasses de prise en rivière ne peuvent donc donner aucune idée des valeurs paroxysmales possibles du charriage. On ne peut espérer d'elles un rendement relativement bon que dans le cas où les transports de fond sont modérés. C'est pour ce cas que leur coefficient d'efficacité (rapport de la quantité de matériaux recueillie à celle qui serait passée au droit de la nasse en l'absence de celle-ci) a

été déterminé sur modèles réduits. Pour EHRENBERGER et EINSTEIN, il se chiffrerait en moyenne à 45%, cette valeur étant indépendante du degré de remplissage tant que celui-ci ne dépasse pas 33% de la capacité totale de la nasse. Pour la Société d'Aménagement de l'Isère, le coefficient d'efficacité serait de 52% tant que 28% de la nasse ne sont pas occupés.

Ces efficacités seraient obtenues pour des prises très fréquentes car la variation du débit de charriage est considérable. La fréquence des prises est souvent de l'ordre d'une fois par 2 min. 30 sec. Pendant une heure (durée de chaque prise : une minute).

3) D'autres solutions ont été apportées au problème de la capture des éléments charriés par les cours d'eau en vue de leur évaluation quantitative. L'une d'elles a consisté à placer sur le fond du lit des chicanes. Celles-ci étaient calculées et placées de telle manière qu'elles provoquaient une turbulence suffisante pour mettre en suspension les matériaux simplement tractés. Ainsi on espérait faciliter leur capture. Mais les critiques faites à propos des nasses restent entièrement valables pour les chicanes.

4) Les ouvrages de dessablage ont été également proposés dans certains cas comme moyens de mesure du charriage. On peut citer parmi eux le « tube tourbillon » mis au point à la Station Expérimentale de l'Agriculture du Colorado à FORT COLLINS (USA), ou un ensemble de tubes tourbillons et de déflecteurs. Ces ouvrages éliminent des matériaux qui peuvent être recueillis et ainsi être évalués quantitativement. Mais les matériaux éliminés par eux ont seulement un calibre moyen variant en gros entre 5 mm et 150/^µ, ce qui limite le champ des investigations.

5) Devant ces difficultés, une solution d'un autre genre a été recherchée dans la cubature des dépôts dans des retenues naturelles ou dues à l'Homme. La mesure du volume des matériaux déposés pendant un temps donné dans une retenue, liée à la connaissance de ce qui peut s'échapper à l'aval de celle-ci, semble, a priori, pouvoir conduire à une connaissance des transports solides totaux du cours d'eau qui s'y jette. L'estimation des transports en suspension à l'amont de la retenue peut introduire une estimation du charriage.

Lorsque la retenue est très petite, par exemple quelques dizaines de m³, parce que le bassin drainé est lui-même très petit, de bonnes approximations peuvent être obtenues. Mais si la retenue est très grande (grand lac par exemple), les mesures se révèlent pleines d'aléas. Un premier problème apparaît avec la nécessité d'évaluer périodiquement le volume d'un cône de déjection sans ignorer les matériaux fins qui s'étalent à l'aval du cône, souvent très loin. Si l'on admet cependant la véracité de cette donnée volumétrique, une seconde source d'erreurs dangereuses apparaît.

Elle est due à la différence de nature des mesures réalisées dans un cours d'eau et une retenue. Si, en effet, les dépôts dans une retenue sont mesurés en volume, le débit solide d'un cours d'eau est mesuré en poids. Pour calculer, dans cette condition, un débit solide total ou retrancher une suspension d'un dépôt, il faut transformer l'une ou l'autre mesure au moyen de la densité apparente des éléments. Or la densité apparente d'une masse d'éléments, surtout s'ils sont fins, varie avec le dépôt et le tassement de cette masse sous l'eau. Il ne semble pas que des connaissances certaines soient déjà acquises sur l'augmentation de la densité apparente d'un ensemble de matériaux de taille donnée en fonction du temps et de la profondeur de son dépôt, en fonction de la pression exercée par de nouveaux dépôts etc. . A plus forte raison, l'ignorance est encore plus grande pour un ensemble aussi hétérogène qu'un cône de déjection.

A l'inverse, il est hasardeux de déterminer le volume occupé après son dépôt par un poids donné d'éléments prélevés pendant leur transport. On peut évaluer le volume qu'occupent ces éléments à l'état sec, ce qui est très différent.

En conclusion, la mesure des transports de fond effectués par les cours d'eau pose un problème ardu que les anciennes méthodes de mesure n'ont pas résolu de façon satisfaisante. C'est alors qu'en 1953-1954, les hydrologues ont fait appel à de nouvelles méthodes, fondées sur l'emploi de traceurs colorés, luminescents ou radioactifs.

II.4.2- Les Méthodes modernes de mesure du charriage

Ces nouvelles méthodes ne visent plus à une évaluation quantitative directe des transports solides effectués par les cours d'eau sur le fond de leur lit. Elles conduisent à l'étude d'un problème fondamental qui est le mouvement des matériaux eux-mêmes, complétée par la recherche des moyens pour passer de l'analyse qualitative des déplacements à une détermination quantitative de ceux-ci.

Elles se fondent toutes sur le principe suivant : placer sur le fond du lit des cours d'eau des matériaux dont les caractéristiques physiques sont identiques à celles des matériaux naturels transportés par l'eau et qui, par conséquent, se déplaceront selon les mêmes lois, mais qu'un marquage préalable permet de suivre dans leurs déplacements au milieu des éléments non marqués. La répartition dans le temps et dans l'espace des éléments marqués permet de déterminer la vitesse et l'importance des mouvements.

Les nouvelles méthodes de mesure du charriage diffèrent entre elles par le procédé de marquage adopté, les procédés actuels étant :

- le marquage par peintures ou résines ;
- le marquage par matières colorantes luminescentes ;
- le marquage par isotopes radioactifs.

II.4.2.1. La méthode des peintures et résines

Elle constitue la méthode la plus simple. Elle consiste à enduire les matériaux soumis à l'étude d'une matière qui y adhère fortement, qui résiste bien à l'abrasion et dont les pigments présentent une grande stabilité chimique à l'eau. Ces nécessités ont conduit à l'emploi de résines synthétiques.

Après l'immersion des éléments marqués, leur reconnaissance au milieu de matériaux prélevés à des temps et à des distances données, est simplement visuelle.

Ce procédé de marquage est peu coûteux et permet de traiter de très grosses quantités de matériaux. Mais il est obligatoire de ne pas changer la densité des éléments marqués afin de ne pas perturber leurs propriétés de déplacement dans l'eau. En conséquence la couche de marquage doit être de faible épaisseur par rapport aux dimensions des éléments marqués. Ceci limite l'emploi des peintures et résines à l'étude du déplacement des galets naturels.

II.4.2.2. La méthode des traceurs luminescents

Cette méthode est fondée sur les phénomènes lumineux produits par des sédiments enduits d'un produit colorant luminescent quand ils sont éclairés par rayonnement ultra-violet.

Dans ce cas, les sédiments enduits se distinguent nettement sous forme de points lumineux sur le fond sombre des sédiments non colorés. La netteté du contraste est tellement grande que le nombre des sédiments marqués contenus dans un prélèvement de 1 g 5 peut être déterminé en 2 à 3 minutes pour un rapport de 1/105 entre grains marqués et non marqués.

L'application de cette méthode comporte le prélèvement d'une quantité déterminée de sédiments au lieu d'étude, leur marquage et leur remplacement à l'endroit du prélèvement sous une forme (par lignes, par points etc..) qui dépend de l'étude envisagée.

Les sédiments marqués sont déplacés à des distances et avec des vitesses qui caractérisent les mouvements de l'ensemble sédimentaire. Ces mouvements ne peuvent être reconnus que par prélèvements d'échantillons car les matériaux doivent être séchés et placés sous une lumière ultra-violette. Le prélèvement de tranches horizontales d'épaisseur, de longueur et de largeur données (appareil de Zenkovitch), à la surface des matériaux de fond, permet d'étudier la répartition des traceurs dans le sens de l'écoulement. La prise de carottes de hauteur fixée permet l'étude de leur répartition verticale.

On évalue le nombre précis des sédiments marqués contenus dans les échantillons prélevés. On l'exprime par unité de poids ou de volume (souvent par 100 g ou par 100 cm³). La comparaison des analyses effectuées à des points et à des intervalles de temps fixés à l'avance permet de caractériser les mouvements et l'étude simultanée des facteurs du déplacement permet des conclusions plus étendues.

Les traceurs luminescents (Anthracène, Lumogène, Rhodamine B, Primuline, Uvitex) peuvent être utilisés, comme les peintures et les résines, pour étudier le déplacement des galets, mais c'est surtout dans l'étude du déplacement des sables naturels qu'ils trouvent leur plein emploi, étant donné les opérations que nécessite leur détection et la nature des résultats obtenus.

II.4.2.3. La méthode des traceurs radioactifs

Elle constitue la plus employée des nouvelles méthodes d'étude du charriage pour deux raisons :

- elle permet l'étude d'une gamme très étendue de matériaux allant des vases aux gros galets;
- elle introduit l'emploi de traceurs qu'on peut détecter dans le cours d'eau lui-même sans prélèvement; des mesures continues sont alors possibles.

a) Principe de la méthode

Le principe reste toujours le même mais, en ce cas, ce sont des traceurs rendus émetteurs d'un rayonnement à l'aide d'isotopes radioactifs qui sont placés sur le fond du lit des cours d'eau et soumis à l'action de déplacement. La répartition dans le temps et l'espace de l'intensité du rayonnement émis par les traceurs sert alors de critère pour l'étude des transports solides.

La mesure de la radioactivité s'effectue selon un rythme et en des lieux déterminés à l'aide de l'appareillage adéquat, soit dans le cours d'eau lui-même, soit sur des prélèvements (cela dépend de la nature du rayonnement émis).

Les mesures sont reportées sur des diagrammes et reliées par des courbes d'égale activité traduisant le mouvement des traceurs.

Les radioéléments et les sédiments marqués doivent naturellement répondre à un certain nombre de conditions :

- les matériaux marqués doivent se comporter sous l'action de l'eau de la même façon que les matériaux non marqués;
- ils doivent s'en distinguer par leur rayonnement dont l'activité doit pouvoir être détectée sans être dangereuse;
- si les éléments radioactifs sont fixés sur les sédiments, ils doivent l'être de façon solide car la mesure n'a de valeur que si l'activité n'est pas modifiée par des actions mécaniques ou chimiques au cours du transport des traceurs;
- les propriétés des traceurs ne doivent pas se modifier pendant la durée des expériences. Leur période doit être convenablement choisie en fonction de la durée de l'expérience et de l'intervalle de temps entre les mesures;
- les traceurs doivent enfin pouvoir être activés par des moyens simples.

b) Fabrication des traceurs : procédés de marquage

Deux procédés existent :

- les traceurs sont constitués par les sédiments eux-mêmes ;
- les traceurs sont constitués par des matériaux artificiels broyés à la granulométrie des sédiments naturels.

(i) Utilisation de sédiments naturels

- Irradiation de sédiments par des neutrons lents dans un réacteur.
- Lorsque la composition chimique de sables est telle que les isotopes radioactifs, pouvant servir de traceurs, se forment sous l'effet d'une irradiation, ces sables peuvent être utilisés. Cette méthode présente des inconvénients graves. En effet, l'élément qui s'irradie le mieux est le phosphore, mais celui-ci, devenu phosphore 32, n'émet que des rayons β absorbés par seulement quelques centimètres d'eau, ce qui oblige à pratiquer des prélèvements. En outre la période du phosphore 32 est courte : 14,3 jours.
 - Adsorption de nuclides radioactifs à la surface de grains de sédiments. Le procédé consiste à fixer à la surface de grains de sédiments une substance radioactive par un procédé chimique, physique ou physicochimique. Par exemple, au Portugal, des sables sont immergés dans une solution de nitrate d'argent qui, irradié, donne naissance à l'argent 110. Ce procédé est applicable aux sables et aux galets.
 - Inclusion de nuclides radioactifs à l'intérieur de matériaux sédimentaires.
- Ce troisième procédé consiste à inclure dans le corps du sédiment de petites perles ou de fines aiguilles d'éléments radioactifs, le logement étant ensuite obturé à la cire. Il est surtout

applicable aux galets. Il a été utilisé par exemple en France pour l'étude du mouvement des galets du Rhône, avec emploi du tantale 182 (émetteur de γ de forte énergie). Le chrome (Cr 51) et l'iridium (Ir 192), sont également utilisables.

(ii) Utilisation de sédiments artificiels

- Inclusion de radioéléments dans du verre.
- Cette méthode de fabrication consiste à fondre un traceur (par exemple Ta 182) dans du verre, puis à broyer celui-ci à la granulométrie voulue ou bien à inclure un élément dans du verre au cours de sa fabrication, l'irradier (obtention du scandium 46 par exemple), puis à broyer le verre.
- Le sable ou les vases de verre activé sont devenus les traceurs les plus utilisés ces dernières années.
 - Inclusion d'éléments radioactifs dans des échangeurs d'ions.
- Cette méthode est fondée sur la propriété de certains corps naturels ou artificiels d'échanger de façon réversible leurs ions contre d'autres quand ils sont mis en contact avec une solution de ces derniers.
- Les différents procédés de fabrication indiqués ci-dessus conduisent à l'obtention de traceurs parmi lesquels les vases artificielles, les sables artificiels et les galets naturels sont les plus fréquemment employés.

c) Opérations de mesure

La préparation, le transport et le dépôt des traceurs radioactifs doivent être effectués en observant les mesures de précaution contre le rayonnement émis. Les galets peuvent être jetés directement dans le cours d'eau mais le placement des sables et des vases pose des problèmes épineux : ils doivent être déposés sur le fond du lit au moyen de récipients en plomb à ouverture commandée.

La détection des traceurs radioactifs, pour étudier le charriage, se fait ensuite de deux manières :

(i) par prélèvement d'échantillons, selon les méthodes indiquées à propos du prélèvement des traceurs luminescents (appareil de ZENKOVITCH, carottes). Les éléments sont alors détectés soit à l'aide de compteurs (Geiger Müller ou compteur à scintillations selon la nature du rayonnement), soit à l'aide d'un moyen photographique (impression du bromure d'argent des émulsions photographiques).

Les traceurs, émetteurs de β , doivent obligatoirement être prélevés, les rayons β étant très facilement absorbés par l'eau.

(ii) par détection sur place dans le cours d'eau lui-même, par des compteurs placés à poste fixe ou par des compteurs trainés sur le fond du lit. Cette méthode n'est applicable qu'à la détection d'émetteurs de rayons γ .

II.5. LA MESURE DES TRANSPORTS SOLIDES EFFECTUE EN SUSPENSION PAR LES COURS D'EAU.

Cette mesure s'opère depuis plus d'un siècle à la surface du globe et les caractères capitaux des transports solides effectués en suspension par les cours d'eau ont été très vite connus. Ce sont :

- la distribution inégale des substances solides dans une section mouillée. La turbidité varie latéralement et verticalement, la variation verticale étant plus importante que la variation latérale.
- la variation de la turbidité dans le temps, surtout au cours des crues. Cela a conduit récemment à essayer de construire des appareils réalisant des prélèvements continus pendant un laps de temps assez long. Des appareils réalisant des prélèvements discontinus, instantanés ou intégrés pendant un court laps de temps, sont d'ores et déjà mis au point.

II.5.1- Principes des méthodes de mesure

Étant donné le premier caractère indiqué ci-dessus, un principe fondamental règle la méthodologie des mesures. Il consiste à déterminer un certain nombre de verticales dans la section de mesure et à prélever des échantillons à différentes profondeurs le long de chaque verticale, grâce à un appareil perturbant le moins possible le régime d'écoulement.

Ces prélèvements peuvent être :

- instantanés;
- intégrés :
- pendant un temps court dans l'espace :
- intégration en profondeur;
- dans le temps en un point :
- prélèvement pendant un temps court;
- prélèvement pendant un temps plus long.

- **Prélèvements instantanés**

Lorsque les verticales ont été convenablement déterminées, la prise des échantillons s'effectue instantanément à plusieurs profondeurs le long de chaque verticale.

Simultanément la vitesse d'écoulement est enregistrée en chaque point de prise. Ceci permet le calcul de la turbidité en chaque point. Les chiffres obtenus introduisent, par application de méthodes de calcul appropriées, la connaissance du débit solide en suspension de la section entière à l'instant de la mesure.

- **Prélèvements instantanés**

Lorsque les verticales ont été convenablement déterminées, la prise des échantillons s'effectue instantanément à plusieurs profondeurs le long de chaque verticale.

Simultanément la vitesse d'écoulement est enregistrée en chaque point de prise. Ceci permet le calcul de la turbidité en chaque point. Les chiffres obtenus introduisent, par application de méthodes de calcul appropriées, la connaissance du débit solide en suspension de la section entière à l'instant de la mesure.

Le débit solide étant un phénomène soumis à de rapides variations dans le temps, les prélèvements doivent être fréquents, leur fréquence dépendant de l'état des eaux.

La règle d'une ou deux observations par 24 heures en période normale, avec une fréquence plus grande (observation toutes les 15 ou 30 minutes par exemple), lors des crues, est en général adoptée.

- **Prélèvements intégrés en profondeur**

Le désir d'approcher de plus près la réalité a conduit à apprécier la turbidité moyenne le long d'une verticale, non pas à l'aide de mesures ponctuelles donc discontinues, mais à l'aide du prélèvement continu d'un échantillon pendant le temps d'une descente et d'une remontée à vitesse uniforme d'un appareil de prise le long d'une verticale.

La détermination du débit solide de la section entière se fait ensuite toujours à l'aide des méthodes de calcul établies.

- **Prélèvements intégrés en un point pendant un temps court**

La turbidité n'est pas seulement soumise à des variations périodiques mais aussi à des pulsations rapides. Maintenir un appareil de prélèvement en un point, avec une prise continue pendant un temps donné (forcément assez court du fait que le volume prélevé est de l'ordre du litre ou de quelques litres), permet d'obtenir un échantillon moyen du mélange eau-matières solides tenant compte de ces pulsations. De ce fait, la réalité est approchée de plus près.

- **Prélèvements intégrés pendant un temps long**

Mais les transports solides s'effectuent surtout lors des écoulements maximum et leur variation au cours d'une crue est énorme. Il faudrait, en ces circonstances, pouvoir effectuer des prélèvements à des intervalles très proches, ce qui pose des problèmes techniques complexes. On en est arrivé alors à concevoir les prélèvements continus.

Ils consistent à pomper l'eau de façon continue en un point de la section étudiée et à la faire passer dans un système qui permet la prise quasi-continue d'une série de très petits échantillons, avec proportionnalité entre le débit de prélèvement et le débit liquide du cours d'eau.

Lors des périodes critiques, en particulier lors des crues, les méthodes de mesure sont rigoureusement appliquées. Mais, pour des mesures courantes en période normale, il est souvent d'usage de ne prélever les échantillons qu'en un seul point bien déterminé, après une étude comparative préalable de la turbidité calculée à l'aide de ce seul point et de la turbidité calculée par la méthode rigoureuse. Un coefficient de correction est établi s'il y a lieu.

D'une façon générale, la variabilité et les caractéristiques du débit solide et du débit liquide sont les facteurs du plan d'exécution des mesures, le choix :

- du nombre minimum de verticales;
- du nombre minimum d'échantillons à prélever le long des verticales;
- de la localisation des points de prélèvement.

II.5.2- Appareillage pour la mesure des transports solide en suspension

Une gamme assez étendue d'appareils existe à l'heure actuelle pour réaliser des prélèvements instantanés ou intégrés pendant un temps bref (par point ou en profondeur).

La sonde de Collet est composée d'un corps cylindrique à axe horizontal, tronqué par deux sections obliques. Sa fermeture s'opère par le rabattement de deux opercules entraînés par un système de ressorts. Son ouverture se fait par câble. Son inconvénient réside dans les troubles de l'écoulement que provoquent les mouvements des opercules.

Le laboratoire de l'Électricité de France, à Chatou (France) a substitué à ceux-ci un système de fermeture par cisaillement.

Les Ingénieurs Britanniques ont créé un appareil de prise d'eau composé de trois cylindres rigides liés par deux manchons en caoutchouc. La fermeture du récipient central s'obtient par une torsion des deux manchons souples.

Ces deux premiers appareils permettent surtout de faire des sondages simples.

Le Bathymètre-Tachymètre de Glouchkoff est plus perfectionné. Il est constitué d'un tube creux de 4 mm de diamètre intérieur et 20 cm de long. L'extrémité d'admission est profilée en ogive. A l'autre extrémité se trouve une vessie en caoutchouc de 3 litres de contenance. L'appareil est immergé avec le côté admission à l'aval. Un retournement de 180° est opéré au point de prélèvement et un nouveau retournement de 180° quand la vessie est pleine au 1/3. Cet appareil a le défaut de perturber la vitesse d'écoulement au moment des retournements.

Avec les *turbidisonde*s apparaissent les appareils de prélèvement les plus perfectionnés. Leurs caractéristiques générales sont les suivantes :

La vitesse de l'eau à l'intérieur du cercle de coupure de prise est égale à la vitesse du cours d'eau.

La prise est dirigée vers le courant approchant et fait une saillie suffisante pour que son orifice se situe en amont de la zone de perturbation due au corps de la turbidisonde.

Les turbidisonde sont conçues pour s'ouvrir sous l'eau et sont sujettes, de ce fait, un afflux initial. Pour annihiler celui-ci, un équilibre est réalisé entre la pression exercée par l'air à l'intérieur de la turbidisonde et la pression de l'eau à l'extérieur.

Quand un prélèvement intégré de profondeur est réalisé, la vitesse de compression de l'air, due à une augmentation de la pression hydrostatique, ne doit jamais dépasser la vitesse normale du courant d'entrée. La vitesse idéale à laquelle la turbidisonde est déplacée en profondeur est atteinte lorsque ces deux facteurs sont égaux.

L'un des défauts des turbidisondes actuelles est leur manque d'aérodynamisme.

Les turbidisondes les plus connues actuellement sont :

— la turbidisonde Neyrpic et la turbidisonde de l'« American Corps of Engineers »

(USP. 46), toutes deux fondées sur le même principe. L'air comprimé est utilisé pour commander l'entrée de l'eau;

— la turbidisonde du Rijkswaterstraat (Arnhem, Pays-Bas) ou Bouteille de Delft.

Elle est fondée sur un principe différent. Un système de cloisons dans la bouteille oblige l'eau à effectuer un circuit avant de ressortir. Au cours de ce circuit, le dépôt des sédiments est obtenu par un ralentissement de la vitesse de circulation, dû à une forte dilatation de la section transversale du filet admis;

— la turbidisonde de l'Électricité de France utilise les phénomènes de transmission de la lumière à travers une eau chargée de sédiments. L'eau passe à travers un volume prismatique traversé d'un faisceau lumineux. L'intensité de la lumière est enregistrée dans deux directions orthogonales : sens de l'écoulement, sens perpendiculaire à l'écoulement. L'appareil est étalonné et l'étalonnage se fait pour chaque série d'observations, étant donné la diversité des matériaux à apprécier selon les cours d'eau ou même selon les crues.

Les appareils conçus pour effectuer des prélèvements continus sont encore peu nombreux et n'en sont qu'au stade de la mise au point. En ce domaine, les Services des Études et Recherches de l'E. D. F. (France) ont conçu un appareil. Il consiste en une pompe volumétrique qui prélève l'eau de manière continue en un point. Elle la refoule dans un bac d'où elle s'écoule par un ajutage solidaire d'un chariot dont les mouvements sont fonctions d'un limnigraphe enregistrant les variations de hauteur du cours d'eau étudié. Le chariot se déplace au-dessus d'un disque et selon le rayon de ce disque. Celui-ci présente une fenêtre traduisant en coordonnées polaires la relation « hauteur-débit » du cours d'eau et est animé d'un mouvement de rotation. L'ensemble permet d'obtenir une proportionnalité entre le débit des prélèvements à travers la fenêtre lorsqu'elle se présente devant l'ajutage et le débit liquide du cours d'eau.

Les méthodes de mesure comme les appareils dont on dispose actuellement pour évaluer les transports solides effectués en suspension par les cours d'eau permettent d'obtenir des approximations très valables. Ces transports sont exprimés en turbidité ou en dégradation spécifique.

Du fait même de leur nature, ces données expriment des pertes définitives en terre se rapportant aux bassins versants situés en amont des stations d'étude. Elles ne peuvent en aucun cas rendre compte des déplacements locaux qui s'effectuent d'un point à un autre de la topographie. Mais il est certain par contre qu'elles sont tout à fait indicatrices de l'intensité des phénomènes d'érosion qui surviennent sur les bassins fluviaux.

II.6- METHODES D'ESTIMATION DES CHARGES SOLIDES

Plusieurs approches ont été utilisées pour calculer des charges solides à partir des données observées de concentration et de débit. Certaines sont plus précises que d'autres ; certaines sont seulement appropriées sous des conditions spéciales. Cette brève revue est destinée à indiquer la diversité des approches qui sont employées.

II.6.1- Méthode numérique

L'approche la plus simple est l'intégration numérique directe. La charge totale est donnée par :

$$Charge = \sum C_i Q_i t_i \quad (I.18)$$

Où C_i est la concentration du i ème échantillon, Q_i est le débit correspondant, et t_i est l'intervalle de temps représenté par le i ème échantillon, donné par $(t_{i+1} - t_{i-1})$. Il n'est pas exigé que t_i soit le même pour chaque échantillon.

L'intégration numérique est seulement satisfaisante si la fréquence de prélèvement est élevée (souvent de l'ordre de 100 échantillons par an ou plus), telle que la majorité des événements d'écoulement sont bel et bien prélevés. Roman-Mars et al., (1994) ont suggéré qu'une fréquence suffisante de prélèvement pour obtenir 20 échantillons pour un hydrogramme typique de ruissellement ait été nécessaire afin d'obtenir des estimations de charge avec une erreur inférieure à 5%. Yaksich et Verhoff, (1983) suggèrent 12 échantillons sur l'hydrogramme.

II.6.2- Méthode de régression

Elle développe une relation entre la concentration et le débit basée sur les échantillons prélevés, puis emploie la relation pour estimer une concentration représentative durant les jours où il n'y pas eu de prélèvements. L'estimation s'effectue en utilisant le débit moyen journalier comme entrée dans l'équation de régression. Des relations multivariées de régression ont été développées dans certaines études. La relation est parfois développée en utilisant le flux et le débit plutôt que la concentration et le débit, mais les résultats sont identiques (White, 1986).

La plupart des estimateurs de régression sont basés sur un modèle de régression linéaire, bien que ceci soit souvent appliqué après transformation. La transformation logarithmique est fréquemment employée, parce que beaucoup de paramètres environnementaux ont approximativement une distribution log-normale. Les relations de régression entre la concentration ou le flux et le débit après transformation log s'appellent souvent les courbes d'étalonnage ou courbe de transport solide dans la littérature spécifique.

Un problème généralement rencontré avec les estimateurs de régression est ce qui est communément appelé le retransformations de la déviation systématique ou biais, qui peut mener à de grandes erreurs dans les charges estimées. Ferguson (1986, 1987) et Koch et Smillie (1986) ont discuté de ce problème et ont développé des solutions à ce type de problème. Des chercheurs de l'U.S Geological Survey ont développé les techniques de retransformations qui sont en grande partie indépendantes du biais.

II.7 –RAPPEL BIBLIOGRAPHIQUE DES TRAVAUX SUR LE TRANSPORT SOLIDE EN ALGERIE

Grace au développement du réseau hydrométrique géré par l'agence nationale des ressources hydrauliques (A.N.R.H), un nombre important de données sur les transports solides des oueds Algériens a été requis depuis 1972. Ces données ont permis d'entreprendre d'importantes études quantitatives des différents phénomènes érosifs dans certains bassins-versants de l'Algérie septentrionale. A ce propos, on citera particulièrement les travaux de la SOGREAH-INRH (ANRH) (1981-1983), Benchetrit.A (1972), Demmak.A (1982) et le projet PNUD (1987). A cet effet, le présent travail est une étude complémentaire à la série de travaux que nous avons réalisés sur la géodynamique actuelle dans certains bassins- versants de l'Algérie orientale ou l'estimation chiffrée des phénomènes érosifs se heurte à beaucoup de difficultés (Bourouba.M, 1993, 1994, 1997, 1998).

II.7.1- Medinger (1960)

En 1960, il regroupe ses travaux effectués sur les méthodes de mesure est présente les données de mesure recueillis sur une trentaine de bassins durant la période 1946-1957.

Ses essais ont porté sur la mise en forme d'une relation entre débits et concentration instantanés. Les résultats qu'il obtenait n'étaient pas satisfaisants (Demmak, 1982).

II.7.2- Tixeront (1960)

Ses travaux sont basés sur les données de 32 bassins d'Algérie et 6 bassins de Tunisie, dont la superficie varie de 90 à 22300 km².

L'auteur a procédé à la correction et l'homogénéisation des séries qui figurent dans les annuaires hydrologiques de l'Algérie. Après avoir regroupé les bassins en trois classes, suivant un critère régional, il a essayé de mettre en évidence le rôle des facteurs suivants : précipitations, écoulement annuel, répartition saisonnière des pluies, le couvert végétal et les facteurs géomorphologiques dans la dégradation du sol.

Il a trouvé que :

- Les teneurs en suspension des trois groupes de bassins augmentent d'une façon générale lorsque le débit liquide diminue,
- Le substratum joue un rôle considérable,
- Le Crétacé inférieur, Jurassique, les terrains primaires, cristallins et cristallophylliens manifestent un taux d'abrasion négligeable,
- Les bassins à plus forte abrasion se situent dans les régions sismiquement actives,
- La répartition régulière des pluies avec un maximum en saison végétative est favorable aux faibles teneurs.
- Une zone de 300 à 700 mm où l'érosion est très active (1200 Tonnes km⁻²an⁻¹).

II.7.3- Capolini (1965-1969)

L'auteur a entrepris une étude géomorphologique régionale sur le bassin de Cheliff, afin de mettre en clair le processus d'érosion qui conditionne les transports solides des principaux affluents de l'Oued Chélif.

Il a basé son étude sur l'analyse morphométrique des réseaux (densité de drainage, coefficient de torrentialité) mise au point par les géographes Américains Schumm et Horton. L'application a permis de trouver des résultats encourageants sur les bassins du Rhiou et du Fodda. A partir de ces résultats, l'auteur a généralisé la méthode à l'ensemble du bassin de l'Oued Cheliff.

Les résultats ont permis à Capolini de :

- Proposer une quantification des débits solides en associant à chaque formation lithologique un débit spécifique ;
- d'établir une relation statistique entre l'érosion spécifique des bassins et le coefficient de torrentialité ;
- de suggérer la cartographie des zones susceptibles à l'érosion à partir de la carte du coefficient de torrentialité.

II.7.4- Sogreah (1969)

L'étude est basée sur les données d'observation recueillis au niveau de 9 barrages et 18 stations hydrométriques, totalisant 282 années.

Sur un bassin de nature géomorphologique donné, le transport solide apporté par les crues croît avec le volume ruisselé.

Leurs résultats ont été présentés sous forme d'une relation graphique traduisant des relations de la forme :

$$T = \alpha R^b \quad (\text{t/km}^2/\text{an}) \quad (\text{I.19})$$

Où T : la dégradation spécifique exprimée en $\text{T km}^{-2}\text{an}^{-1}$;

R : la lame d'eau annuel moyen écoulee exprimer en mm ;

$b = 15$.

α : paramètre empirique variant avec le degré de perméabilité des bassins de 3.3 (perméabilité élevée) à 3200 (bassins imperméables).

II.7.5- Demmak (1982)

En se basant sur les données observées, durant la période 72/79, sur trente bassins versants de l'Algérie du Nord, particulièrement touchée par l'érosion, l'auteur constate que l'agressivité des averses est relativement faible en Afrique du Nord et que son influence sur l'érosion est négligeable. L'érosion en nappes n'apporte qu'une faible part (0,2 à 1 Tonnes/ha/an) au transport solide des oueds. Pour lui l'essentiel se passe autour des oueds. Le sapement des berges est une source majeure de

sédiments directement mobilisés par les oueds lors des fortes crues. Il confirme l'inaptitude en Algérie des techniques de lutte antiérosives. Il a démontré que :

- le pourcentage de marnes et d'argiles affleurantes ;
- le pourcentage des précipitations journalières supérieures à un certain seuil (20 ou 30 mm) ;
- le coefficient de torrencialité.

Sont déterminants pour le transport solide. Il synthétisa ses travaux par une relation empirique valable pour les bassins de l'Atlas Tellien liant les apports solides spécifiques moyens annuels à des indices lithologiques, pluviométriques et géomorphologiques.

III. Moyens de lutte contre l'érosion et l'envasement des barrages

Les moyens de lutte utilisés surtout en Algérie sont :

- Le reboisement, la restauration des sols, l'implantation des banquettes, la création des petits barrages (retenues collinaires), la plantation des cultures suivant les lignes de niveau, la plantation des végétations à longue tige dans les oueds.

Il a signalé qu'un programme spécial de lutte contre l'érosion a été lancé par les services des forêts. Une superficie de 1,5 millions d'hectares sera traitée d'ici 2010, à un rythme de 6700ha par an (Djezizi, 1998).

Pour l'envasement des barrages, plusieurs dispositifs ont été mis en place pour lutter contre ce phénomène (méthodes de chasses, soutirage par courant de densité et dragage).

IV- Conséquences et les méthodes de prévision et défense :

IV.1- Conséquences du phénomène du transport solide :

La construction des barrages par l'aménagement des cours d'eau modifie les conditions d'écoulement du débit solide.

A l'entrée de la retenue et par suite de la chute de la vitesse du cours d'eau le transport des sédiments diminue, les éléments les plus grossiers déposent immédiatement, quand aux fins ; plus légers, continuent leurs trajets en suspension jusqu'à se déposer aux eaux mortes, où ils se décantent lentement au pied amont du barrage là où les vitesses d'écoulement deviennent nulles.

IV.1.1- Mécanisme de l'envasement :

L'érosion des bassins versants a des conséquences sur les aménagements du cours d'eau à l'aval.

La plus dramatique de ces conséquences et sans aucun doute, l'envasement des retenues qui est la cause principale des pertes en capacité des réservoirs d'eau.

IV.1.1.1- Comportement des sédiments fins :

Les matériaux fins sont transportés en suspension plus loin dans la retenue, pour se déposer au fond de cette dernière en couches relativement planes. Ces dépôts se font, soit par décantation sur place, soit après leur transport par les courants de densités. Ce dépôt est fonction du régime d'écoulement en amont.

IV.1.1.2- Comportement des sédiments grossiers :

Ce sont les sédiments transportés par charriage, ils s'y déposent en forme d'un delta qui s'érige à l'embouchure du réservoir et progresse vers le barrage au fur et à mesure des apports enregistrés.

IV.2- Méthodes de prévision des apports solides :

Pour prévoir la quantité de sédiments déposés dans les retenues, plusieurs méthodes sont utilisées, la plupart d'entre elles se fondent, soit directement soit indirectement sur des mesures par prélèvement d'échantillons, ou sur des levés topographiques (bathymétriques) dans les retenues. Ces méthodes sont classées en trois types :

- 1) Méthode empirique.
- 2) Méthode d'application des équations du transport solide.
- 3) Méthode par modélisation.

IV.3- Méthodes de lutte contre l'érosion et le transport solide :

La modification de l'environnement dans le bassin versant sont les conséquences de multiples problèmes posés par l'érosion accélérée et les dépôts des sédiments.

Les méthodes de lutte contre l'érosion et la sédimentation reposent sur l'étude de leur nature et leur évolution, afin de prévoir les dispositifs nécessaires pour réduire ou éliminer les effets négatifs des processus observés.

Procédés de lutte contre l'érosion et le transport solide :

On peut classer les moyens de lutte contre l'érosion dans les catégories suivantes :

- Procédés agro techniques.
- Restauration des forêts.
- Procédés hydrotechniques.

IV.3.1- Procédés agro techniques :

Ces méthodes de protection contre l'érosion consistent surtout en procédés de cultures appropriées pour retenir l'eau.

Le travail selon les courbes de niveau est réservé aux pentes douces et aux régions de pluies modérées. Sur les terrains pentus et dans les régions où il peut se produire des fortes crues, l'eau des ruissellements peut être retenue par les cultures en bande associées à des travaux de terrassement.

a) Restauration des forêts :

Les ceintures forestières sont un moyen efficace de conservation des sols.

Elles contribuent à la réduction de la vitesse de vent et améliorent le microclimat. Elles sont très efficaces lorsqu'elles sont plantées en lignes perpendiculaires au ruissellement, pour que l'écoulement sera dispersé et l'infiltration favorisée. Cependant une mauvaise disposition des ceintures peut être la cause d'une intensification du ruissellement et de la formation des ravines.

b) Procédés hydrotechnique :

Ces procédés comprennent les fossés d'infiltration avec banquettes pour empêcher la formation des ravines, les barrages pour la rétention des sédiments; des terrasses le long des courbes de niveaux, des ouvrages de retenue et de diversions au sommet des ravines, etc.

IV.3.2- Les cours d'eau :

L'érosion du réseau hydrographique est la cause principale des pertes en capacité des réservoirs d'eau.

Plusieurs procédés sont employés dans le but de protéger le cours d'eau principal contre le dépôt de sédiments causé par le phénomène d'érosion.

a) Revêtement des berges :

Le mode de protection des berges le plus courant est la mise en place d'un revêtement de protection fait d'un matériau résistant à l'érosion (les enrochements, le béton, etc.) et déposé directement sur le talus des berges.

b) Freinage de l'écoulement :

On peut obtenir un freinage de l'écoulement en mettant en place des structures perméables parallèlement à la base des berges. La diminution de la vitesse réduit les risques d'érosion et facilite, lorsque les conditions sont favorables, le dépôt de sédiments et la croissance de la végétation le long de berges.

c) Guidage de l'écoulement :

Pour écarter les courants et les vagues des zones sensibles, les jetées, épis et les chicanes sont souvent employés.

La déflexion du courant modifie les processus de transport des sédiments et l'effet habituel est la formation de dépôts le long des berges menacées. On peut utiliser des structures perméables ou imperméables.

d) Aménagements hydrauliques :

Les barrages modernes et d'autres ouvrages hydrauliques sont souvent de très grande taille, nécessitant la maîtrise de débits très élevés sous une forte charge. On doit mettre en place des dispositifs efficaces pour empêcher des affouillements indésirables du lit à l'aval de l'ouvrage, on utilise souvent : Bassins d'amortissement, Sauts de ski.

Chapitre II

Présentation de la région d'étude

Introduction

La mise en évidence des caractéristiques du bassin versant l'oued El Abiod a pour but d'appréhender avec assez de précision la réponse hydrologique vis-à-vis d'une séquence pluviométrique, les caractéristiques physiques et morpho métriques. Permettent de définir l'aptitude aux écoulements dans le bassin.

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

I. Présentation du bassin versant l'Oued El Abiod

I.1. Situation géographique

Le bassin versant Oued El Abiod est situé dans le massif des Aurès. Il fait partie du grand bassin hydrologique de Chott Melghir qui se compose de trois principaux oueds oued El Abiod ; oued Chenawra et oued Tkout formant par leur confluence oued Ghassira.

Oued El Abiod est formé par la réunion des torrents descendants des raides pentes de Chelia (2326m) et Ichemoul (2100m). Après avoir traversé Tighanimine, il s'encaisse dans les canyons de Rhoufi et les gorges de Mchouneche, puis s'ouvre une voie vers la plaine Saharienne jusqu'aux gorges de Foug el Gherza. Le bassin versant est caractérisé par sa dissymétrie, une partie montagneuse au Nord à plus de 2000 m (Chelia) et une autre basse au Sud (295m El Habel). Il s'étale sur une superficie de 1300 Km² circonscrite par un périmètre de 200 km. (figure II.2)

La zone d'étude est située à 60 Km au Sud-Est du chef lieu de la Wilaya de Batna, s'étendant de la Wilaya de Khenchela (nord-est) jusqu'à la Wilaya de Biskra (Sud Ouest) ; La partie sud est formée par les communes : Chetma, M'Chounech, appartenant administrativement à la Wilaya de Biskra; la partie centrale : Rhassira et T'Kout. La partie septentrionale englobe les communes de Tighanimine, d'Arris, Ichemoul et Inoughissene appartenant administrativement à la Wilaya de Batna.

La vallée d'Oued EL-Abiod, appelée synclinal de Rhassira, est située entre les deux wilayas, Batna et Biskra le long de la route nationale N°31. L'Oued el- Abiod qui est le drain naturel et le collecteur de cette vallée, a pu creuser par son action d'érosion dans le temps, un très beau canyon, dont les falaises donnent une vue magnifique sur les petites oasis parsemées le long de ses rives.



Figure (II.1) : Situation géographique

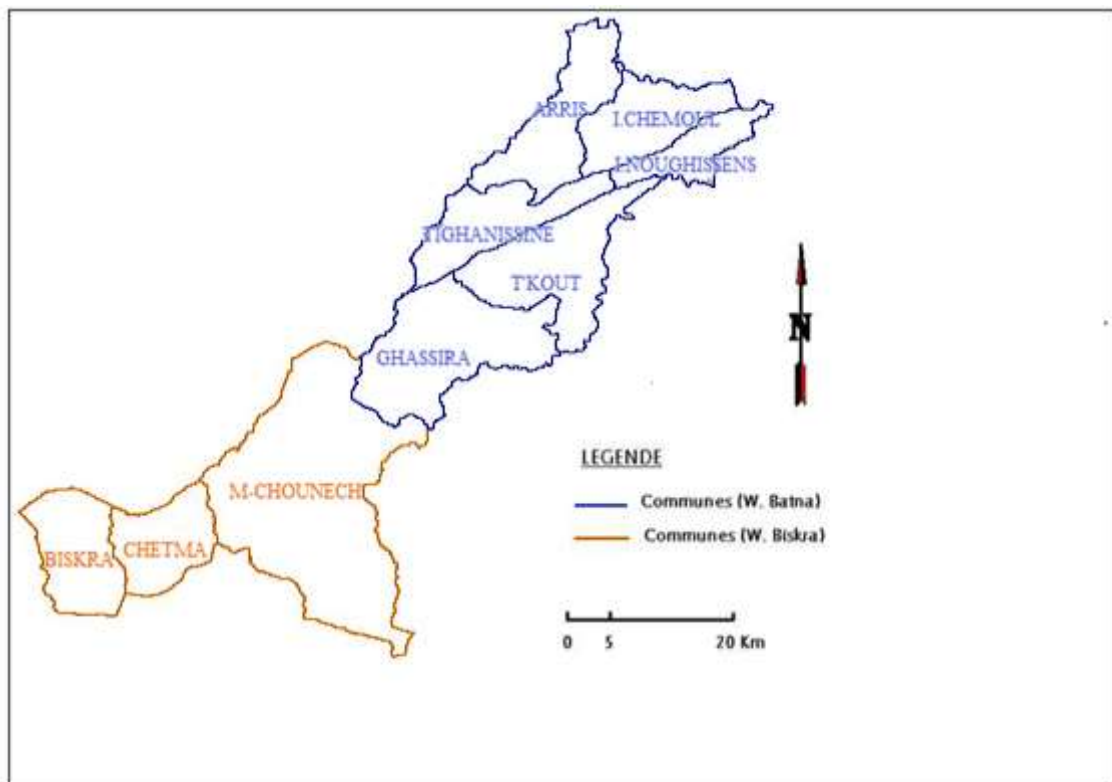


Figure (II.2) : Limites administratives d' Oued el- Abiod (Source : ABH 2012)

I.2.Morphométrie du bassin versant

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

I.2.1.La forme

La forme du bassin versant influence sur l'écoulement et sur l'allure de l'hydrogramme de crue à l'exutoire du bassin versant. Il existe différents indices morphologiques permettant de caractériser la forme, et aussi de comparer les bassins versants entre eux, parmi ces indices celui de Gravelius qui caractérise la compacité du bassin versant. Il se définit comme le rapport du périmètre du bassin versant au périmètre du cercle ayant même surface

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi S}} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{S}} \quad (1.1)$$

Pour un bassin circulaire le « K_c » est égal à 1 et augmente autant que la compacité diminue. Dans le bassin de l'Oued El Abiod l'indice de Gravelius est de :

$$K_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{S}} = 0.28 \frac{2000}{\sqrt{1300}} = 1.55$$

Au vu de ce résultat, nous pouvons dire que le bassin versant oued El Abiod se caractérise par une forme allongée.

I.2.2.Rectangle équivalent

Mis au point par ROCHE, le rectangle équivalent permet de comparer deux bassins entre eux du point de vue de l'influence de leurs caractéristiques sur l'écoulement. Le contour du bassin devient rectangle de même périmètre dont la longueur et la largeur seront :

1. Longueur du rectangle équivalent :

$$L = \frac{kc\sqrt{S}}{1.128} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{1.55} \right)^2} \right] \quad (II.2)$$

- K_c : indice de pente de Gravelius.

- s : superficie du bassin versant (Km²).

$$L = \frac{1.55\sqrt{1300}}{1.128} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{1.55} \right)^2} \right]$$

$L=83.524\text{Km}$.

2. Largeur du rectangle équivalent:

$$I = \frac{kc\sqrt{S}}{1.128} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{1.55} \right)^2} \right] \quad (\text{II.3})$$

$$I = \frac{1.55\sqrt{1300}}{1.128} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{1.55} \right)^2} \right]$$

$$I = 15.56\text{KM}$$

I.2.3.Caractéristiques des altitudes (le relief)

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

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

La région d'étude est située sur la bordure méridionale du domaine atlasique plissé.

Morphologiquement le bassin se présente comme une vallée allongée entre les grands reliefs de DJ Azreg (1937 m) et DJ Zellatou (1994 m) au nord et Dj Ahmar Khaddou au sud. Le sous bassin prend naissance à Dj Chelia (2326 m) et s'achève à la région de Droh, selon un axe orienté NE-SW.

I.2.3.1.Courbe hypsométrique

La courbe hypsométrique fournit une vue synthétique de la pente du bassin, donc du relief. Cette courbe représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude. Elle porte en abscisse la surface (ou le pourcentage de surface) du bassin et l'altitude représentée en ordonnée. Elle exprime ainsi la superficie du bassin ou le pourcentage de superficie, au-delà d'une certaine altitude.

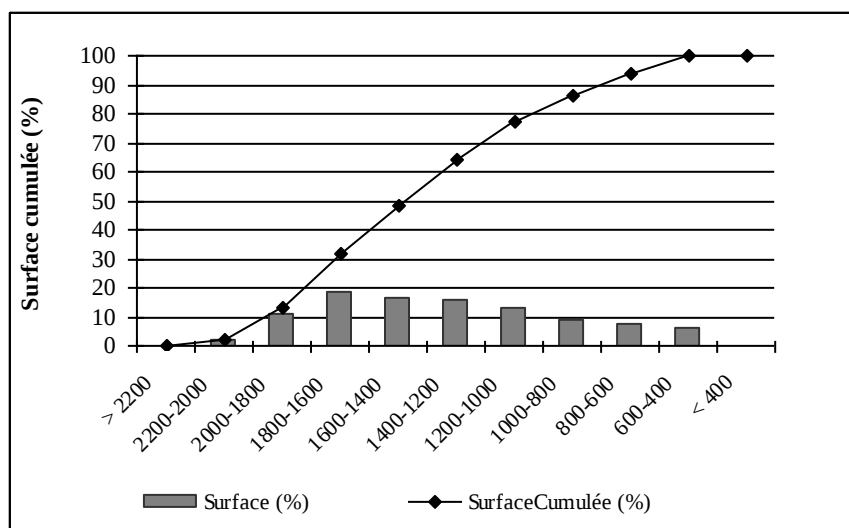
Les courbes hypsométriques demeurent un outil pratique pour comparer plusieurs bassins entre eux ou les diverses sections d'un seul bassin. Elles peuvent en outre servir à la détermination de la pluie moyenne sur un bassin versant et donnent des indications quant au comportement hydrologique et hydraulique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

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

Tableau I1.1. Variation de surface en fonction de l'altitude

Altitude (m)	Surface (Km ²)	Surface (%)	Surface Cumulée (Km ²)	Surface Cumulée (%)
>2200	0.16	0.012	0.16	0.012
2200-2000	28	2.154	28.16	2.166
2000-1800	142	10.923	170.16	13.089
1800-1600	240	18.462	410.16	31.551
1600-1400	214	16.462	624.16	48.012
1400-1200	210	16.154	834.16	64.166
1200-1000	170	13.077	1004.16	77.243
1000-800	113.84	8.757	1118	86.000
800-600	100	7.692	1218	93.692
600-400	78	6.000	1296	99.692
<400	4	0.308	1300	100

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

**Figure (II.3) :** Courbe hypsométrique du sous bassin d'Oued Abiod

I.2.3.2. Indice de pente globale

Cet indice permet de déduire la nature du relief en se référant à la classification de l'O.R.S.T.O.M (tableau 1.2).

$$I_g = D/L \quad (\text{II.4})$$

D : La dénivelée ou bien la distance qui sépare les altitudes ayant 5% de la surface du bassin et celles de 95% ou bien la distance qui sépare les deux courbes de niveau maîtresses extrêmes $H_{5\%}$ et $H_{95\%}$

$$D = H_{5\%} - H_{95\%} \quad (\text{II.5})$$

L : longueur du rectangle équivalent ; $L=83.524\text{Km}$

A partir de la courbe hypsométrique on trouve :

$$H_{5\%} = 2096\text{m.}$$

$$H_{95\%} = 556\text{m.}$$

$$D = H_{5\%} - H_{95\%} = 2096 - 556 = 1540\text{m}$$

$$D = 1540\text{m.}$$

$$\text{Donc } I_g = \frac{1540}{83.524} = 18.44\text{M/KM}$$

Tableau I1.2. Variation de l'indice de pente global

1	relief très faible	$I_g < 0.002$
2	relief faible	$0.002 < I_g < 0.005$
3	relief assez faible	$0.005 < I_g < 0.01$
4	relief modéré	$0.01 < I_g < 0.02$
5	relief assez fort	$0.02 < I_g < 0.05$
6	relief fort	$0.05 < I_g < 0.1$
7	relief très fort	$0.1 < I_g$

Cet indice de pente global sert aussi à classer le relief d'un bassin, mais pour permettre une comparaison plus efficace et plus poussée du bassin, du point de vue relief. Il convient de calculer la dénivelée spécifique.

I.2.3.3. Dénivelée spécifique D_s

Puisque l'indice de pente globale décroît pour un même bassin lorsque la surface augmente, il était donc difficile de comparer des bassins de tailles différentes. La dénivelée spécifique D_s ne présente pas cet inconvénient

$$D_s = I_g \sqrt{S} \quad (\text{II.6})$$

$$D_s = 18.44 \sqrt{1300} = 664,86\text{m.} \quad \Rightarrow \quad D_s = 664.86\text{m.}$$

D'après la classification de l'O.R.S.T.O.M. La dénivelée spécifique du bassin l'oued El Abiod se trouve dans la classe R7 : donc Relief très fort.

Tableau I1.3.Classification de l'O.R.S.T.O.M du relief

R1	Relief trèsfaible	DS<10m
R2	Relief faible	10m<DS<25m
R3	Relief assezfaible	25m<DS<50m
R4	Relief modéré	50m<DS<100m
R5	Relief assez fort	100m<DS<250m
R6	Relief fort	250m<DS<500m
R7	Relief très fort	DS>500m

Les résultats précédents de l'indice de pente globale $I_g=18,44\text{m/Km}$ présentes des reliefs forts de DS =664,86m, la valeur de DS traduise le volume montagneux dans le bassin versant.

I.2.4.Caractéristiques hydrographiques du bassin versant

I.2.4.1.Densité de drainage D_d

Elle est déterminée comme étant le rapport entre la longueur totale des cours d'eau de tout ordre L_x sur la surface du bassin versant S .

$$D_d = \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{S} \quad (\text{II.7})$$

D_d : densité de drainage en (km/km²) ;

L_i : somme des longueurs de tous les thalwegs y compris le thalweg principal ;

S : superficie du bassin versant.

$$D_d = 4935/1300$$

$$D_d = 3.80 \text{ km/km}^2$$

I.2.4.2.Coefficient de torrentialité

C'est le produit de la densité de drainage par la fréquence de thalwegs élémentaires

$$C_t = D_d = \frac{N_1}{S} \quad (\text{II.8})$$

C_t : coefficient de torrentialité.

D_d : densité de drainage $D_d=3.80 \text{ km/km}^2$.

N_1 : nombre de thalwegs d'ordre « 1 » $N_1=8904$.

S : surface du bassin versant $S=1300 \text{ km}^2$.

$$C_t = 3.80 \times \frac{8904}{1300}$$

$$C_t = 26.03$$

On en déduit que cet écoulement est assez fort et il peut s'expliquer par les fortes pentes caractérisent le bassin versant.

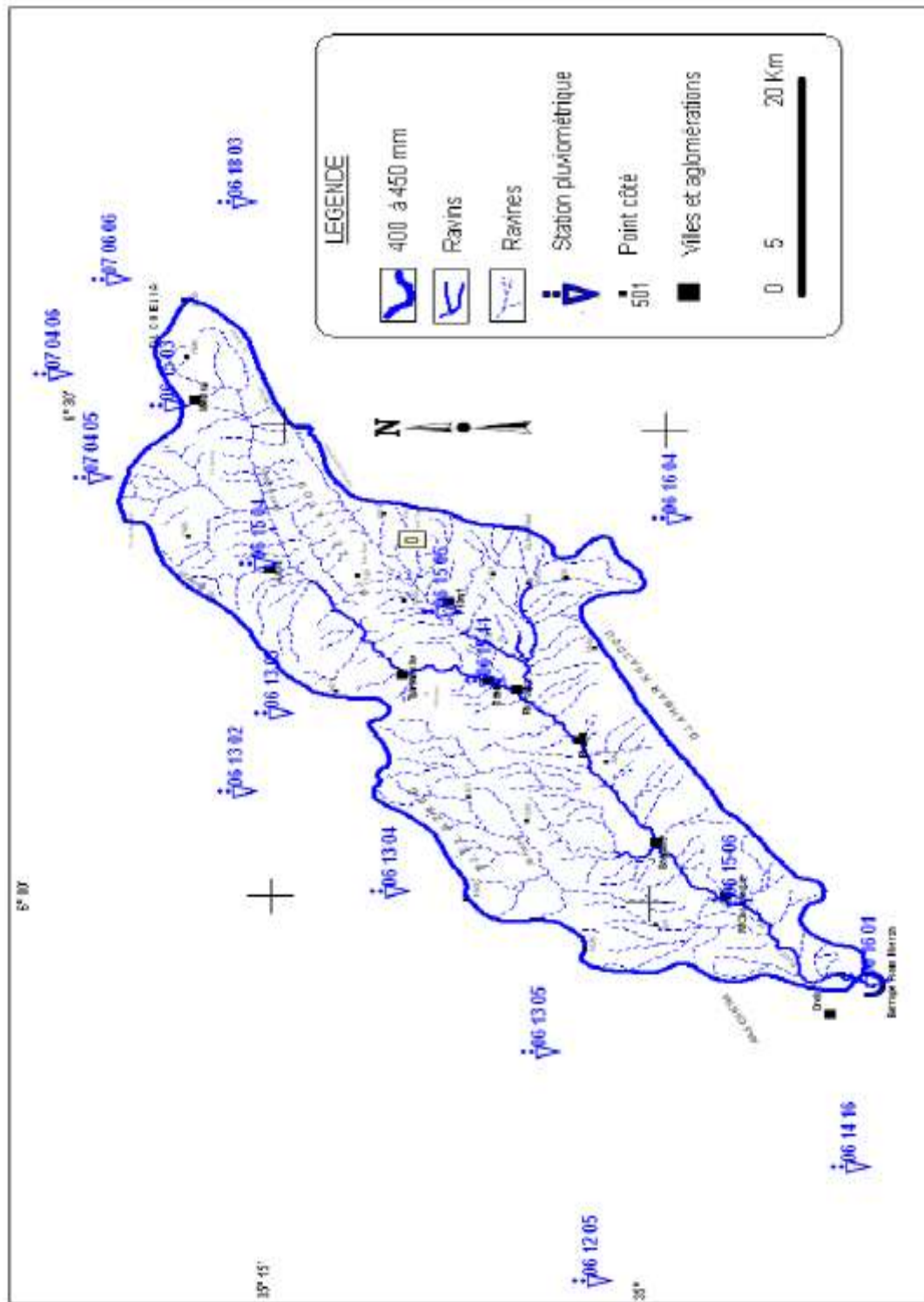


Figure (II.4): Carte du réseau hydrographique et des stations pluviométriques du sous bassin versant d'Oued Al Abiod (Hamel.A., 2009)

I.2.4.3. Temps de concentration

C'est le temps que mettra la première goutte d'eau tombée au point hydrologiquement le plus éloigné du bassin versant pour arriver à l'exutoire.

$$T_c = \frac{4\sqrt{A+1.5L}}{0.8\sqrt{H}} \quad (\text{heur}) \quad (\text{II.9})$$

A : superficie du bassin versant ;

L : longueur du talweg principal = 106m.

$$H = H_{moy} - H_{min} \rightarrow H = 1170 - 295 = 875m$$

Donc : $T_c = 6 \text{ heur}$

Tableau II.4. Résultats morphométriques et géométriques

Paramètres	unités	symboles	valeurs
Longueur du thalweg Principal	Km	Lp	106
Superficie du BV	Km ²	S	1300
Périmètre du BV	Km	P	200
Altitude maximale	m	Hmax	2326
Altitude moyenne	m	Hmoy	1170
Altitude minimale	m	Hmin	295
Altitude 5%	m	H5%	2096
Altitude 95%	m	H95%	556
Indice de compacité de Gravelius	--	Kc	1.56
Rectangle équivalent			
Longueur	Km	L	83.524
Largeur	Km	l	15.56
Indice de pente global	m/Km	Lg	18.44
Dénivelé spécifique	m	Ds	664.86
Classe de relief suivant la classification de l'OSTROM	--	R7(relief très fort) Ds>500	
Densité de drainage	Km/Km ²	Dd	3.80
Temps de concentration	h	Tc	16

Les résultats des caractéristiques morpho métriques, montrent que la densité de drainage est assez importante, de plus le coefficient de torrentialité semble assez élevé ceci est dû certainement au

nombre considérable de talwegs de premier ordre. Quant au temps de concentration, il semble important puisque le temps qu'a mis une goutte d'eau pour arriver au point le plus éloigné de l'exutoire est 6 heures.

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

II. Caractéristiques climatiques du bassin versant

II.1. Les précipitations et leur variabilité

Les conditions climatiques d'un bassin versant jouent un rôle capital dans le comportement hydrologique des cours d'eau. Ce sont les précipitations qui constituent le facteur essentiel intervenant par :

- Leur hauteur totale annuelle.
- Leur répartition mensuelle et saisonnière qui influence directement les régimes hydrologiques.
- Leurs totaux journaliers et surtout les averses génératrices de crues.

Ces différents aspects des précipitations sont plus ou moins modifiés selon l'effet combiné des autres paramètres physiques et climatiques. Les précipitations et les facteurs climatiques dans leur ensemble, variables aléatoires dans le temps et dans l'espace, permettent d'expliquer quantitativement les variations des composantes du régime hydrologique dans sa conception la plus large.

L'oued El Abiod traverse deux régions nettement distinctes du point de vue orographique et hydrographique :

- Les Aurès.
- La plaine saharienne.

Les conditions climatiques et les précipitations suffisent dans la première et les irrigations y sont utiles mais non indispensables, tant que le climat est froid, la terre garde son humidité. Par contre, la rareté des pluies et le climat brûlant dans la seconde condamnent le sol desséché à une aridité totale si les irrigations ne le fécondent pas.

La zone d'études est soumise à deux types de climat. Au nord (Arris et Ichmoul), règne un climat de type méditerranéen, avec des précipitations de l'ordre de 450 mm. Les périodes d'enneigement durent en moyenne 25 jours par an. Sur la partie médiane (T'Kout et Rhassira), règne un climat subsaharien (200 à 300 mm de précipitations). La partie sud (M'Chounech et Droh), est soumise à un climat aride, avec des précipitations ne dépassant pas les 200 mm. Le diagramme de la figure (II.4) illustre la relation entre les précipitations et l'altitude et montre une décroissance des précipitations du nord-est vers le sud-ouest. Les zones les plus arrosées sont celles situées en altitudes, dans la partie nord-est du sous bassin.

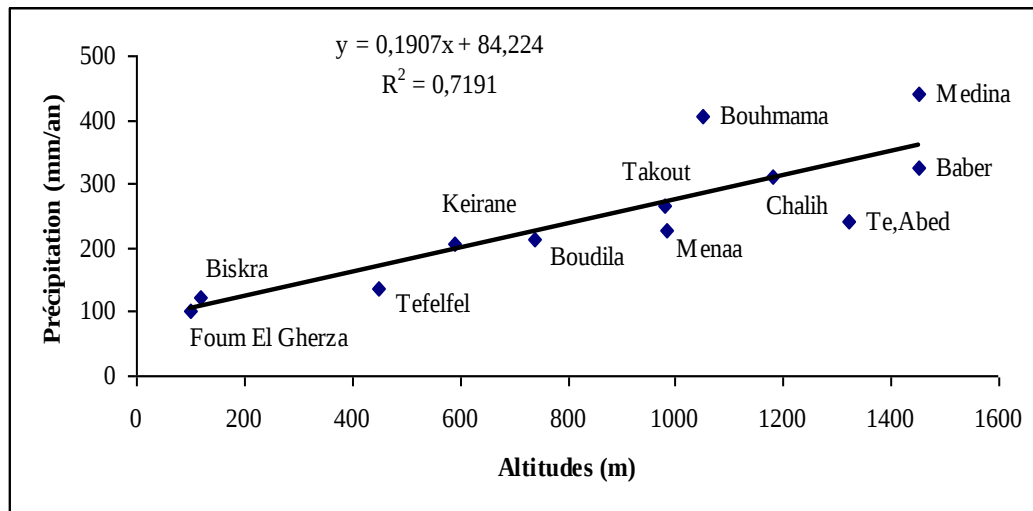


Figure (II.5) : Relation entre les Précipitations et l'altitude

II.2.Equipement du Bassin Versant :

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

Tableau I1.5.Caractérisation des stations pluviométriques et hydrométrique

Nom de la station	Code	X	Y	Z(m)	Observation
Tifelfel	061511	821.9	207.65	740	SP
Médina	061503	846.80	231.10	1450	SP
Tkout	061505	829	211	998	SP
Mchouneche	061506	800.8	186.8	390	SH
Barrage	061601	795.10	177.6	100	SP

SP : station pluviométrique ; **SH** : station hydrométrique

II.3.Les températures moyennes mensuelles:

Les données disponibles, montrent les caractéristiques du climat semi-aride et avec des valeurs minimales pendant les mois de Décembre, Janvier, Février, tandis que les valeurs maximales coïncident avec les mois de Juin, Juillet et Août où les précipitations sont rares, tandis que le climat aride (Mchouneche) montre des fluctuations assez nettes avec des valeurs maximales aux mois de Mai, juin, juillet, Août et Septembre et des minimales aux mois de Décembre, Janvier et Février (pendant l'Hiver).

Tableau I1.6. Températures moyennes mensuelles interannuelles

Station	Code	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou
Médina	061601	20.25	15	9.9	5.75	5.35	6.55	8.8	13.15	15.8	22.3	24.6	23.65
Mchouneche	061503	28.5	22.3	16.2	11.9	11.6	13.7	15.7	19.8	24.6	29.2	33.5	32.8

II.4. Régime climatique

Afin de déterminer le régime climatique de la région nous avons utilisé plusieurs méthodes, selon les données disponibles.

- **Méthode d’Euverte**

Le rapport P/T permet de définir le régime climatique

$P/T < 1$: Régime très sec.

$1 < P/T < 2$: Régime sec

$2 < P/T < 3$ Régime sub- humide

$P/T > 3$ Régime humide

Dans notre cas pour les températures, nous ne disposons que des données des stations de Médina et M'Chouneche. On a attribué à la station de T'Kout, la moyenne entre les deux stations, vu qu'elle est située à mi-distance entre les deux.

Tableau II.7 : Détermination du régime climatique par la méthode d’Euverte

Mois	Station	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout
Médina	P(mm)	48,13	36,41	42,78	42,91	36,70	31,07	42,01	40,51	47,30	26,03	11,95	30,56
	T°C	20,25	15	9,9	5,75	5,35	6,55	8,8	13,15	15,8	22,3	24,6	23,65
	P/T	2,37	2,43	4,32	7,46	6,86	4,74	4,77	3,08	2,99	1,16	0,48	1,29
T'Kout	P(mm)	34,46	27,38	27,55	25,35	19,45	20,10	25,28	23,91	25,63	16,35	9,04	19,86
	T°C	24,4	18,7	13,1	8,8	8,5	10,1	12,3	16,5	20,2	25,8	29,1	28,2
	P/T	1,41	1,46	2,10	2,88	2,28	1,99	2,05	1,45	1,26	0,63	0,31	0,70

Dans la partie amont du sous bassin (station de Médina), règne un régime à climat sub-humide durant la période Septembre-Octobre et la période Avril–Mai. Entre les deux périodes la région connaît un régime humide s'étalant du mois de novembre à mars. Un régime sec s'étalant durant les mois de juin et Août. Le régime climatique devient très sec au mois de juillet.

Dans la région médiane (station de T'Kout), un régime sec règne dans les mois Septembre, Octobre, Avril et Mai, intercalé d'une période subhumide du mois de novembre au mois de janvier et le moi de Mars. Un régime très sec s'étalant durant les mois de Juin et Aout.

Par contre, la région aval connaît un régime sec, durant les mois de Décembre et Mars alors que le reste de l'année est très sec.

- **Méthode du diagramme ombrothermique de Gaussen et Bagnouls**

Avec cette méthode on détermine les périodes sèches et les périodes humides. Pour ces deux chercheurs Gaussen et Bagnouls, le climat est sec lorsque les précipitations moyennes exprimées en (mm), sont inférieures ou égales au double des températures enregistrées durant la même période ($P \leq 2T$ °C).

Sur le diagramme, on remarque que la région amont du sous bassin d'Oued el-Abiod (station de Médina), est caractérisée par une période sèche durant les mois de Septembre jusqu'au mois de Mai. Durant la période allant du mois de Juin à fin Août règne un climat sec.

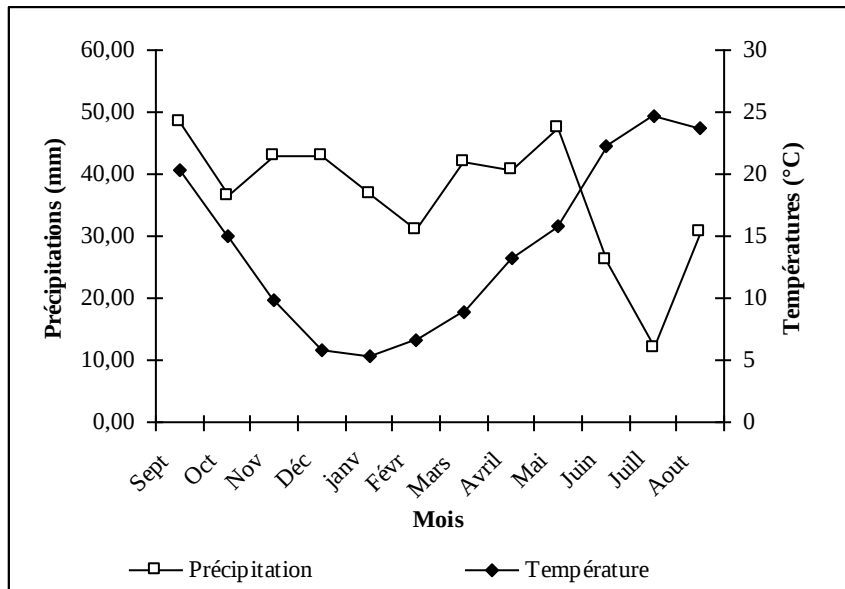


Figure (II.6) : Diagramme ombrothermique de la station de Médina (Zone Amont).

Le climat dans la région centrale (station de T'Kout) est caractérisé par une période sèche durant les mois de juin à septembre et une période humide de septembre à juin.

II.5. Indice d'Aridité

L'aridité d'une région, peut être exprimée par différents indices, fondés principalement sur les valeurs moyennes des précipitations et températures. Les plus connus sont ceux de Martonne (1926) ; E.Emberger(1932) ; C.W.Thornthwaite (1948) ; J.Dubief (1950) ; R. Capot-Rey (1951) ; H. Gaussen ; F. Bagnouls (1952) et P. Birot (1953).

- Indice d'aridité de Martonne

Il est défini par la formule suivante : $A = \frac{P}{T+10}$ (II.10)

Où P : précipitations annuelles moyennes (mm) ;

T : Températures annuelles moyennes (°C).

Les types de climat se classent comme suit :

- $30 > A > 20$: climat tempéré.
 $20 > A > 10$: climat semi aride.
 $10 > A > 7.5$: climat steppique.
 $7.5 > A > 5$: climat désertique.
 $A < 5$: climat hyperaride.

Pour les deux stations, et durant la période (1970/2010), nous obtenons les valeurs :

$A = 18,12$ pour la station de Médina. Ce qui correspond à un climat semi aride.

$A = 9,42$ pour la station de T'Kout. Ce qui correspond à un climat steppique.

II.6.L'humidité relative de l'air:

L'humidité relative est l'un des paramètres principaux du cycle hydrologique. Sources de toutes les précipitations, elle conditionne l'évaporation. Vu le manque total de données concernant ce paramètre, nous avons eu recours à deux stations à climat différent (Batna- Biskra), pour mieux montrer l'écart d'humidité relative entre une zone semi aride montagneuse et une autre zone saharienne aride.

Ce qui traduit un peu la réalité de notre aire d'étude. En effet le bassin versant de l'oued El Abiod s'étale sur des territoires montagneux à climat tantôt semi- aride ou subhumide à des territoires franchement arides vers l'exutoire

Tableau II.8. Humidité relative de l'air

Station	Heure	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou
Batna(Hr)	7h	57	72	79	88	85	86	72	59	54	50	45	49
	13h	32	44	52	56	56	45	34	34	29	22	22	23
	18h	45	59	68	71	69	56	46	44	41	41	32	31
Biskra(Hr)	7h	50	64	69	62	62	58	47	47	42	36	38	57
	13h	34	35	49	52	44	40	32	32	27	20	25	39
	18h	39	45	60	58	54	48	37	37	32	26	30	47
Bassin versant (Hr)	moy	42	53	60	65	64	57	50	41	40	35	29	32

II.7.Les Vent:

Le bassin versant de l'Oued El Abiod ne dispose pas de stations climatiques permettant la mesure du vent. C'est pour cette raison que nous avons utilisé les stations les plus proches de la zone d'étude tels que la station de Batna et la station de Biskra.

La direction Nord-est susceptible d'être porteuse de pluies par rapport aux autres directions, elle est fréquente durant les mois de Décembre-Janvier -Février et Mars.

Ceci explique que la partie Nord reçoit d'avantage les précipitations donc l'effet de l'exposition va contribuer au processus érosif

Tableau I1.9. Mesure des vitesses du vent

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Moyenne Annuelle
Vitesse (m/s)	3.9	4.4	4.1	4.5	4.5	5.2	4.6	4.4	4.2	4	4	4.2	4.3
Fréquence (jour)	8.1	11.1	9.7	11.6	13.7	13.7	12.2	11	9.6	8.1	9	10.3	10.7

II.8.L'évapotranspiration

Le bilan hydrique est fonction d'un certain nombre de facteur, sont les précipitations, l'infiltration et surtout l'évapotranspiration. Cette dernière conditionne l'abondance ou le déficit en eau pour la végétation, et par conséquent, sa connaissance est fondamentale pour toute action d'aménagement et de lutte contre les crues et les transports solides.

-Formule dite ANRH- Penman (1997)

Cette formule permet d'évaluer l'évapotranspiration potentielle mensuelle de Penman à partir de la seule mesure de la température moyenne mensuelle correspondante, de la connaissance du mois et de la position géographique :

$$ETP_{ANRH} = K_r K_m (H - 187)(0.032T + 0.077) \quad (II.11)$$

ETP_{ANRH} est exprimé en mm/mois ;

K_r : un coefficient régional (Annexe I);

K_m : un coefficient mensuel dont les valeurs sont données au (tableau1.10);

H : la durée théorique mensuelle d'insolation (en heure par mois) et elle s'exprime en fonction des Y (latitude Lambert);

T : température moyenne mensuelle pour le mois considéré et exprimée en °C.

C'est donc à partir de cette formule que nous nous proposons de généraliser la connaissance des ETP à partir de l'information thermométrique.

Tableau I1.10. Evolution du coefficient correctif mensuel K_m

Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
K_m	0.96	1.22	1.11	1.17	1.02	1.02	1.00	0.97	0.98	0.90	0.90	0.86

On se trouve avec deux paramètres saisonniers H et K_m , si ce dernier est stable spatialement, la durée H varie avec la latitude. Il est possible d'obtenir H d'une façon beaucoup plus simple, avec un écart insignifiant H est lié linéairement aux Y Lambert.

$$H_i = a_i Y + b_i \quad (\text{II.12})$$

H : la durée théorique d'insolation du mois i (en h/mois) ;

Y : la coordonnée Lambert (en Km), latitude.

Les paramètres mensuels a_i et b_i sont donnés dans le (tableau II.11).

Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
a_i	-0.0218	-0.0110	-0.0012	0.0098	0.0201	0.0248	0.0230	0.0144	0.0031	-0.0081	-0.0185	-0.0246
b_i	315	307	371	389	429	429	436	414	370	351	311	308

Les résultats de calcul sont consignés dans les tableaux suivants :

Tableau II.12.ETP mensuelle selon ANRH-Penman à la station Mchouneche ($K_r=1.26$, $y=186,8$)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou
Ai	0.0031	- 0.0081	- 0.0185	- 0.0246	- 0.0218	- 0.0110	- 0.0012	0.0098	0.0201	0.0248	0.0230	0.0144
Bi	370	351	311	308	315	307	371	389	429	429	436	414
H (h/mois)	370,58	349,49	307,54	303,40	310,93	304,95	370,78	390,83	432,75	433,63	440,30	416,69
Km	0.98	0.90	0.90	0.86	0.96	1.22	1.11	1.17	1.02	1.00	0.97	0.97
Km (H-187)	179,91	146,24	108,49	100,11	118,97	143,89	204	238,48	250,67	246,63	245,70	222,80
t°C	28,50	22,30	16,20	11,90	11,60	13,70	15,70	19,80	24,60	29,20	33,50	32,80
ETP (mm/mois)	224,19	145,68	81,39	57,75	67,19	93,44	148,93	213,52	272,95	314,30	355,71	316,27

Tableau II.13.ETP mensuelle selon ANRH-Penman à la station Médina ($K_r=1.26$, $y=231.10$)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout
Ai	0.0031	- 0.0081	- 0.0185	- 0.0246	- 0.0218	- 0.0110	- 0.0012	0.0098	0.0201	0.0248	0.0230	0.0144
Bi	370	351	311	308	315	307	371	389	429	429	436	414
H (h/mois)	370,72	349,13	306,72	302,31	309,96	304,46	370,72	391,26	433,65	434,73	441,32	417,33
Km	0.98	0.90	0.90	0.86	0.96	1.22	1.11	1.17	1.02	1.00	0.97	0.97
Km (H-187)	180,04	145,92	107,75	99,17	118,04	143,30	203,93	238,98	251,58	247,73	246,69	223,42
t°C	20,25	15	9,9	5,75	5,35	6,55	8,8	13,15	15,8	22,3	24,6	23,65
ETP (mm/mois)	164,47	102,41	53,47	32,61	36,92	51,75	92,14	149,89	184,68	246,77	268,62	234,72

Conclusion

Le bassin versant oued El Abiod est caractérisé par un climat semi-aride à aride vers l'exutoire dont les caractéristiques se manifestent par un Hiver froid à frais et un Été très chaud et sec.

L'irrégularité et la diminution des précipitations s'affirment en allant de plus en plus vers le Sud ce qui influe surtout sur l'évapotranspiration.

III. LE CADRE GEOLOGIQUE ET LITHOLOGIQUE DU BASSIN VERSANT

III. Introduction

L'étude géologique du terrain a le plus souvent pour objet de classer les matériaux selon leur résistance et plus ou moins leur perméabilité, de plus elle apporte beaucoup d'indications sur les caractéristiques des matériaux rocheux, indispensables à l'évaluation de l'érosion, le transport solide, et l'envasement du barrage.

La géologie des terrains influe non seulement sur l'écoulement d'eau souterraine mais également sur le ruissellement des surfaces où elle a une influence sur le comportement du réseau hydrographique.

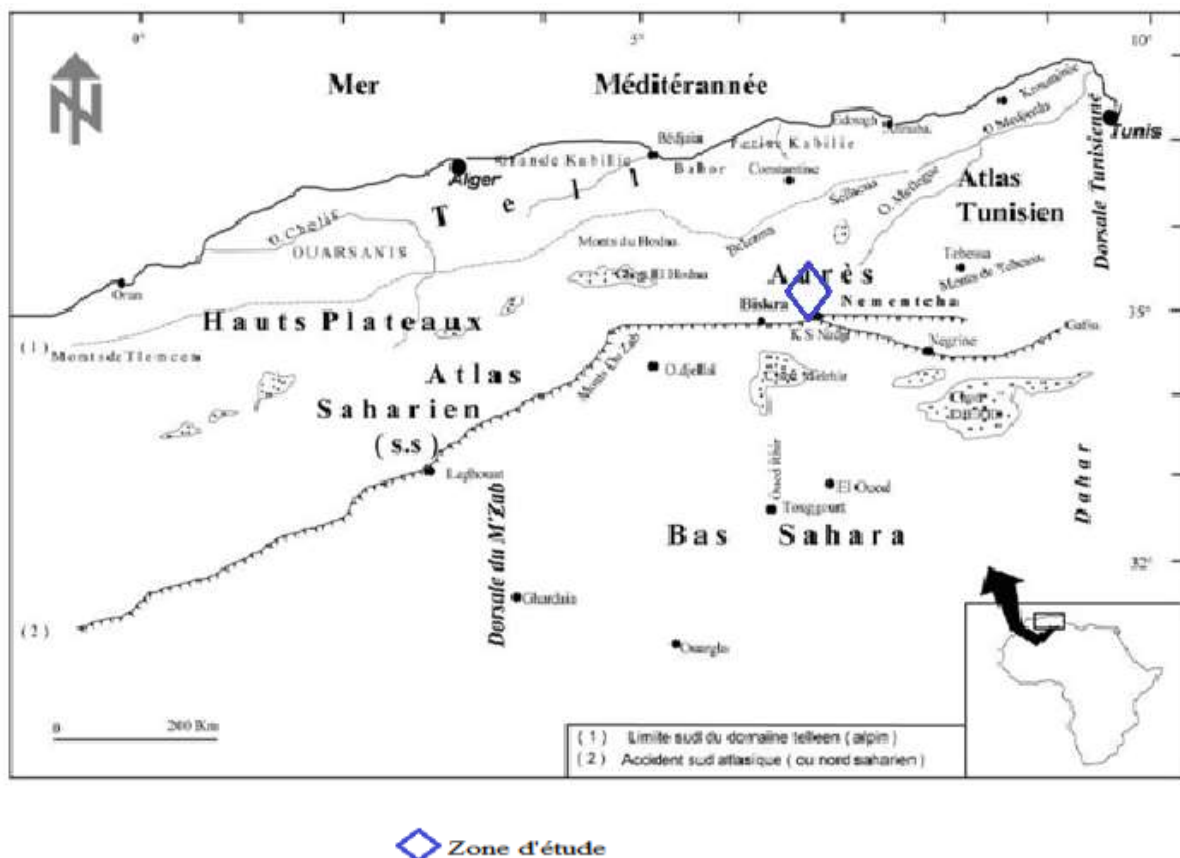


Figure (II.7) : Domaines Géologiques (in.M.Chebbah, 2007, d'après R.Laffitte, 1939)

III.2. Caractéristiques physiques du bassin versant

III.2.1. Structure géologique du bassin versant

Les gorges de Foug El Gherza font partie de la chaîne qui borde au sud l'atlassaharien. Cette zone tectonique a été affectée par les deux phases de plissement qui se sont superposées dans l'atlas. Deux systèmes de failles ou de fissures sont en relation avec les deux phases de plissement. A cette tectonique se sont ajoutées des actions très récentes dues en majorité à la pesanteur.

De l'ensemble de ces actions combinées à l'érosion intense, résulte la structure actuelle de la gorge. Celle-ci se présente sous la forme d'un synclinal dirigé S.W-N.E avec ennoyage très marqué vers le S.W. Le bord S.E (rive gauche) est bordé par un pli faille.

A l'amont des gorges, dans la cuvette, affleurent les marnes campaniennes absolument imperméables. Les gorges elles-mêmes sont formées par des calcaires maestrichtiens rigides, fissurés, donc perméables.

Des galeries de profondeur de 10 m creusées sur les deux rives de la gorge montrent que les calcaires sont fissurés et que presque toutes les fissures sont obturées par des argiles sableuses rouges qui ont autrefois recouvert le massif. Le remplissage des fissures ne va pas très loin ni latéralement dans les berges de la gorge, ni en profondeur sous le lit de l'oued.

Tableau 11.14. Les caractéristiques des matériaux du bassin versant

Formations	Résistance à l'érosion	Perméabilité
Calcaire fissuré	Très résistant	Perméable
Dolomie	Très résistant	Imperméable
Grès	Très résistant	Semi-perméable
Calcaire-gréseux	Résistant	Semi-perméable
Calcaire-marneux	Résistant	Semi-perméable
Quaternaire	Résistance moyenne	Perméable
Marne	Non résistant	Perméabilité faible
Galets	Résistance moyenne	Perméable
Graviers	Résistance moyenne	Perméable
éboulis	Résistance moyenne	Perméable

La répartition lithologique du bassin versant montre des zones à érodibilité moyenne à faible au nord et une érodibilité forte au sud, l'absence du couvert végétal favorise un ruissellement violent et donc l'érosion sera plus ou moins importante.

III.2.2- Stratigraphie

La région d'Oued el-Abiod présente une série stratigraphique qui s'échelonne du Jurassique au Quaternaire faisant 6000 m d'épaisseur environs. Le Cénomanien à lui seul fait 1000 m et le Sénonien 2000 m. Selon les travaux de R. LAFFITTE (1939):

La série stratigraphique est la suivante :

III.2.2.1-Trias

Le Trias constitue les plus anciennes formations identifiées dans la région ; bien que ces formations ne contiennent aucun fossile, ce qui laisse persister toujours un doute sur l'âge de ces formations. Cependant la datation a été attribuée par analogie. La similitude avec les formations triasiques au niveau régionale est frappante. Ces formations se présentent sous forme intrusive, et lors de leur ascension elles ont ramené avec elles des débris de roches d'âge liasique. Le Trias est observé au niveau du pointement de Dj Ichmoul à Médina et à El-Outaya. Il s'agit de diapirs présentant des argiles violacées azoïques, riches en formations évaporitiques. Il se rencontre en position stratigraphique anormale ou éjecté au sein des séries encaissantes à la faveur des cassures. Comportant du sel gemme, des gypses et salifères à cristaux d'aragonite, d'anhydrite, de quartz bipyramide ou encore d'hématite dus à des transformations secondaires et englobant des amas de roches diverses de l'ensemble de la couverture post-triasique.

III.2.2.2-Jurassique

Il affleure au cœur de l'anticlinal de DJ Azreg, situé au N-W de la vallée d'Oued el-Abiod, où ont été identifiés les étages tels que : le Kimméridgien, Portlandien et le Berriasien. La série débute par une succession marno-calcaire et devient de plus en plus carbonatée vers le sommet. Ce sont les terrains les plus anciens visibles en position normale. L'ensemble de ces terrains carbonatés est mentionnée sur la carte géologique de LAFFITE, du fait de la difficulté de les subdiviser à cause de la rareté des fossiles qu'ils contiennent. L'ensemble de l'unité qui va de la base du Kimméridgien au sommet du Berriasien est désigné sous le terme Jurassique supérieur.

III.2.2.3-Le Crétacé

Deux séries s'individualisent dans les formations du Crétacé ; une série gréseuse basale du Crétacé inférieur (Valanginien-Albien) d'une puissance de 2000 m environs, comportant parfois des lentilles de marnes ou de calcaires et une série marno-calcaire sommitale du Crétacé supérieur (Cénomanien – Danien) d'une puissance de 3000 m.

III.2.2.4-Le Paléogène (Nummulitique) :

On le trouve dans tous les synclinaux du versant sud du massif de l'Aurès. Quoiqu'il présente de nombreuses variations de faciès et une nette réduction des épaisseurs du NW au SE, il se compose principalement de deux séries bien distinctes :

- Une série marine à la base (Danien – Lutétien supérieur) ;
- Une série continentale au sommet (Eocène supérieur - Oligocène).

La limite entre la série marine et la série continentale se place à la partie supérieure du Lutétien, ou à un niveau indéterminé du Bartonien, début de la transgression Miocène.

III.2.2.5-Le Néogène

- **Le Néogène marin (Miocène inférieur)**

Les formations du Miocène marin sont peu épaisses, du fait que le massif des Aurès était peu envahi par la mer et que cette dernière occupait uniquement les vallées et les dépressions. Le Miocène repose en discordance sur les terrains anciens marins.

Les seules formations sur lesquelles, il repose en concordance, sont des formations rouges continentales. L'ensemble de la faune qu'il contient indique un âge Burdigalien. La nature essentiellement détritique et sub-lagunaire, montre que le synclinal de Rhassira formait un golf, par lequel, le bassin d'El-Outaya et celui de Timgad restaient en communication pendant cette période. Les principaux affleurements dans la région d'el Outaya où il est formé de couches de calcaires dans la partie Est et par des mollasses riches en fossiles dans la partie Ouest. Dans la région de Tahammamet, le Miocène marin est constitué d'une alternance de poudingues à ciment calcaire et de lentilles de marnes. A Timchtaouine, il est représenté par des sables des grès sableux fossilifères.

- **Le Néogène continental (Miocène supérieur et Pliocène)**

Au dessus du Miocène marin, viennent des assises continentales. A el-Outaya, l'étage présente des couches rouges d'une épaisseur de 200 à 300 m. Dans les Aurès les séries continentales reposent directement sur les séries marines et sont composées comme suit :

A la base des argiles rouges (Helvétien – Tortonien) Grès ou sables bruns ou rouges (Pontien)

Au sommet des poudingues rouges (Pliocène).

III.2.2.6-Quaternaire:

Au centre du massif, les terrains Quaternaire sont rares et sont représentés par les éboulis aux pieds des montagnes et les terrasses des oueds.

Les éboulis sont répandus au pied des crêtes des calcaires maastrichtiens. Comportant des blocs qui peuvent atteindre des dizaines de mètres. Ces éboulis reposent sur les marnes campaniennes, où existe souvent un niveau de sources le long du contact.

Les terrasses ayant une épaisseur faible, n'excédant pas dans la plus part du temps les cinq mètres. Elles marquent les épisodes de creusement des vallées. Ces vallées ont subi un perpétuel creusement depuis le Miocène. Des terrasses situées à des hauteurs de 180 m et plus témoignent des mouvements de surrection que subit le massif des Aurès.

Les travertins se situent au niveau des sources. Aux environs de Chetma les tufs déposés autrefois contenaient des ossements de vertébrés.

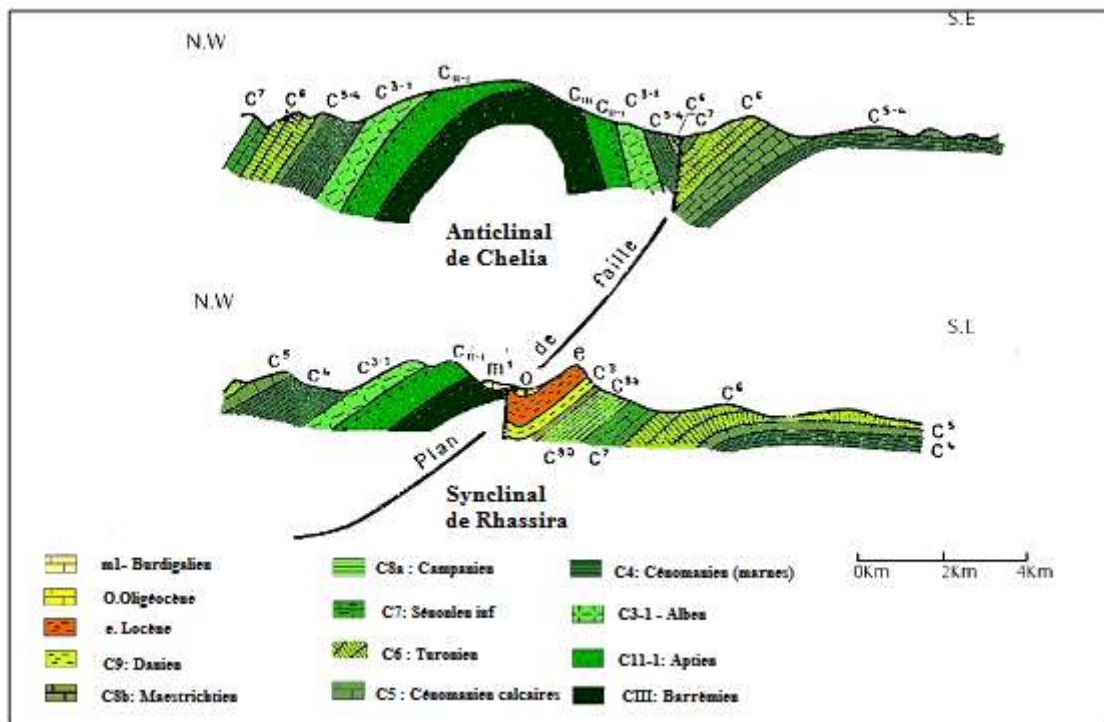


Figure (II.8): Coupes géologiques au niveau du massif de Chelia passant par le synclinal de Rhassira (d'après R.LAFFITTE, 1939).

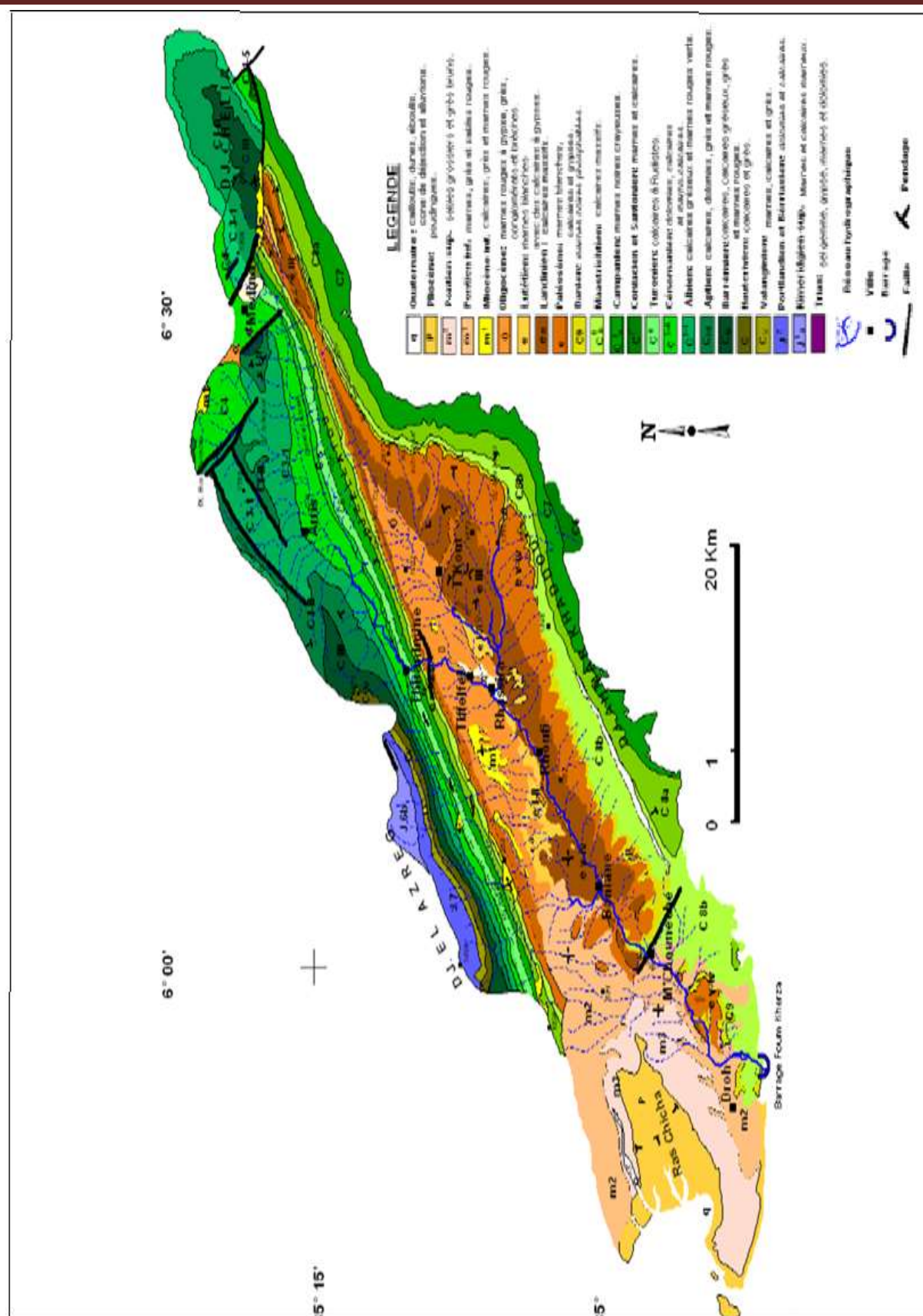


Figure (II.9) : Carte géologique de la vallée d'Oued el-Abiod (d'après R.Laffite 1939)

Figure (II.9) : Carte géologique de la vallée d'Oued el-Abiod (d'après R.Laffite 1939)

III.3.La cuvette

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

III.4.Etanchéité de la cuvette

Le campanien inférieur, affleure au centre de la cuvette. Il faut aller jusqu'aux environs de BISKRA, à une distance de 15 Km pour trouver un affleurement de ces calcaires au-dessous de la cote des plus hautes eaux. Sur une distance aussi grande les pertes de charge seront assez importantes pour ramener les fuites à des chiffres minimes. Le campanien supérieur, niveau complètement imperméable (aucune fuite n'est à craindre). Source : Lafitte. R.1939.

Maestrichtien, affleure au sud et au nord de la retenue. Des sondages de reconnaissances ont permis de vérifier et de préciser la série stratigraphique et de déterminer l'allure du substratum imperméable. Ces sondages ont uniformément rencontré les calcaires, puis les marno-calcaire, et ont atteint la marne bleue.

III.5.Tectonique

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

Une phase cassante pliocène s'est soldée, ensuite, par des formes d'effondrement qui ont donné lieu à de nombreux fossés tectoniques, notamment la fosse sud-atlasique, qui a bouleversé l'ensemble des réseaux hydrographiques. Elle a même complètement inversé la direction des écoulements dans le massif.

Une phase tardive quaternaire a accentué les mouvements verticaux des grands comportements du massif et un abaissement avec une subsidence très marquée de la bordure saharienne.

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

III.6.Fondation du barrage

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

IV. Couvert végétal

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

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

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

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

On rencontre ce type d'exploitation dans les environs de Ghassira, Rhoufi et Mchouneche. En général d'après la carte de répartition de la végétation (on peut estimer la surface couverte à 54767ha de la superficie du bassin, soit 42%. Cette concentration est comprise entre Djebel Chelia et les gorges de Tighanimine, d'une part, et sur les montagnes d'Ahmerkhadou, d'autre part. La zone semi-aride et aride, d'une superficie de 74969ha, soit 58%, résulte plus d'une intense dégradation de la végétation que des conditions lithologiques et climatiques. La classification des types de végétation par ordre de densité ou d'efficacité décroissante, a permis de distinguer les grandes catégories suivantes :

IV.1. Superficies bien protégées en permanence

Donc défavorables au ruissellement et à l'érosion hydrique, forêts denses entre Chelia et Tighanimine (cèdre, chêne vert et pin d'Alep).

IV.2. Superficies moyennement protégées par le couvert végétal

Où les averses tombent sur les parties du sol non protégées peuvent engendrer un ruissellement plus ou moins violent et exerçant une érosion plus ou moins importante de Tighanimine à Ghassira.

IV.3. Surfaces mal protégées ou totalement nues

Où le ruissellement et l'érosion hydrique sont largement favorisés de Ghassira jusqu'à ElHabel (figure II.9).

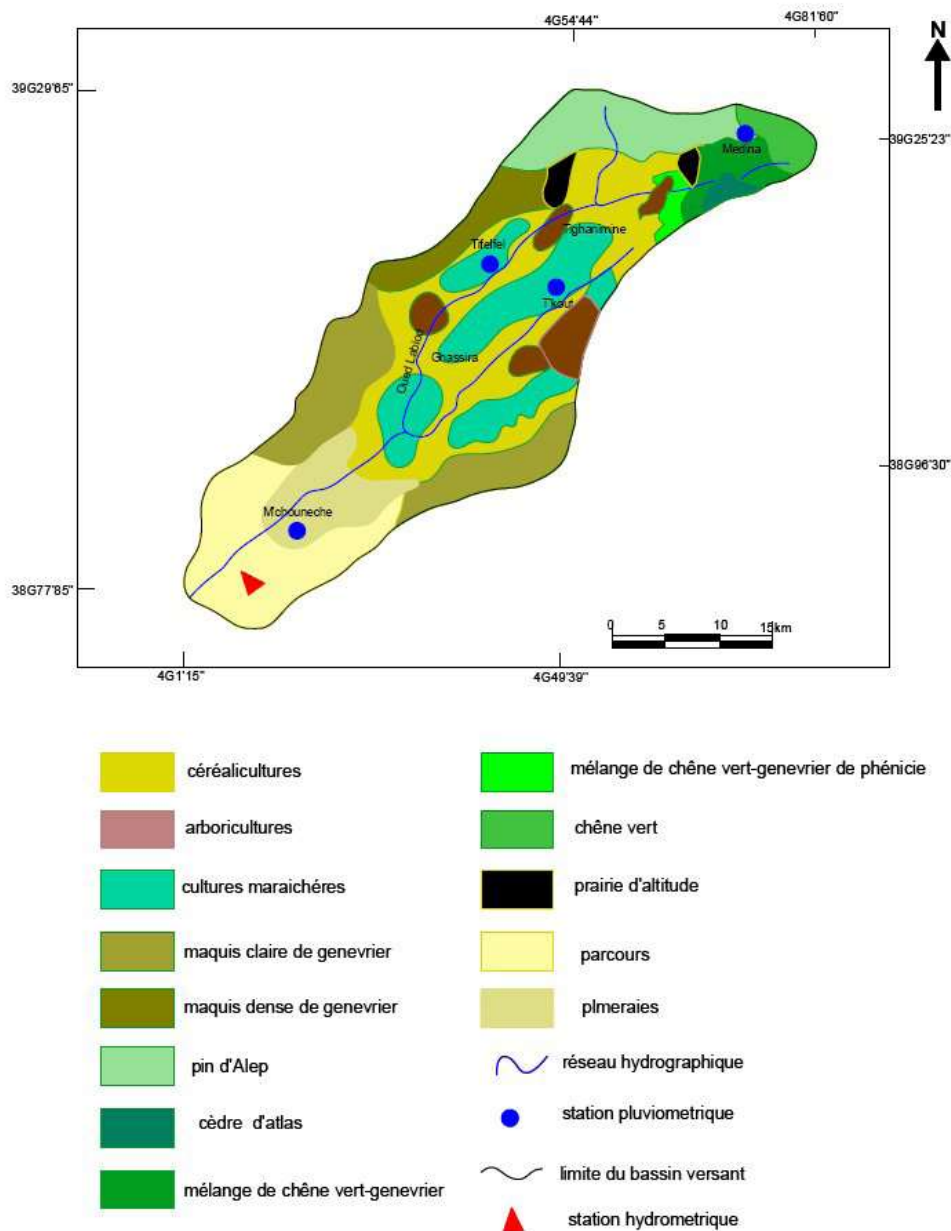


Figure (II.10) : Carte d'occupation du sol dans le bassin versant (Haous.C, 2008)

L'absence du couvert végétal dans certaines zones a favorisé un ruissellement violent et donc l'érosion sera plus ou moins importante. Pour une meilleure évaluation des risques qui menacent notre bassin versant, on a opté pour la division de ce dernier suivant les caractéristiques dominantes et leur influence sur le comportement du bassin versant.

Tableau II.15. Caractéristiques de chaque bassin

Bassin	Bassin supérieur	Bassin moyen	Bassin inférieur
Altitude (m)	2328-1473	1473-880	880-136
Altitude (m)	47200	41600	41200
Pente %	Très forte	forte	Moyenne à forte
Végétation (ha)	30967	15800	8000
Limite	Dj.chelia aux gorges de Tighanimine	Gorges de Tighanimine à Ghassira	Ghassira au Gorges de Foug El Gherza
Lithologie	Grès+marne rouge +calcaire dolomitique	Marne+gypse +calcaire+grès conglomérats+ brèche	Marne blanc et rouge + calcaire+gypse +sable rouge +sable grossier +grès sableux

V.GEOPHYSIQUE

La géophysique est un moyen indispensable dans toute étude hydrogéologique. Elle permet de déterminer les différentes structures, la géométrie des réservoirs, déceler les accidents tectoniques et définir les zones susceptibles d'être aquifères. Pour un tel objectif, nous allons combiner entre les mesures fournies par les prospections géophysiques et les logs des forages.

L'entreprise nationale de géophysique (E.N.A.G.O) avait réalisé des études de prospection géoélectriques, par la méthode de sondage électrique vertical. La première en 2000, suite à la demande de la direction de l'hydraulique de Batna ; la deuxième en 2002 selon la demande de la DHW de Biskra.

Conclusion

Ces composantes naturelles représentent des caractéristiques d'une zone semi-aride favorable à une érosion accentuée : pentes raides, couvert végétal dégradé et des pluies plus au moins torrentielles et irrégulières. Ce qui engendre des pertes de sols de l'amont vers l'aval où on est face à un grand problème qui est l'envasement du barrage.

VI.FONCTIONNEMENT ACTUEL DUBARRAGE FOUM EL GHERZA**VI.1. Présentation du barrage Foum El Gherza**

Le barrage de Foum El Gherza se situe à l'est de la ville de Biskra a une capacité de 32 Hm^3 à la cote de retenue normale qui est égale à 198.90 NGA. Il a été réalisé durant la période 1948-1950 à l'exutoire de l'Oued El Abiod qui draine un bassin versant d'environ 1300 Km^2 . La cote de crête est égale à 203.85 NGA. La cote des plus hautes eaux est de 203.25 NGA.

Cet ouvrage d'art a permis à la région de Sidi Okba de garder sa vocation économique basée sur l'agriculture durant un demi-siècle, du fait qu'il a aidé à contrer la sécheresse qui sévit dans la région depuis une vingtaine d'années. Il a un très grand intérêt économique dans la région puisqu'il permet d'irriguer plus de 300 000 palmiers dattiers des palmeraies de Sidi Okba, Garta, Seriana et Thouda. Il se compose de deux parties, une voûte et une culée.



Photo (II.10) : la cuvette du barrage de Foum El Gherza

VI.1.1.La voûte

La voûte a les dimensions suivantes :

- Hauteur au dessus du terrain naturel : 65m.
- Hauteur maximale sur fond de fouilles : 73m.
- Longueur développée de la voûte en crête : 126m.
- Longueur développée totale : 196m.
- Épaisseur à la base dans l'axe : 11.48m.

- Épaisseur en crête de la voûte : 3m.

VI.1.2. La culée rive gauche

La culée a les dimensions suivantes :

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



Photo (II.11) : la digue du barrage de Foug El Gherza (l'auteur)

Conclusion :

Le diagnostic physico géographique est la première étape de la connaissance d'un bassin versant, à permettre de caractériser les principaux facteurs naturels, intervenant, dans l'alimentation et dans l'écoulement : facteurs géographiques, morphologiques, lithologiques et climatiques.

Le bassin versant oued El Abiod est caractérisé par un climat semi-aride à aride vers l'exutoire dont les caractéristiques se manifestent par un Hiver froid à frais et un Eté très chaud et sec. L'irrégularité et la diminution des précipitations s'affirment en allant de plus en plus vers le Sud ce qui influe surtout sur l'évapotranspiration.

Ces composantes naturelles représentent des caractéristiques d'une zone semi-aride favorable à une érosion accentuée : pentes raides, couvert végétal dégradé et des pluies plus au moins torrentielles et irrégulières. Ce qui engendre des pertes de sols de l'amont vers l'aval où on est face à un grand problème qui est l'envasement du barrage.

Chapitre III

Analyse des Précipitation

ETUDES DES PRECIPITATIONS DU BASSIN VERSANT

I- Hydrologie du bassin versant d'Oued El Abiod

Les conditions climatiques du bassin versant jouent un rôle capital dans le comportement hydrologique du cours d'eau. Se sont les précipitations, surtout liquides, qui constituent un facteur essentiel intervenant par :

- ✓ Leurs hauteurs annuelles qui déterminent l'abondance fluviale
- ✓ Leurs répartitions mensuelles et saisonnières et les totaux journaliers et surtout les averses génératrices de crues.

I.1- Etude de précipitation

Le réseau pluviométrique du bassin versant de Bassin du Chott Melrghir comporte 69 stations pluviométriques.

Seules (13) stations sont prises en considération appartient au bassin du Chott Melrhir. Leurs identifications sont données dans le tableau (III.1). Les précipitations annuelles des stations pluviométriques sont présentées dans le tableau (III.1).

Tableau III.1: Identification des stations pluviométriques de bassin versant du Chott Melrir

N	STATIONS	CODE	X (Km)	Y (Km)	Z(Km)
1	Foum .gerza	06 16 01	795,10	177,65	100
2	Medina	06 15 03	846,80	231,10	1451
3	Takout	06 15 05	828,85	210,50	980
4	Tefelfel	06 15 11	821,90	207,65	450
5	Te.abed	06 13 03	817,60	222,75	1320
6	Menna	06 13 04	801,20	213,80	983
7	Biskra	06 14 16	776,10	178,20	120
8	Babar	06 18 04	901,10	216,20	1450
9	Keirane	06 18 05	870,55	197,10	590
10	k.s.nadji	06 18 06	866,30	175,80	1300
11	bouhmama	06 18 03	867 ,00	228,00	1050
12	Chalih	06 12 11	799,40	252,60	1180
13	Boudila	06 18 02	877,90	203,90	740

A.N.R.H Constantine

I.1.2- Comblement des lacunes :

Les stations pluviométriques étudiées dans cette analyse présentent des lacunes d'observations généralement étalées sur plusieurs mois. Le comblement de ces lacunes a été effectué par le logiciel Hydrolab à l'échelle mensuelle, mois par mois.

L'objectif de ce logiciel est de combler les lacunes dans une matrice de données sur une même période, où les variables sont disposées suivant des colonnes représentant les stations (13 variables) et les observations en lignes représentent les années (40 observations).

Pour les données pluviométriques, il est recommandé de ne retenir que les composantes représentant une structure spatiale. Le choix du nombre d'itérations est compris entre 10 à 15 sont généralement suffisantes (laborde, 2000).

Les précipitations annuelles corrigées dans les différentes stations pluviométriques sont présentées dans le tableau ci-dessous

Tableau III.2: Précipitation annuelles (mm) aux différentes stations pluviométriques (n=40)

Année	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13
1970/71	63,56	244,60	98,60	89,87	88,50	170,50	149,77	128,00	48,30	42,80	642,20	83,30	140,20
1971/72	88,20	482,90	114,80	83,40	297,00	351,40	69,45	299,60	119,80	59,00	609,60	516,50	237,30
1972/73	107,80	658,70	283,60	26,40	100,20	291,00	47,98	291,80	327,00	25,00	383,80	498,60	160,20
1973/74	54,80	331,70	42,50	62,50	86,70	136,00	50,30	160,30	195,90	40,90	311,70	296,80	99,00
1974/75	79,80	388,60	97,10	179,80	164,20	244,50	114,60	205,10	129,20	44,10	405,30	338,60	160,50
1975/76	125,90	546,40	237,80	216,90	391,10	224,10	133,20	397,10	286,90	82,10	295,00	289,70	245,30
1976/77	156,70	521,30	552,10	279,90	477,60	431,80	239,00	410,80	259,40	75,90	390,30	146,80	239,20
1977/78	34,00	309,20	208,00	195,00	299,90	141,80	48,00	264,20	293,40	33,40	255,90	219,90	159,40
1978/79	43,00	280,40	195,10	82,40	279,60	139,10	48,40	292,00	230,70	108,40	178,70	273,60	127,30
1979/80	61,00	373,60	329,60	202,90	387,20	232,30	115,80	350,50	235,30	75,00	328,30	330,20	209,50
1980/81	111,32	517,20	384,20	164,20	307,40	249,30	110,20	239,80	218,60	68,00	357,20	421,70	233,42
1981/82	82,50	465,30	174,30	61,90	321,00	201,70	20,30	248,10	225,50	27,90	431,00	310,90	239,50
1982/83	149,80	380,10	170,30	135,00	273,00	204,00	137,70	181,20	214,70	40,68	269,10	352,70	169,10
1983/84	28,50	236,40	160,30	69,00	161,30	142,90	24,30	230,50	149,00	20,29	333,40	326,70	182,00
1984/85	138,00	401,70	301,10	164,50	233,90	303,40	123,60	195,40	346,80	46,70	341,80	445,30	220,20
1985/86	119,00	512,40	312,90	93,40	420,50	235,70	110,70	331,90	250,10	10,30	374,70	482,20	294,80
1986/87	91,00	420,00	227,70	92,00	193,30	211,00	115,10	347,90	129,30	11,90	341,40	433,80	145,30
1987/88	42,00	251,30	224,90	132,30	203,10	191,70	79,00	331,40	162,50	25,80	206,60	294,90	128,10
1988/89	116,10	537,10	354,70	152,90	426,00	266,00	72,80	286,30	117,60	32,40	465,10	456,70	133,10
1989/90	151,70	527,20	403,20	259,50	408,00	217,80	121,70	507,90	381,60	12,40	573,50	420,70	375,40
1990/91	98,00	318,70	205,70	89,50	239,70	132,80	143,00	402,30	145,50	64,46	379,20	294,40	176,70
1991/92	124,50	483,30	297,00	169,50	378,10	315,30	119,70	297,30	260,60	39,13	457,80	440,10	214,30
1992/93	116,50	360,90	193,90	90,50	152,20	84,70	153,60	253,50	138,50	63,11	298,00	305,90	80,30
1993/94	57,70	251,60	165,80	61,50	149,80	123,10	63,60	190,50	103,00	9,80	305,80	268,10	113,40
1994/95	69,80	347,10	263,20	174,50	216,00	190,10	106,30	328,00	162,50	12,40	306,70	252,60	122,10
1995/96	171,00	487,70	524,50	368,80	498,70	502,70	199,00	472,10	294,80	25,90	551,80	192,50	387,90
1996/97	87,50	225,10	125,60	74,00	117,40	122,90	137,40	183,20	133,30	7,80	270,10	118,00	175,70
1997/98	120,60	540,70	293,60	109,90	321,60	274,30	158,80	415,80	174,50	40,30	514,20	279,90	255,40
1998/99	51,70	316,60	148,40	34,20	134,40	102,40	239,20	164,40	109,70	53,10	313,60	93,30	96,00
1999/00	110,10	348,70	192,80	128,00	187,40	133,90	128,80	265,20	224,00	80,10	341,70	151,80	229,50
2000/01	40,70	252,00	222,80	96,00	147,10	136,10	78,90	129,70	117,50	75,90	213,50	148,70	129,50
2001/02	57,90	254,40	221,60	152,00	85,60	165,70	57,10	317,70	205,60	51,10	452,40	151,20	200,70
2002/03	153,10	527,40	362,00	168,50	220,80	337,20	131,00	414,00	290,70	198,10	552,30	391,90	292,00
2003/04	212,10	896,40	491,00	34,60	208,50	294,30	252,20	531,00	414,60	109,10	609,40	376,00	360,00
2004/05	117,00	558,80	384,40	89,40	216,50	220,30	124,50	451,50	138,90	109,50	466,10	319,60	278,80
2005/06	92,60	581,40	308,10	285,80	275,00	323,10	139,50	392,00	131,90	126,40	546,20	299,60	315,80
2006/07	91,20	492,70	213,90	81,30	202,90	221,30	146,60	450,00	181,60	58,80	382,40	193,60	273,80
2007/08	41,00	585,90	299,50	108,10	116,10	116,80	61,40	407,00	150,50	51,00	560,20	301,90	223,50
2008/09	285,00	769,50	468,80	332,10	149,90	304,60	310,30	752,00	429,90	211,20	806,70	510,50	407,20
2009/10	173,50	604,40	422,20	124,00	125,50	359,80	193,10	420,50	142,50	101,50	422,00	409,20	269,00
Max	285,00	896,40	552,10	368,80	498,70	502,70	310,30	752,00	429,90	211,20	806,70	516,50	407,20
Min	28,50	225,40	42,50	26,40	85,60	84,70	20,30	128,00	48,30	7,80	178,70	83,30	80,30
Moyenne	102,90	439,74	266,94	137,90	241,57	226,19	121,90	323,44	206,79	59,29	406,12	310,96	212,51
Ecart-type	52,79	152,51	121,52	80,82	114,35	93,67	63,71	126,82	90,20	45,76	135,54	118,39	83,37
Coef variance	0,51	0,35	0,46	0,59	0,47	0,41	0,52	0,39	0,44	0,77	0,33	0,38	0,39
Coef d'assy	1,16	0,72	0,55	1,12	0,58	0,83	0,88	0,91	0,78	1,69	0,76	-0,13	0,59
Coef d'aplat	2,35	0,73	-0,16	0,98	-0,60	0,67	1,05	1,86	0,08	3,50	0,54	-0,74	-0,21

A.N.R.H (Constantine, Ouargla)

I.1.2- Interprétation des caractéristiques statiques :**Le coefficient d'asymétrie :**

L'ensemble des stations étudiées, sauf la station n°(12) présentent des coefficients d'asymétrie positifs (la distribution est étalée sur la droite), la succession mode-médiane-moyenne et la dissymétrie est positive. Les stations de Foum.Gherza (S_1), Tefelfel (S_4) et K.S.Nadji (S_{10}) présentent des coefficients d'asymétrie supérieurs à 1.

Seulement la station OuldChalih (S_{11}) présente un coefficient d'asymétrie presque nul. La distribution est donc symétrique.

Le coefficient d'aplatissement

L'analyse des coefficients d'aplatissements des séries étudiées montre que les stations (1, 2, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11) présentent des coefficients d'aplatissement positifs. Ce coefficient est varié de 0,08 au niveau de la station Kherane à 3,67 dans la station K.S.Nadji. La distribution est pratiquement moins aplatie que la distribution normale.

Pour le cas des autres stations (3, 5, 12, 13), le coefficient d'aplatissement est négatif et la distribution est plus aplatie que la distribution normale et varie entre -0.74 et -0.16.

Le coefficient de variation C_v :

Le phénomène de variabilité interannuelle des modules pluviométriques est bien exprimé par le coefficient de variation traduisant la dispersion relative des pluies. Les valeurs du coefficient de variation relative à la période de 1971/72 jusqu'à 2010/11 varient entre 0,33 à 0,77, ce qui implique une variabilité assez faible.

I.1.3. Analyse en composantes principales (ACP) des précipitations annuelles :

L'analyse en composantes principales permet de visualiser l'information contenue dans un tableau de données quantitatives et de concentrer l'information dans un nombre réduit de nouvelles variables.

Cette méthode est appliquée sur des données des précipitations annuelles dont nous en formant une matrice initiale rectangulaire avec en ligne les valeurs des précipitations annuelles de 13 stations et en colonne les 40 années d'observation.

Les étapes de l'analyse en composantes principales sont :

- Création de la matrice des données brutes ;
- Calcul des paramètres statistiques ;
- Transformation des données brutes en données centrées réduites ;
- Détermination de la matrice de corrélation des données centrées-réduites ;
- Détermination des valeurs propres à partir de la matrice de corrélation des données centrées réduites ;
- Détermination des composantes principales (CP) ;

- Détermination des composantes principales réduites (CP) ;
- Détermination du coefficient de régression

I.1.3.1- Analyse des résultats de l'ACP :

On a procédé à une analyse en composantes principales sur les 40 variables (les années) et ces observations (les postes pluviométriques).

Les résultats obtenus par l'analyse en composantes principales sont résumés dans les tableaux (III.3,III.4, III.5,III.6, III.7 et III.8)

Tableau III.3 : Moyenne, Ecart des variables initiales :

Stations	F.gerza	Medina	Tkout	Tefelfel	Te.abed	Menna	Biskra	Babar	Keirane	K.s.nadji	Bouhmama	Chalih	Boudila
Moyenne des observations actives	212.50	310.96	406.12	59.16	206.79	323.44	121.74	226.19	241.57	137.76	266.94	439.74	101.38
Ecart types des observations actives	83.37	118.89	135.54	45.81	90.20	126.82	63.39	93.67	114.35	80.91	121.52	152.51	54.94

Tableau III.4 : Matrice des coefficients de corrélation entre les variables :

Stations	F.gerza	medina	tkout	tefelfel	Te.abed	menna	bikra	babar	keirane	k.s.nadji	bouhmama	chalih	boudila
F.gerza	1.00	0.76	0.71	0.46	0.30	0.62	0.71	0.70	0.66	0.49	0.51	0.47	0.72
medina	0.76	1.00	0.70	0.25	0.25	0.60	0.49	0.73	0.56	0.46	0.64	0.56	0.71
tkout	0.71	0.70	1.00	0.58	0.50	0.70	0.55	0.73	0.57	0.39	0.44	0.28	0.71
tefelfel	0.46	0.25	0.58	1.00	0.54	0.58	0.39	0.50	0.42	0.29	0.34	0.06	0.55
Te.abed	0.30	0.25	0.50	0.54	1.00	0.54	0.11	0.28	0.33	-0.10	0.07	0.21	0.40
menna	0.62	0.60	0.70	0.58	0.54	1.00	0.42	0.49	0.40	0.28	0.50	0.37	0.64
bikra	0.71	0.49	0.55	0.39	0.11	0.42	1.00	0.55	0.32	0.48	0.43	-0.05	0.49
babar	0.70	0.73	0.73	0.50	0.28	0.49	0.55	1.00	0.55	0.53	0.61	0.33	0.79
keirane	0.66	0.56	0.57	0.42	0.33	0.40	0.32	0.55	1.00	0.31	0.28	0.38	0.62
k.s.nadji	0.49	0.46	0.39	0.29	-0.10	0.28	0.48	0.53	0.31	1.00	0.42	0.15	0.44
bouhmama	0.51	0.64	0.44	0.34	0.07	0.50	0.43	0.61	0.28	0.42	1.00	0.30	0.69
chalih	0.47	0.56	0.28	0.06	0.21	0.37	-0.05	0.33	0.38	0.15	0.30	1.00	0.30
boudila	0.72	0.71	0.71	0.55	0.40	0.64	0.49	0.79	0.62	0.44	0.69	0.30	1.00

Seules les trois premières composantes principales ont été calculées, ou la C_i = nombre des variables, Alors $C_i=13$

Dans une analyse en composantes principales, on travaille sur la matrice des coefficients de corrélations et les différents résultats sont absolument indépendant des systèmes d'unité choisis.

Tableau III.5 : Valeur propre, Variances expliquées et Variances cumulées :

Axes	C ₁	C ₂	C ₃
Valeurspropre	6.82	1.5	1.25
Variances expliquées	52%	12%	10%
Variances cumulées	52%	64%	74%

- La somme des valeurs propres des composantes 1 à 3 est : $9.57 = (6.82 + 1.5 + 1.25)$
- La somme des valeurs propres des composantes 4 à 40 est : $30.43 = (40 - 9.57)$
- Le pourcentage d'inertie expliqué par la $i^{\text{ème}}$ composante dépend de la valeur propre C_i et du nombre de variable nv : $\% = C_i / nv$

Tableau III.6 : Pourcentage d'inertie

Composantes	C ₁	C ₂	C ₃
Pourcentage d'inertie expliquée	52.46	11.54	9.61
Pourcentage d'inertie cumulé	52.46	64	73.61

Tableau III.7 : Projection des variables actives :

ST	C ₁	C ₂	C ₃
F.gerza	0.89	-0.11	0.06
medina	0.84	-0.20	0.32
tkout	0.86	0.17	-0.11
tefelfel	0.63	0.41	-0.42
Te.abed	0.45	0.80	-0.04
menna	0.77	0.31	0.00
bikra	0.65	-0.30	-0.47
babar	0.85	-0.16	-0.04
keirane	0.69	0.11	0.18
k.s.nadji	0.56	-0.53	-0.19
bouhmama	0.68	-0.32	0.05
chalih	0.45	0.04	0.81
boudila	0.88	0.00	-0.03

D'après le tableau ci-dessus, 05 stations représentatives dans le bassin et présentes des variables explicatives sur le premier vecteur dépasse 0.84.

La station F. Gerza, c'est la station la plus représentative du bassin d'étude.

Tableau III.8 : Projection des observations

Année	C ₁	C ₂	C ₃
1970/71	-1.23	-1.18	-1.41
1971/72	0.08	0.02	1.71
1972/73	0.02	-0.38	2.62
1973/74	-1.28	-0.59	0.73
1974/75	-0.55	-0.08	0.02
1975/76	0.47	0.77	-0.34
1976/77	1.33	1.61	-2.27
1977/78	-0.69	1.20	-0.34
1978/79	-0.84	0.19	0.03
1979/80	0.11	1.11	-0.39
1980/81	0.30	0.62	0.59
1981/82	-0.39	0.58	1.14
1982/83	-0.34	0.45	0.24
1983/84	-1.14	0.14	0.69
1984/85	0.26	0.69	0.83
1985/86	0.37	1.20	1.44
1986/87	-0.42	0.01	0.93
1987/88	-0.86	0.59	-0.13
1988/89	0.12	1.24	1.09
1989/90	1.29	1.28	0.54
1990/91	-0.37	-0.52	-0.31
1991/92	0.45	1.10	0.80
1992/93	-0.76	-0.87	-0.16
1993/94	-1.30	-0.05	0.20
1994/95	-0.57	0.56	-0.47
1995/96	1.83	2.41	-1.97
1996/97	-1.18	-0.38	-1.06
1997/98	0.43	0.04	-0.12
1998/99	-1.14	-1.24	-1.68
1999/00	-0.38	-0.55	-1.00
2000/01	-1.24	-0.22	-0.95
2001/02	-0.64	-0.47	-0.78
2002/03	1.17	-1.13	0.06
2003/04	1.95	-1.79	0.85
2004/05	0.47	-0.96	0.06
2005/06	0.83	-0.12	-0.94
2006/07	0.02	-0.66	-0.52
2007/08	-0.19	-1.05	0.59
2008/09	3.11	-2.47	-0.45
2009/10	0.90	-1.08	0.15

I.1.3.2- Ajustement des vecteur C1 à une loi de probabilité :

Le vecteur C1 s'ajuste bien à la loi normale comme l'indique la figure ci-après

Tableau III.9 : Ajustement à la loi normale du vecteur régional (C_1) :

Taille n=40 ; Moyenne= -2.55^E-08 ; Ecart-type =1.00,I.C.à (en %)=95,U Gauss=1,96

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieur	Borne supérieur
-1,41	-2,27	1	0,0125	-2,242	-2,27	-2,24	-2,97	-1,74
1,71	-1,97	2	0,0375	-1,781	-1,97	-1,78	-2,39	-1,35
2,62	-1,68	3	0,0625	-1,534	-1,68	-1,53	-2,09	-1,13
0,73	-1,41	4	0,0875	-1,357	-1,41	-1,36	-1,88	-0,97
0,02	-1,06	5	0,1125	-1,213	-1,06	-1,21	-1,70	-0,85
-0,34	-1,00	6	0,1375	-1,092	-1,00	-1,09	-1,56	-0,74
-2,27	-0,95	7	0,1625	-0,984	-0,95	-0,98	-1,43	-0,64
-0,34	-0,94	8	0,1875	-0,887	-0,94	-0,89	-1,32	-0,55
0,03	-0,78	9	0,2125	-0,798	-0,78	-0,80	-1,21	-0,46
-0,39	-0,52	10	0,2375	-0,714	-0,52	-0,71	-1,11	-0,39
0,59	-0,47	11	0,2625	-0,635	-0,47	-0,64	-1,02	-0,31
1,14	-0,45	12	0,2875	-0,560	-0,45	-0,56	-0,94	-0,24
0,24	-0,39	13	0,3125	-0,488	-0,39	-0,49	-0,86	-0,17
0,69	-0,34	14	0,3375	-0,419	-0,34	-0,42	-0,78	-0,10
0,83	-0,34	15	0,3625	-0,351	-0,34	-0,35	-0,70	-0,03
1,44	-0,31	16	0,3875	-0,285	-0,31	-0,29	-0,63	0,03
0,93	-0,16	17	0,4125	-0,221	-0,16	-0,22	-0,56	0,10
-0,13	-0,13	18	0,4375	-0,157	-0,13	-0,16	-0,49	0,16
1,09	-0,12	19	0,4625	-0,094	-0,12	-0,09	-0,42	0,23
0,54	0,02	20	0,4875	-0,031	0,02	-0,03	-0,36	0,29
-0,31	0,03	21	0,5125	0,031	0,03	0,03	-0,29	0,36
0,80	0,06	22	0,5375	0,094	0,06	0,09	-0,23	0,42
-0,16	0,06	23	0,5625	0,157	0,06	0,16	-0,16	0,49
0,20	0,15	24	0,5875	0,221	0,15	0,22	-0,10	0,56
-0,47	0,20	25	0,6125	0,285	0,20	0,29	-0,03	0,63
-1,97	0,24	26	0,6375	0,351	0,24	0,35	0,03	0,70
-1,06	0,54	27	0,6625	0,419	0,54	0,42	0,10	0,78
-0,12	0,59	28	0,6875	0,488	0,59	0,49	0,17	0,86
-1,68	0,59	29	0,7125	0,560	0,59	0,56	0,24	0,94
-1,00	0,69	30	0,7375	0,635	0,69	0,64	0,31	1,02
-0,95	0,73	31	0,7625	0,714	0,73	0,71	0,39	1,11
-0,78	0,80	32	0,7875	0,798	0,80	0,80	0,46	1,21
0,06	0,83	33	0,8125	0,887	0,83	0,89	0,55	1,32
0,85	0,85	34	0,8375	0,984	0,85	0,98	0,64	1,43
0,06	0,93	35	0,8625	1,092	0,93	1,09	0,74	1,56
-0,94	1,09	36	0,8875	1,213	1,09	1,21	0,85	1,70
-0,52	1,14	37	0,9125	1,357	1,14	1,36	0,97	1,88
0,59	1,44	38	0,9375	1,534	1,44	1,53	1,13	2,09
-0,45	1,71	39	0,9625	1,781	1,71	1,78	1,35	2,39
0,15	2,62	40	0,9875	2,242	2,62	2,24	1,74	2,97

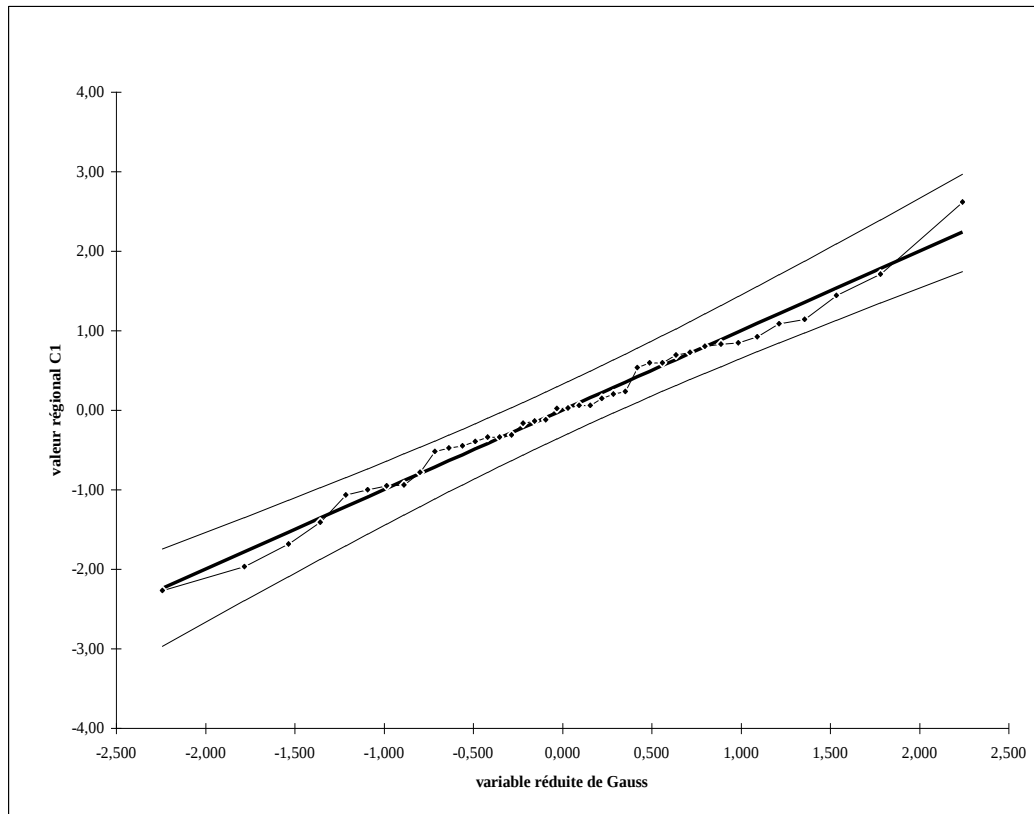


Figure (III.1) : Ajustement de vecteur régional C_1 à l'échelle annuelle.

I.1.3.3. Stations représentatives de bassin Oued Abiod

D'après l'analyse du tableau de la projection des variables actives, on peut dire que les station représentatives des sous bassins sont 05 stations (Foum El Gherza, Médina, Takout, Babar et Boudila) et la station la plus représentative du bassins versant de Oued El Abiod, c'est celle da la station Foum El Gherza d'où présente la plus grande valeur de vecteur C_1 .

Les codes des stations représentatives des différents sous bassins sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau III.10 : Code des stations

ST	Code	X (km)	Y (km)
F.gerza	06 16 01	795,10	177,65
Medina	06 15 03	846,80	231,10
Takout	06 15 05	828,85	210,50
Babar	06 18 04	901,10	216,20
Boudila	06 18 02	877,90	203,90

I.1.3.4- Ajustement des Précipitations annuelles à une loi de probabilité :

L'analyse statistique des précipitations à l'échelle annuelle, est portée uniquement sur les stations représentatives. Elle a permis d'ajuster les séries d'observation à la loi Log normale, le tableau (III.11) et la figure (III.2) montre l'ajustement des précipitations annuelles de la station Foum El Gerza, les résultats de l'autre ajustement sont en annexe (II).

Tableau III.11 : précipitation annuelles et leurs fréquences expérimentales station de FoumElGerza

Taille $n=40$ Moy. $\log(x-x_0)=1.956$ et $\log(x-x_0)=0.229$.IC. à (en 95%) U Gauss=1.96

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieur	Borne supérieur
63,56	28,50	1	0,013	-2,242	28,50	27,70	18,91	36,01
88,20	34,00	2	0,038	-1,781	34,00	35,33	25,56	44,42
107,80	40,70	3	0,063	-1,534	40,70	40,24	29,98	49,78
54,80	41,00	4	0,088	-1,357	41,00	44,21	33,60	54,10
79,80	42,00	5	0,113	-1,213	42,00	47,67	36,80	57,89
125,90	43,00	6	0,138	-1,092	43,00	50,84	39,74	61,36
156,70	51,70	7	0,163	-0,984	51,70	53,81	42,51	64,63
34,00	54,80	8	0,188	-0,887	54,80	56,64	45,16	67,76
43,00	57,70	9	0,213	-0,798	57,70	59,38	47,72	70,81
61,00	57,90	10	0,238	-0,714	57,90	62,05	50,22	73,81
111,32	61,00	11	0,263	-0,635	61,00	64,69	52,68	76,79
82,50	63,56	12	0,288	-0,560	63,56	67,30	55,11	79,77
149,80	69,80	13	0,313	-0,488	69,80	69,91	57,53	82,76
28,50	79,80	14	0,338	-0,419	79,80	72,52	59,94	85,79
138,00	82,50	15	0,363	-0,351	82,50	75,15	62,37	88,88
119,00	87,50	16	0,388	-0,285	87,50	77,81	64,80	92,02
91,00	88,20	17	0,413	-0,221	88,20	80,51	67,26	95,25
42,00	91,00	18	0,438	-0,157	91,00	83,27	69,75	98,58
116,10	91,20	19	0,463	-0,094	91,20	86,09	72,29	102,02
151,70	92,60	20	0,488	-0,031	92,60	88,98	74,87	105,59
98,00	98,00	21	0,513	0,031	98,00	91,97	77,51	109,31
124,50	107,80	22	0,538	0,094	107,80	95,06	80,22	113,22
116,50	110,10	23	0,563	0,157	110,10	98,28	83,02	117,33
57,70	111,32	24	0,588	0,221	111,32	101,65	85,92	121,67
69,80	116,10	25	0,613	0,285	116,10	105,18	88,93	126,29
171,00	116,50	26	0,638	0,351	116,50	108,90	92,08	131,22
87,50	117,00	27	0,663	0,419	117,00	112,85	95,39	136,53
120,60	119,00	28	0,688	0,488	119,00	117,07	98,88	142,26
51,70	120,60	29	0,713	0,560	120,60	121,60	102,60	148,50
110,10	124,50	30	0,738	0,635	124,50	126,51	106,57	155,36
40,70	125,90	31	0,763	0,714	125,90	131,89	110,87	162,96
57,90	138,00	32	0,788	0,798	138,00	137,83	115,57	171,50
153,10	149,80	33	0,813	0,887	149,80	144,49	120,78	181,23
212,10	151,70	34	0,838	0,984	151,70	152,10	126,64	192,51
117,00	153,10	35	0,863	1,092	153,10	160,98	133,38	205,92
92,60	156,70	36	0,888	1,213	156,70	171,67	141,37	222,38
91,20	171,00	37	0,913	1,357	171,00	185,13	151,27	243,57
41,00	173,50	38	0,938	1,534	173,50	203,36	164,39	273,01
285,00	212,10	39	0,963	1,781	212,10	231,62	184,22	320,20
173,50	285,00	40	0,988	2,242	285,00	295,43	227,24	432,82

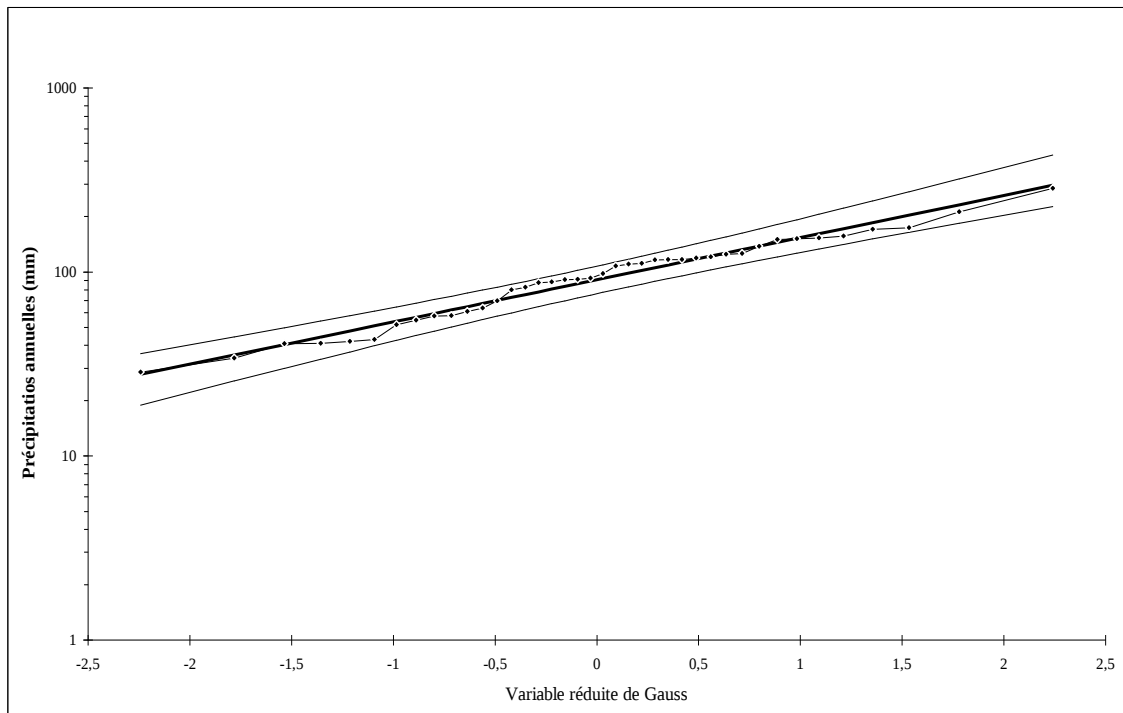


Figure (III.2) : Ajustement précipitations annuelles à la loi Log normale (Foumelgerza)

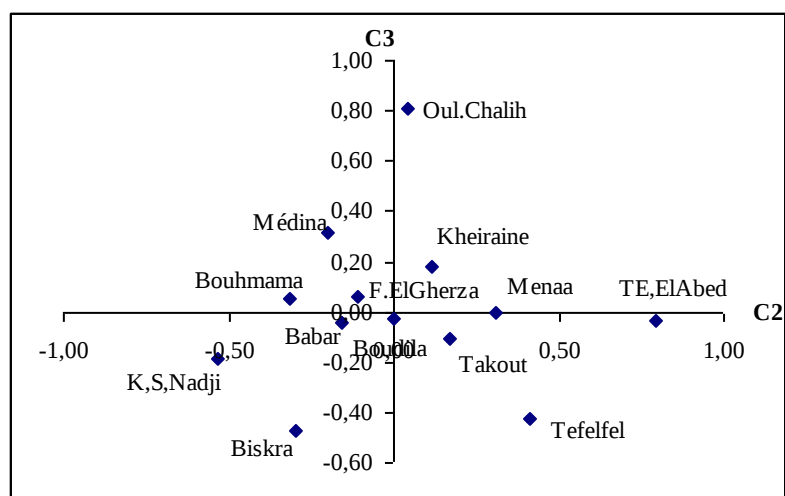
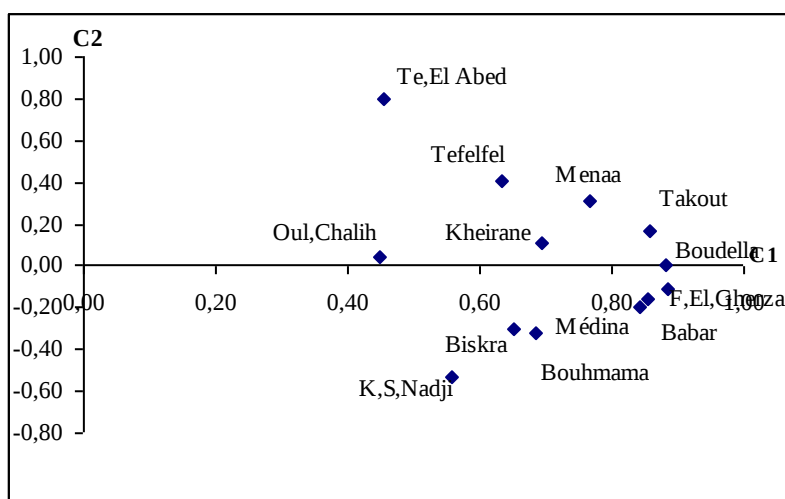
Tableau III.12 : Equations d'ajustement des précipitations annuelles à la loi Long normale des différentes stations

Stations	Droite de Galton
Foumelgerza	$\text{Log } x_p\% = 1,956 + 0,229U_p\%$
Medina	$\text{Log } x_p\% = 2,618 + 0,151U_p\%$
Takout	$\text{Log } x_p\% = 2,378 + 0,224U_p\%$
Tifelfel	$\text{Log } x_p\% = 2,066 + 0,263U_p\%$
Te.Abed	$\text{Log } x_p\% = 2,333 + 0,215U_p\%$
Menaa	$\text{Log } x_p\% = 2,31 + 0,181U_p\%$
Biskra	$\text{Log } x_p\% = 2,021 + 0,258U_p\%$
Babar	$\text{Log } x_p\% = 2,477 + 0,258U_p\%$
Khairane	$\text{Log } x_p\% = 2,275 + 0,196U_p\%$
K.S.Nadji	$\text{Log } x_p\% = 1,648 + 0,351U_p\%$
Bouhmama	$\text{Log } x_p\% = 2,585 + 0,144U_p\%$
Chalih.Oul	$\text{Log } x_p\% = 2,453 + 0,202U_p\%$
Boudila	$\text{Log } x_p\% = 2,294 + 0,176U_p\%$

Les précipitations annuelles (mm) estimées pour différents période de retours ont été mentionnées dans le tableau ci-dessous.

Tableau III.13 : précipitations annuelles (mm) pour différents périodes de retours

Période de retours	5	10	20	50	100	1000
FoumElgerza	141,06	177,97	215,61	267,57	308,98	462,41
Medina	556,18	648,41	735,98	848,73	933,32	1217,95
Takout	368,69	463,84	560,65	693,93	799,92	1191,28
Tifelfel	194,13	253,44	315,83	404,58	477,19	757,76
Te.Abed	326,93	406,68	486,97	596,43	682,73	996,96
Manaa	295,52	354,95	412,92	489,53	548,34	753,52
Biskra	173,06	224,90	279,21	356,15	418,87	659,89
Babar	420,09	501,06	579,53	682,62	761,32	1033,57
Khairane	274,92	335,19	394,80	474,62	536,61	756,84
K.S.Nadji	87,98	125,61	168,55	234,63	292,51	542,53
Bouhmama	505,41	589,77	665,59	762,60	835,00	1076,57
Chalih.Oul	419,94	515,29	610,13	737,86	837,53	1194,43
Boudila	276,50	330,37	382,68	451,50	504,11	686,51



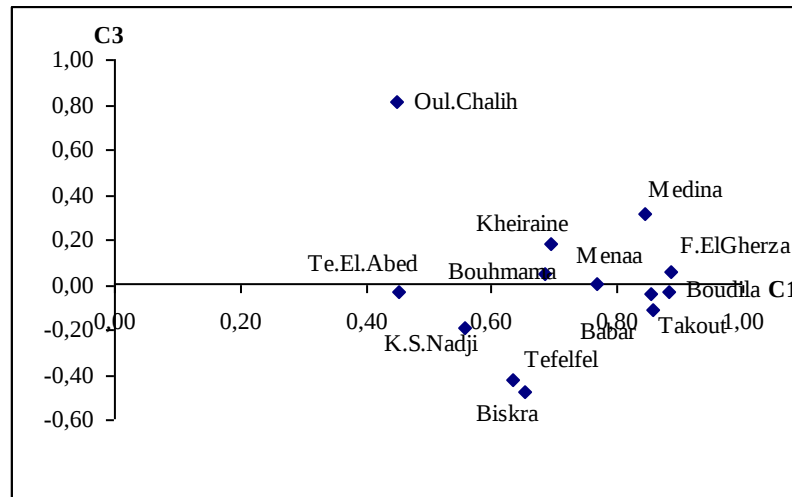


Figure (III.3) : projection des variables sur le plan 1-2,2-3,1-3

L'analyse de la figure (III.3) montre que les stations pluviométriques s'organisent en trois groupes :

Le premier groupe composé des stations : 1, 4 et 7, leur regroupement peut être expliqué par leurs altitudes comprises entre 100 à 500 m et leurs pluviométries moyennes comprises entre 103 et 138mm

Le deuxième groupe composé des stations : 3, 6,9 et 13, leur regroupement peut être expliqué par leurs altitudes comprises entre 500 à 1000 m et leurs pluviométries moyennes comprises entre 207 et 267mm

Le troisième groupe est composé par les stations : 5, 8,10, 11 et 12, leur regroupement peut être expliqué par leurs altitudes supérieures à 1000 m et leurs pluviométries moyennes comprises entre 60 et 406 mm.

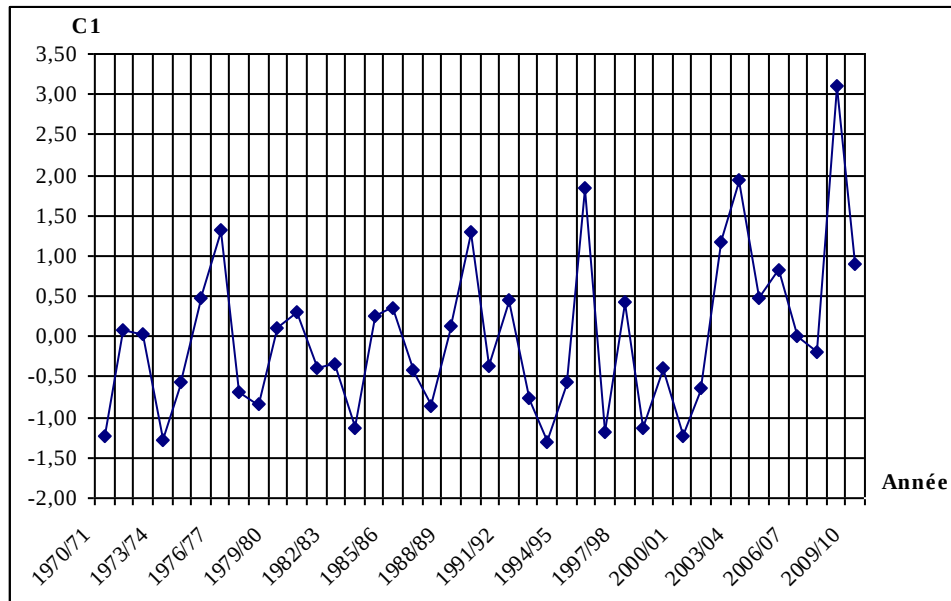


Figure (III.4) : projection des observations sur la première composante C_1

L'analyse de la figure (III.4) montre une variation remarquable de la projection des observation sur la 1^{er} composant C_1 pendant les années de mesure, elle peut être expliquer par la variation des précipitations durant (1970/71 à 2009/10), les plus grandes valeurs correspondent aux années humides (1976, 1991, 1995, 2003 et 2009). Par contre les faibles valeurs de C_1 correspondent aux années sèches (1973, 1993, 1996 et 2000).

I.2. Analyse par ACP du régime pluviométrique mensuelle :

Pour étudier la répartition mensuelle des précipitations sur le bassin versant d'Oued El Abiod, On dispose de 13 postes pluviométriques d'une estimation sur 40 années. Des précipitations moyennes mensuelles corrigées et exprimées en (mm) sont résumées dans le tableau (III.14).

Tableau (III.14) : Précipitations mensuelles des stations pluviométrique étudiées :

Année	F.EL.GERZA	MEDINA	TKOUT	TEFELFEL	TE.ABED	MENAA	BISKRA	BABAR	KHEIRANE	K.S NADJI	BOUHMAMA	OUL CHELIH	BOUDELLA
Septembre	11,72	48,43	34,46	24,97	43,06	31,79	15,95	38,43	27,90	8,29	41,27	37,43	22,37
Octobre	9,09	36,41	27,38	18,49	23,28	21,67	9,26	32,25	25,24	11,07	37,07	27,47	26,09
Novembre	13,82	42,78	27,55	15,31	24,22	25,29	15,99	28,88	25,47	5,85	39,33	33,61	21,95
Décembre	9,06	42,91	25,35	13,37	27,25	22,81	9,84	23,64	13,50	4,62	37,43	38,01	16,33
Janvier	12,29	36,70	19,45	11,38	21,70	20,22	17,05	21,99	14,05	6,98	38,21	31,31	14,36
Février	7,98	31,07	20,10	12,37	17,66	20,78	8,01	24,48	14,63	4,19	33,44	27,17	16,22
Mars	12,74	42,01	25,28	11,37	23,01	23,81	15,03	34,49	21,83	2,22	42,80	32,85	25,59
Avril	10,42	40,51	23,91	14,35	25,79	22,99	10,85	29,26	19,19	5,37	35,07	32,52	24,87
Mai	8,48	47,30	25,63	12,51	23,66	19,25	8,59	33,05	24,45	6,71	39,83	30,16	25,89
Juin	4,69	26,03	16,35	11,15	13,29	11,80	3,84	22,94	12,67	1,61	25,32	12,22	11,59
Juillet	0,48	11,95	9,04	3,47	4,37	3,06	0,60	14,02	4,02	0,29	16,99	5,28	5,67
Aout	1,95	30,56	19,86	12,49	17,15	8,79	1,88	22,23	7,73	2,93	26,43	14,17	9,69
Max	13,82	48,43	34,46	24,97	43,06	31,79	17,05	38,43	27,90	11,07	42,80	38,01	26,09
Min	0,48	11,95	9,04	3,47	4,37	3,06	0,60	14,02	4,02	0,29	16,99	5,28	5,67
Médiane	8,56	36,39	22,86	13,44	22,04	19,35	9,74	27,14	17,56	5,01	34,43	26,85	18,39
Moyenne	9,08	38,60	24,60	12,50	23,15	21,22	9,55	26,68	16,91	5,00	37,25	30,74	19,14
Ecart type	4,24	10,28	6,46	5,04	9,17	7,85	5,60	6,81	7,62	3,04	7,70	10,54	7,05
Coef.Variation	0,50	0,28	0,28	0,37	0,42	0,41	0,57	0,25	0,43	0,61	0,22	0,39	0,38
Coef d'asym	-0,81	-1,23	-0,49	0,55	0,44	-0,82	-0,27	-0,16	-0,30	0,37	-1,26	-1,10	-0,46
Coef d'aplat	-0,23	1,75	1,18	2,90	2,66	0,63	-1,04	-0,18	-0,97	0,00	1,00	0,07	-1,11

A.N.R.H (Constantine, Ouargla)

I.2.1- Présentation des résultats :

I.2.1.1- Ajustement des Précipitations mensuelles à une loi de probabilité

Dans le but d'étudier la variation de précipitations à l'échelle mensuelle, nous avons les paramètres statiques déterminés des stations représentatives et l'ajustement des données mensuelles à une loi de probabilité. Il est à noter que les précipitations mensuelles s'ajustent mieux à la loi Log normale. Le tableau ci-dessous donne les équations de Galton dans les différents mois pour la station pluviométrique de Medina.

Tableau III.15: Equations d'ajustement des précipitations mensuelles à la loi Long normale (Medina)

Mois	Droite de Galton
FoumElgerza	$\text{Log } x_p\% = 8,558 + 4,237U_p\%$
Medina	$\text{Log } x_p\% = 1,537 + 0,166U_p\%$
Takout	$\text{Log } x_p\% = 1,339 + 0,148U_p\%$
Tifelfel	$x_p\% = 13,435 + 5,035U_p\%$
Te.Abed	$x_p\% = 22,037 + 9,169U_p\%$
Manaa	$x_p\% = 19,554 + 7,847U_p\%$
Biskra	$x_p\% = 9,741 + 5,595U_p\%$
Babar	$\text{Log } x_p\% = 1,419 + 0,118U_p\%$
Khairane	$\text{Log } x_p\% = 1,191 + 0,247U_p\%$
K.S.Nadji	$\text{Log } x_p\% = 0,575 + 0,425U_p\%$
Bouhmama	$\text{Log } x_p\% = 1,524 + 0,117U_p\%$
Chalih.Oul	$x_p\% = 26,85 + 10,539U_p\%$
Boudila	$\text{Log } x_p\% = 1,226 + 0,207U_p\%$

Tableau III.16: précipitations mensuelles (mm) pour différentes périodes de retours

Période de retours	5	10	20	50	100	1000
FoumElgerza	12,12	13,99	15,53	17,26	18,42	21,65
Medina	47,57	56,29	64,68	75,63	83,94	112,40
Takout	29,90	33,81	38,28	44,01	48,30	62,68
Tifelfel	17,67	19,89	21,72	23,78	25,15	29,00
Te.Abed	29,75	33,79	37,12	40,87	43,37	50,38
Manaa	25,96	29,41	32,27	35,48	37,62	43,61
Biskra	14,45	16,92	18,95	21,24	22,77	27,05
Babar	33,08	37,31	41,21	46,09	49,66	61,19
Khairane	25,14	32,31	40,25	48,93	57,19	71,50
K.S.Nadji	8,26	13,16	18,78	28,02	36,58	57,22
Bouhmama	41,94	47,21	52,06	58,12	62,54	76,80
Chalih.Oul	35,72	40,36	44,19	48,50	51,37	59,42
Boudila	25,14	31,04	36,93	44,90	51,15	73,70

Les précipitations mensuelles calculées pour les différentes périodes de retours des stations pluviométriques ont été montrées dans le tableau ci-dessus.

I.2.1.2- Analyse des résultants de l'ACP

- A l'échelle mensuelle

Etude des précipitations à l'échelle mensuelle à été effectuées par analyse en composante principal en sou basant sur les 13 variables (stations pluviométrique) en ligne et les 12 mois d'observation en colonne.

On constate également que les valeurs positives des valeurs propres sont observées dans les trois composantes. Mais la valeur de la 2 et 3ème composante est inférieure à 1.

Les résultats d'analyse de précipitations à l'échelle mensuelle par l'ACP sont donnés dans les tableaux (III.17), (III.18), (III.19), (III.20) et (III.21).

Tableau III.17 : Moyenne, Ecart des variables initiales :

Moyennes des observations actives	8,56	36,39	22,88	13,44	22,04	19,35	9,74	27,14	17,56	5,01	34,43	26,85	18,39
Ecart-Type des observations actives	4,24	10,28	6,46	5,04	9,17	7,85	5,60	6,81	7,62	3,04	7,70	10,54	7,05

Tableau III.18: Matrice des coefficients de corrélation entre les variables :

Mois	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13
1	1,00	0,80	0,74	0,56	0,71	0,91	0,97	0,68	0,79	0,56	0,92	0,90	0,76
S2	0,80	1,00	0,92	0,72	0,88	0,88	0,76	0,84	0,82	0,62	0,94	0,91	0,81
S3	0,74	0,92	1,00	0,91	0,94	0,90	0,70	0,91	0,89	0,72	0,86	0,84	0,80
S4	0,56	0,72	0,91	1,00	0,90	0,80	0,55	0,79	0,77	0,76	0,64	0,65	0,61
S5	0,71	0,88	0,94	0,90	1,00	0,90	0,72	0,82	0,77	0,66	0,80	0,84	0,66
S6	0,91	0,88	0,90	0,80	0,90	1,00	0,87	0,82	0,85	0,66	0,92	0,94	0,79
S7	0,97	0,76	0,70	0,55	0,72	0,87	1,00	0,63	0,71	0,54	0,88	0,86	0,64
S8	0,68	0,84	0,91	0,79	0,82	0,82	0,63	1,00	0,93	0,61	0,82	0,70	0,90
S9	0,79	0,82	0,89	0,77	0,77	0,85	0,71	0,93	1,00	0,73	0,84	0,74	0,92
S10	0,56	0,62	0,72	0,76	0,66	0,66	0,54	0,61	0,73	1,00	0,64	0,62	0,65
S11	0,92	0,94	0,86	0,64	0,80	0,92	0,88	0,82	0,84	0,64	1,00	0,94	0,84
S12	0,90	0,91	0,84	0,65	0,84	0,94	0,86	0,70	0,74	0,62	0,94	1,00	0,76
S13	0,76	0,81	0,80	0,61	0,66	0,79	0,64	0,90	0,92	0,65	0,84	0,76	1,00

Tableau III.19: Valeur propre, Variances expliquées et Variances cumulées :

Axes	C ₁	C ₂	C ₃
Valeurspropre	10,47	0,99	0,59
Variances expliquées	81%	8%	5%
Variances cumulées	81%	88%	93%

Tableau III.20 : Projection des observations actives

Mois	C ₁	C ₂	C ₃
Sept	1,50	1,30	-1,37
Oct	0,61	1,54	0,76
Nov	0,73	-0,77	0,11
Déc	0,20	-0,60	-1,31
Janv	0,08	-1,55	-1,28
Févr	-0,28	-0,30	-1,08
Mars	0,58	-1,37	1,46
Avril	0,38	-0,15	0,38
Mai	0,49	0,40	1,59
Juin	-1,05	0,42	0,24
Juillet	-2,09	-0,05	0,17
Aout	-1,05	1,12	-0,64

Tableau III.21: Projection des Variables actives

Mois	C ₁	C ₂	C ₃
FoumElgerza	0,89	-0,42	0,00
Medina	0,94	-0,05	0,00
Takout	0,96	0,22	-0,06
Tifelfel	0,83	0,46	-0,26
Te.Abed	0,91	0,17	-0,29
Manaa	0,97	-0,11	-0,12
Biskra	0,85	-0,94	-0,14
Babar	0,90	0,23	0,28
Khairane	0,92	0,15	0,28
K.S.Nadji	0,75	0,34	-0,09
Bouhmama	0,95	-0,23	0,07
Chalih.Oul	0,92	-0,27	-0,14
Boudila	0,87	0,03	0,46

I.2.2- Interprétation des résultats d'ACP mensuel :

- une règle empirique consiste à retenir que les composantes correspondant à des valeurs propres supérieures à 1, donc, seulement la première valeur propre sont prises en considération (Laborde, 2005).

- A partir du tableau (III.21), on constate que la majorité des stations sont corrélées fortement avec la première composante C₁, il est évident que C₁ représente la répartition moyenne des précipitations dans l'année.

Les stations qui présentent des coefficients importants sont les stations présentes des pluviométriques importantes. Les mois qui présentes des projections avec le vecteur C₁ faibles sont les mois chauds, par contre les mois humides présentent des valeurs plus grandes.

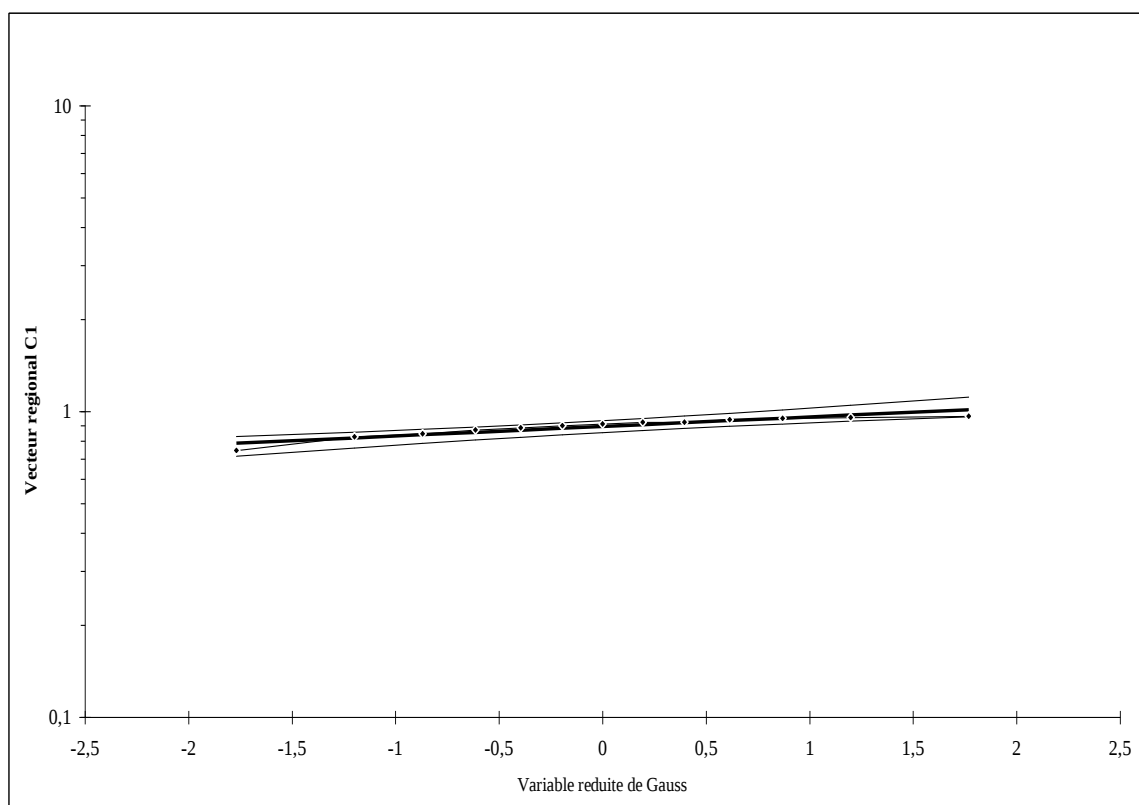
I.2.2.1- Ajustement de vecteur C_1 à une loi de probabilité :

Le vecteur C_1 s'ajuste bien à la loi log normale comme le montre le tableau ci-dessous :

Tableau III.22: Ajustement à la loi normale du vecteur régional (C_1)

Taille $n= 13$ Moy. $\log(x-x_0)= -0.049$ et $\log(x-x_0)= 0.031$.IC. à (en 95%).U Gauss=1.96

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
0,89	0,75	1	0,038	-1,769	0,75	0,79	0,72	0,83
0,94	0,83	2	0,115	-1,199	0,83	0,82	0,76	0,86
0,96	0,85	3	0,192	-0,869	0,85	0,84	0,79	0,88
0,83	0,87	4	0,269	-0,615	0,87	0,85	0,81	0,89
0,91	0,89	5	0,346	-0,395	0,89	0,87	0,82	0,91
0,97	0,90	6	0,423	-0,194	0,90	0,88	0,84	0,92
0,85	0,91	7	0,500	0,000	0,91	0,89	0,85	0,94
0,90	0,92	8	0,577	0,194	0,92	0,91	0,87	0,95
0,92	0,92	9	0,654	0,395	0,92	0,92	0,88	0,97
0,75	0,94	10	0,731	0,615	0,94	0,93	0,89	0,99
0,95	0,95	11	0,808	0,869	0,95	0,95	0,91	1,01
0,92	0,96	12	0,885	1,199	0,96	0,97	0,93	1,05
0,87	0,97	13	0,962	1,769	0,97	1,01	0,96	1,12

**Figure (III.5) :** Ajustement du vecteur régional C_1 à une loi normal

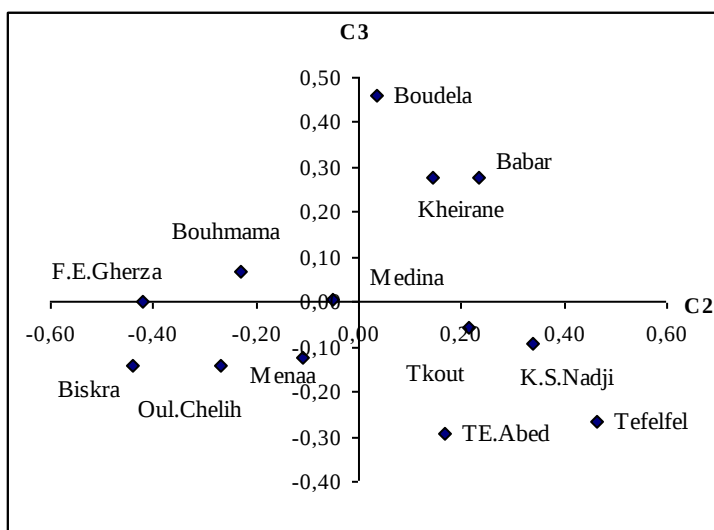
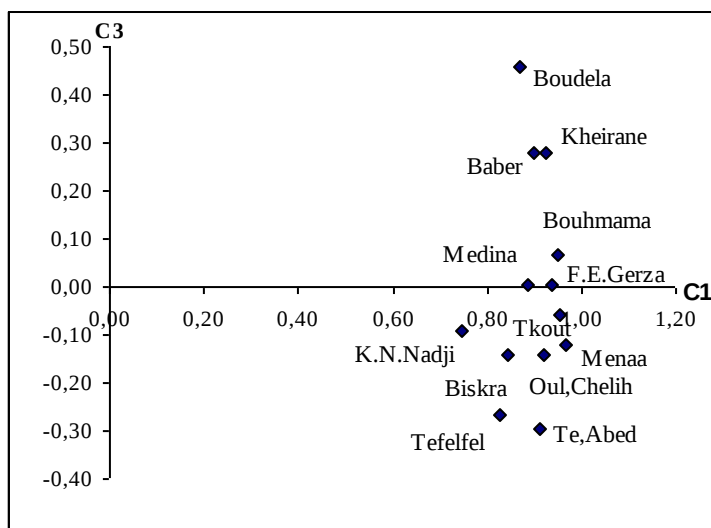
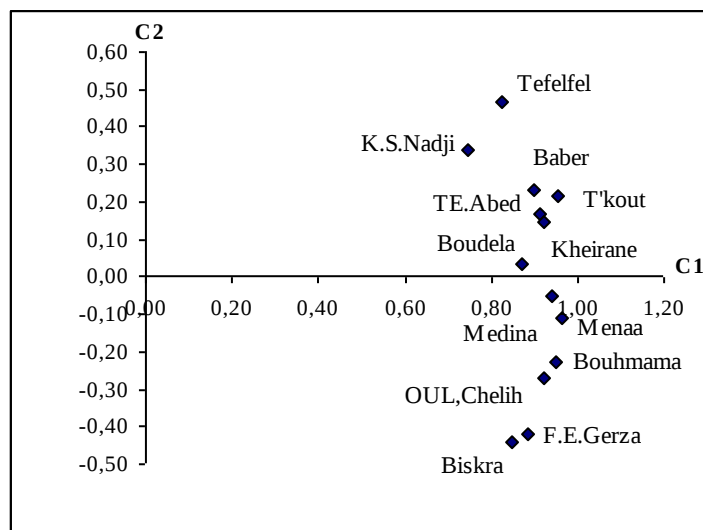


Figure (III.6) : Projection des variables sur le plan1-2,2-3, 1-3

L'analyse des résultats d'ACP de la variation mensuelle des précipitations présentées sur la figure (III.6), montre que les précipitations mensuelles s'organisent en 02 groupes :

-le premier groupe composé les stations : Takout, Tefelfel, Te.Abed, Baber, Keirane, K.S.Nadji et Boudila, leurs regroupement moyenne peut être expliqué par leurs altitude comprise entre 450 à 1450 m.

- Le deuxième groupe composé les stations : Medina, Menna, Bouhmama et OuldChalih, leurs regroupement moyenne peut être expliqué par leurs altitude comprise entre 983 à 1451. Les précipitations sont importantes et sensiblement constantes.

- Les stations de Foum El Gherza et Biskra,leur altitude supérieures à 100 m, les précipitations sont très faibles.

Les mois qui présentent des projections avec le vecteur C_1 faibles sont les mois secs par contre les mois humidesprésentdes valeurs plus grandes.

On constate que presque toutes les observations (actives) sont corrélées fortement et positivement avec la première composante sauf les moins Février, Juin, Juillet et Aout (figureIII.7). Il est évident que le vecteur (C_1) représente aussi, la répartition moyenne des précipitations dans le bassin Oued Abiod.

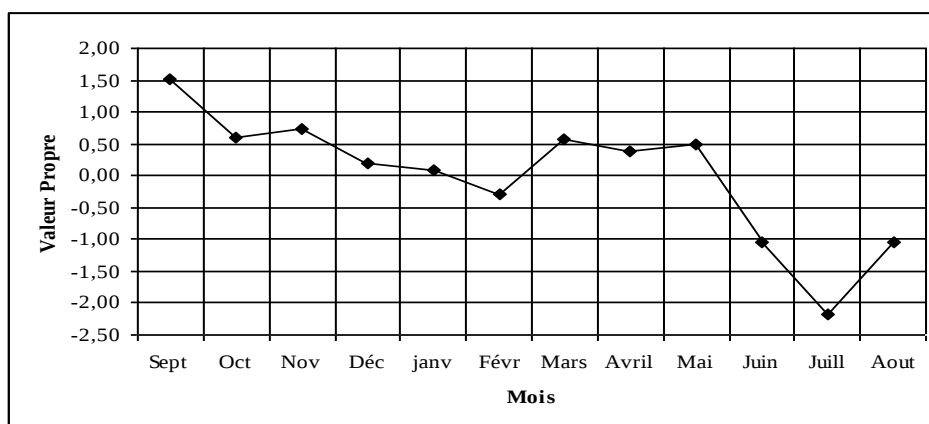


Figure (III.7) : Projection des observations sur le première composante C_1

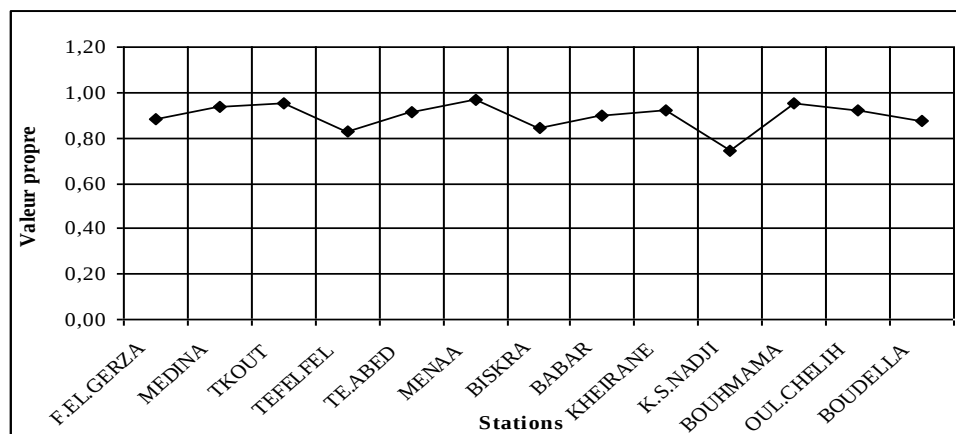


Figure (III.8) : Projection des Variables sur le première composante C_1

On remarque une forte variation de précipitation à l'échelle mensuelle.

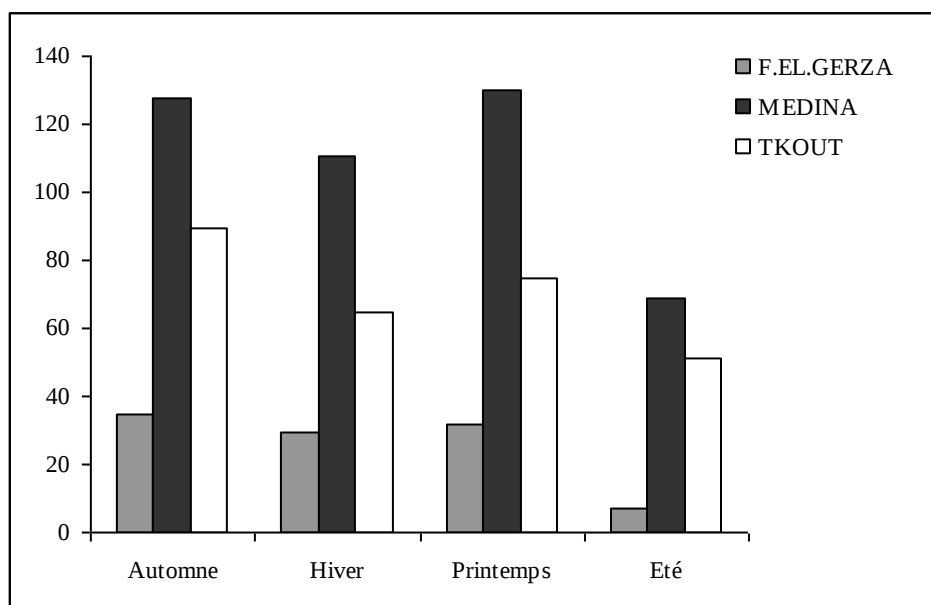


Figure (III.9) : Variation saisonnière des précipitations saisonnières

Les données La zone subit l'influence du climat méditerranéen (semi aride) au nord, avec des précipitations de l'ordre 450mm/an, et des périodes d'enneigement d'environ 25 jours par an. Sur la partie médiane, on observe un climat steppique de 200 à 300 mm de précipitations. Au sud un climat hyperaride, avec des précipitations ne dépassant pas les 150mm. Les saisons les plus arrosées, sont l'Automne (Septembre, octobre et novembre) et le Printemps (Mars, Avril et Mai) et enfin les deux tiers de la saison de l'hiver (Janvier, Décembre). Les pluies orageuses sont assez fréquentes au mois de Juin et Aout, mais moins abondantes. La variabilité mensuelle des précipitations est forte alors que celle annuelle est faible.

Dans la partie amont du sous bassin (station de Médina), règne un régime à climat subhumide durant la période Septembre-Octobre et la période Avril-Mai. Entre les deux périodes la région connaît un régime humide s'étalant du mois de novembre à mars. Un régime sec s'étalant durant les mois de juin et Août. Le régime climatique devient très sec au mois de juillet.

Dans la région médiane (station de T'Kout), un régime sec règne dans les mois Septembre, Octobre, Avril et Mai, intercalé d'une période subhumide du mois de novembre au mois de janvier et le moi de Mars. Un régime très sec s'étalant durant les mois de Juin et Aout.

Par contre, la région aval (station Foum El Gherza) connaît un régime sec, durant les mois de décembre et mars alors que le reste de l'année est très sec.

I.3- Ajustement des précipitations journalières à une loi de probabilité

L'étude des précipitations journalière s'avère nécessaire pour pouvoir étudier l'irrégularité des précipitations, le tableau (III.23) donne les pluies maximales des stations pluviométriques étudiées.

L'ajustement des précipitations maximales a donnée les résultats présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau III.23: précipitation maximales journalières en mm aux stations représentatives.

Année	F.E.Gherza	Medina	Takout	Tifelfel	Te.Abed	Manaa	Biskra	Babar	Khairane	Nadji	Bouhmama	Chalih	Boudila
1970/71	10,36	22,70	40,00	12,65	55,00	24,60	19,27	24,20	8,00	16,30	47,70	21,10	10,70
1971/72	14,00	53,70	18,00	20,23	120,00	47,50	8,45	33,50	19,10	13,30	29,20	32,40	40,50
1972/73	22,80	95,00	45,00	8,90	48,00	42,50	11,37	35,60	57,50	12,00	40,40	68,00	36,70
1973/74	12,10	25,20	4,50	8,00	17,50	33,10	16,80	37,80	35,70	8,00	87,60	43,10	19,20
1974/75	12,30	36,00	10,20	23,00	24,60	37,10	35,00	21,00	21,50	12,80	56,00	48,00	14,70
1975/76	20,50	35,90	15,50	16,00	34,50	21,90	27,80	41,60	24,50	11,00	28,00	26,30	25,30
1976/77	33,60	60,40	69,90	54,00	41,00	98,40	54,20	40,50	44,00	14,00	63,30	27,40	34,30
1977/78	8,50	33,00	24,60	30,20	36,00	28,60	15,90	40,60	95,20	11,20	82,00	20,50	26,20
1978/79	10,00	33,10	33,50	24,00	31,60	15,60	17,30	35,60	58,00	24,40	21,60	35,10	22,00
1979/80	7,00	50,10	34,70	24,00	37,00	27,90	49,00	76,60	65,00	9,00	26,00	46,90	48,50
1980/81	21,69	58,00	54,00	32,00	28,00	36,30	23,00	33,90	22,20	8,00	30,00	40,50	35,36
1981/82	27,50	43,00	24,40	17,50	59,60	35,20	9,30	55,50	47,00	4,00	25,70	27,70	51,70
1982/83	22,00	67,20	18,30	24,00	32,80	32,80	32,30	23,10	30,50	18,50	29,10	47,10	21,50
1983/84	7,80	25,00	30,20	24,00	24,60	50,20	3,80	40,70	32,00	7,87	60,20	68,60	34,00
1984/85	19,50	42,40	27,00	40,00	41,00	41,30	19,70	18,60	48,00	12,00	71,50	49,50	50,90
1985/86	30,00	72,00	28,60	13,00	32,80	41,20	23,00	38,50	65,90	5,00	57,50	41,90	54,00
1986/87	20,00	24,70	29,70	16,00	46,50	39,30	24,60	48,20	17,50	10,00	18,50	36,90	23,00
1987/88	16,00	26,50	19,70	14,00	32,80	29,60	15,50	29,70	30,90	16,00	37,20	41,20	20,80
1988/89	26,30	58,10	59,20	15,50	64,00	27,10	10,60	26,90	14,50	23,00	42,80	79,60	22,50
1989/90	44,00	41,00	48,10	24,50	41,00	28,10	16,00	42,20	76,30	9,50	72,00	56,10	30,80
1990/91	27,50	46,50	30,50	13,50	41,00	8,20	50,00	27,90	18,00	18,52	32,20	26,30	26,50
1991/92	35,00	36,30	36,60	15,00	44,60	38,80	29,00	36,60	39,00	15,18	32,30	29,40	21,50
1992/93	20,50	39,20	18,80	18,00	13,80	16,40	50,50	22,10	24,00	19,06	37,30	36,20	16,00
1993/94	16,00	28,00	17,20	18,00	33,80	22,10	14,20	22,80	23,00	4,00	67,70	29,80	32,00
1994/95	12,50	24,00	41,10	41,50	17,70	16,50	26,60	60,20	26,50	7,00	33,80	42,50	20,80
1995/96	34,00	51,00	39,80	44,00	62,60	38,00	26,00	63,30	41,30	4,00	74,90	16,70	28,00
1996/97	29,50	45,40	10,70	26,50	17,90	14,40	43,50	24,50	26,40	4,50	38,10	17,00	35,00
1997/98	33,50	43,70	56,00	32,00	70,60	60,70	41,20	45,40	32,00	16,50	75,00	50,20	60,00
1998/99	23,50	33,10	25,00	10,20	18,90	19,10	52,50	20,20	21,60	18,00	42,80	13,70	13,50
1999/00	28,20	44,70	14,40	26,00	37,10	18,90	23,10	31,50	24,10	19,00	42,00	15,70	45,00
2000/01	22,10	27,30	36,60	18,00	24,80	31,60	25,50	12,50	29,00	16,00	18,00	25,50	60,70
2001/02	17,20	37,10	26,80	56,00	22,50	33,40	17,30	34,50	88,90	14,00	32,00	23,70	67,50
2002/03	64,00	67,00	27,60	48,00	26,60	30,10	39,80	33,50	54,00	36,00	61,40	36,50	48,20
2003/04	67,00	74,20	49,20	7,00	41,00	40,20	66,30	40,50	90,10	30,00	60,00	40,20	58,90
2004/05	29,00	40,00	57,00	32,00	36,80	36,90	29,50	47,50	44,30	31,50	43,80	66,10	49,60
2005/06	19,10	160,00	32,50	17,00	16,40	75,00	40,80	20,50	13,50	40,00	74,50	16,80	33,80
2006/07	11,50	45,00	20,60	9,50	37,80	50,80	42,30	38,50	24,00	19,00	29,20	16,50	32,10
2007/08	8,30	108,60	40,10	15,90	18,40	22,60	11,50	22,50	23,50	16,00	82,30	45,20	49,40
2008/09	25,30	47,80	62,10	38,00	8,20	29,50	24,40	30,00	42,00	20,00	56,70	42,50	32,90
2009/10	24,80	39,90	29,30	15,00	12,20	80,20	17,60	26,50	22,50	24,00	40,50	42,50	27,40
Max	67,00	160,00	69,90	56,00	120,00	98,40	66,30	76,60	95,20	40,00	87,60	79,60	67,50
Min	7,00	22,70	4,50	7,00	8,20	8,20	3,80	12,50	8,00	4,00	18,00	13,70	10,70
Moyenne	23,36	48,55	32,68	23,56	36,28	35,54	27,61	35,13	38,03	15,45	47,52	37,27	34,54
Ecart-type	13,14	26,06	15,51	12,58	20,08	18,11	14,93	13,19	22,00	8,53	19,77	15,94	14,69
Coef variance	0,56	0,54	0,47	0,53	0,55	0,51	0,54	0,38	0,58	0,55	0,42	0,43	0,43
Coef d'assy	1,64	2,48	0,51	1,03	1,99	1,60	0,70	1,02	1,17	1,00	0,42	0,66	0,48
Coef d'aplat	3,73	8,15	-0,28	0,41	6,71	3,43	-0,24	1,54	0,71	1,08	-1,03	0,21	-0,69

A.N.R.H (Constantine, Ouargla)

Tableau III.24: précipitation maximales journalières et leurs fréquences expérimentales station de Foug El Gherza

Taille n=40 Moy.log(x-x0)=1.264 et log(x-x0)=0.327 .IC. à (en 95%) U Gauss=1.96

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieur	Borne supérieur
10,36	7,00	1	0,013	-2,242	7,00	6,10	4,13	7,96
14,00	7,80	2	0,038	-1,781	7,80	7,81	5,62	9,86
22,80	8,30	3	0,063	-1,534	8,30	8,92	6,61	11,07
12,10	8,50	4	0,088	-1,357	8,50	9,81	7,42	12,05
12,30	10,00	5	0,113	-1,213	10,00	10,59	8,14	12,91
20,50	10,36	6	0,138	-1,092	10,36	11,31	8,80	13,70
33,60	11,50	7	0,163	-0,984	11,50	11,98	9,43	14,44
8,50	12,10	8	0,188	-0,887	12,10	12,63	10,03	15,15
10,00	12,30	9	0,213	-0,798	12,30	13,25	10,61	15,85
7,00	12,50	10	0,238	-0,714	12,50	13,85	11,17	16,53
21,69	14,00	11	0,263	-0,635	14,00	14,45	11,73	17,21
27,50	16,00	12	0,288	-0,560	16,00	15,05	12,28	17,89
22,00	16,00	13	0,313	-0,488	16,00	15,64	12,83	18,57
7,80	17,20	14	0,338	-0,419	17,20	16,24	13,38	19,26
19,50	19,10	15	0,363	-0,351	19,10	16,84	13,93	19,97
30,00	19,50	16	0,388	-0,285	19,50	17,44	14,48	20,69
20,00	20,00	17	0,413	-0,221	20,00	18,06	15,04	21,43
16,00	20,50	18	0,438	-0,157	20,50	18,69	15,61	22,19
26,30	20,50	19	0,463	-0,094	20,50	19,33	16,18	22,98
44,00	21,69	20	0,488	-0,031	21,69	19,99	16,77	23,80
27,50	22,00	21	0,513	0,031	22,00	20,68	17,37	24,65
35,00	22,10	22	0,538	0,094	22,10	21,38	17,99	25,55
20,50	22,80	23	0,563	0,157	22,80	22,12	18,63	26,49
16,00	23,50	24	0,588	0,221	23,50	22,89	19,29	27,49
12,50	24,80	25	0,613	0,285	24,80	23,70	19,98	28,55
34,00	25,30	26	0,638	0,351	25,30	24,55	20,70	29,69
29,50	26,30	27	0,663	0,419	26,30	25,46	21,46	30,91
33,50	27,50	28	0,688	0,488	27,50	26,43	22,26	32,23
23,50	27,50	29	0,713	0,560	27,50	27,47	23,11	33,67
28,20	28,20	30	0,738	0,635	28,20	28,60	24,02	35,25
22,10	29,00	31	0,763	0,714	29,00	29,84	25,01	37,00
17,20	29,50	32	0,788	0,798	29,50	31,21	26,09	38,98
64,00	30,00	33	0,813	0,887	30,00	32,74	27,28	41,23
67,00	33,50	34	0,838	0,984	33,50	34,50	28,63	43,84
29,00	33,60	35	0,863	1,092	33,60	36,55	30,18	46,95
19,10	34,00	36	0,888	1,213	34,00	39,02	32,02	50,77
11,50	35,00	37	0,913	1,357	35,00	42,13	34,30	55,70
8,30	44,00	38	0,938	1,534	44,00	46,36	37,33	62,56
25,30	64,00	39	0,963	1,781	64,00	52,92	41,92	73,57
24,80	67,00	40	0,988	2,242	67,00	67,79	51,90	99,98

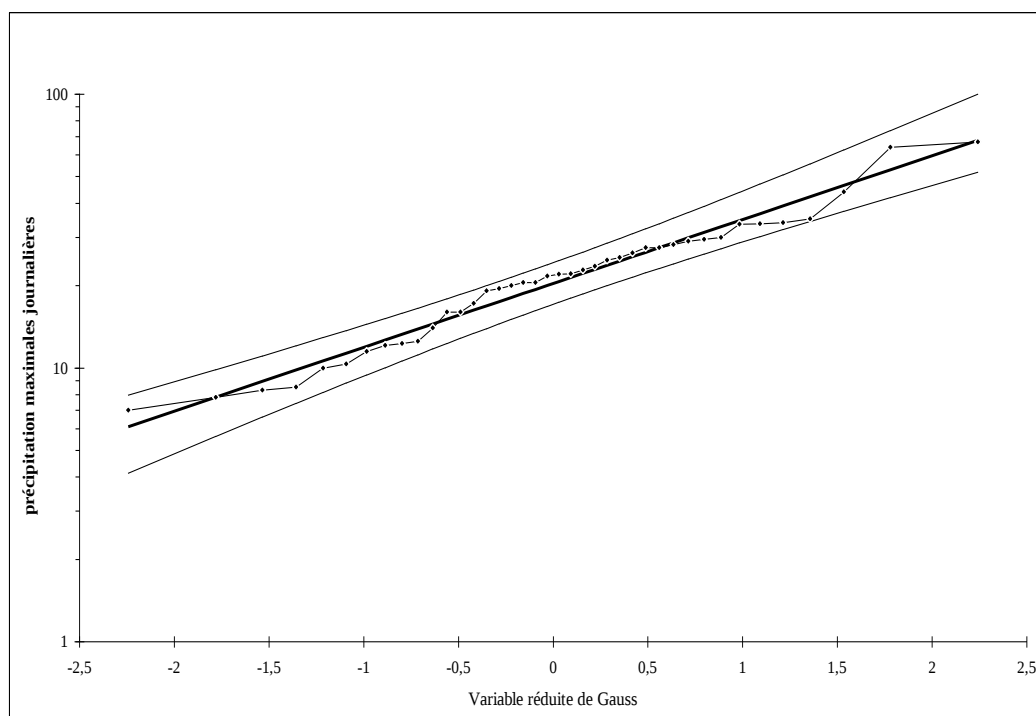


Figure (III.10) : Ajustement des précipitations maximales journalières à la loi Log normale (Foum El Gerza)

Les équations de la droite de Galton sont données dans le tableau ci-dessous :

Tableau III.25: Equations de la droite de Galton : précipitations maximales journalières

Stations	Droite de Galton
FoumElgerza	$\text{Log } x_p\% = 1,308 + 0,233U_p\%$
Medina	$\text{Log } x_p\% = 1,642 + 0,186U_p\%$
Takout	$\text{Log } x_p\% = 1,457 + 0,243U_p\%$
Tifelfel	$\text{Log } x_p\% = 1,315 + 0,228U_p\%$
Te.Abed	$\text{Log } x_p\% = 1,503 + 0,228U_p\%$
Menaa	$\text{Log } x_p\% = 1,501 + 0,212U_p\%$
Biskra	$\text{Log } x_p\% = 1,372 + 0,262U_p\%$
Babar	$\text{Log } x_p\% = 1,517 + 0,161U_p\%$
Khairane	$\text{Log } x_p\% = 1,514 + 0,243U_p\%$
K.S.Nadji	$\text{Log } x_p\% = 1,121 + 0,258U_p\%$
Bouhmama	$\text{Log } x_p\% = 1,638 + 0,188U_p\%$
Chalih.Oul	$\text{Log } x_p\% = 1,531 + 0,195U_p\%$
Boudila	$\text{Log } x_p\% = 1,498 + 0,196U_p\%$

Les précipitations max calculées pour les différentes périodes de retours sont montés dans le tableau (III.25).

Tableau III.26: Précipitations maximales pour différentes périodes de retours :

Période de retours	5	10	20	50	100	1000
FoumElgerza	31,95	40,47	49,20	61,29	70,95	106,94
Medina	62,98	76,08	88,92	105,98	114,13	165,32
Takout	45,90	58,69	71,90	90,35	105,21	161,17
Tifelfel	32,90	40,43	48,92	60,63	69,96	104,44
Te.Abed	49,50	62,38	75,15	93,62	108,04	161,40
Manaa	47,79	59,23	70,70	86,28	98,53	142,93
Biskra	39,18	51,12	63,67	81,52	96,11	152,47
Babar	44,92	52,89	60,51	70,42	77,91	103,40
Khairane	52,31	66,90	81,96	103,01	119,96	183,82
K.S.Nadji	21,78	28,30	35,13	44,80	52,68	82,98
Bouhmama	62,65	75,83	88,78	106,01	119,31	166,51
Chalih.Oul	49,52	60,32	71,00	85,29	96,38	135,73
Boudila	45,94	56,01	65,98	79,32	89,68	126,49

II.1- Courbes Intensité-Durée-Fréquence

La construction des courbes IDF nécessite le calcul des pluies courtes de 24 heures et la connaissance des exposants climatiques. Pour des fréquences données, la pluie $P(t)p\%$ est donnée :

$$P(t)_{p\%} = P_{\max,jp\%} \left(\frac{t}{24} \right)^b$$

La pluie maximale journalière probable $P_{\max,jp\%}$ est déterminée par l'ajustement de pluies maximales journalières à une loi statique (Gumble, Log normale)

Avec :

t : Durée de la pluie ;

b : Exposant climatique ;

$P_{\max,jp\%}$: pluie maximale probable d'une fréquence donnée.

L'intensité de la pluie est déterminée par la formule de Montanari :

$$I_{P\%} = \left[\frac{P_{p\%}}{24} \right] \left(\frac{t}{24} \right)^{b-1}$$

Avec :

I : Intensité d'une fréquence (mm/h) ;

$P_{p\%}$: La pluie pour une fréquence ($P_{\%}$) ;

b : Exposant climatique.

Les résultats de calcul sont présentés dans le tableau (III.26)

Tableau (III.26) : Pluie et Intensité de courtes durées de la station représentative (Foum El Gherza)

Périodes de retours	Temps (h)	0,25	0,50	0,75	1	1,5	2	6	9	12	18	24	36	72
5 ans	Pluie (mm)	13,60	15,49	16,71	17,63	19,02	20,07	24,65	26,60	28,06	30,28	31,95	34,46	39,24
	Intensité (mm/h)	23,16	15,02	11,65	9,73	7,55	6,31	3,17	2,46	2,05	1,59	1,33	1,03	0,67
10 ans	Pluie (mm)	17,24	19,62	21,17	22,34	24,09	25,43	31,23	33,68	35,55	38,35	40,47	43,47	49,69
	Intensité (mm/h)	29,37	19,03	14,76	12,33	9,56	7,98	4,02	3,12	2,60	2,02	1,68	1,31	0,85
20 ans	Pluie (mm)	20,95	23,85	25,73	27,15	29,30	30,91	37,96	40,95	43,22	46,62	49,2	53,07	60,42
	Intensité (mm/h)	35,69	23,13	17,94	14,98	11,63	9,71	4,88	3,78	3,16	2,45	2,05	1,59	1,03
50 ans	Pluie (mm)	26,10	29,72	32,06	33,83	36,49	38,51	47,29	51,02	53,84	58,09	61,29	66,12	75,27
	Intensité (mm/h)	44,46	28,82	22,36	18,67	14,48	12,10	6,08	4,72	3,94	3,06	2,55	1,98	1,28
100 ans	Pluie (mm)	30,22	34,40	37,12	39,16	42,25	44,58	54,75	59,06	62,32	67,23	70,95	76,54	87,13
	Intensité (mm/h)	51,48	33,36	25,88	21,61	16,77	14,01	7,04	5,46	4,56	3,54	2,96	2,29	1,49
1000 ans	Pluie (mm)	45,55	51,85	55,93	59,03	63,68	67,19	82,52	89,02	93,94	101,34	106,94	115,36	131,33
	Intensité (mm/h)	77,60	50,28	39,00	32,58	25,27	21,11	10,61	8,23	6,88	5,34	4,46	3,46	2,24

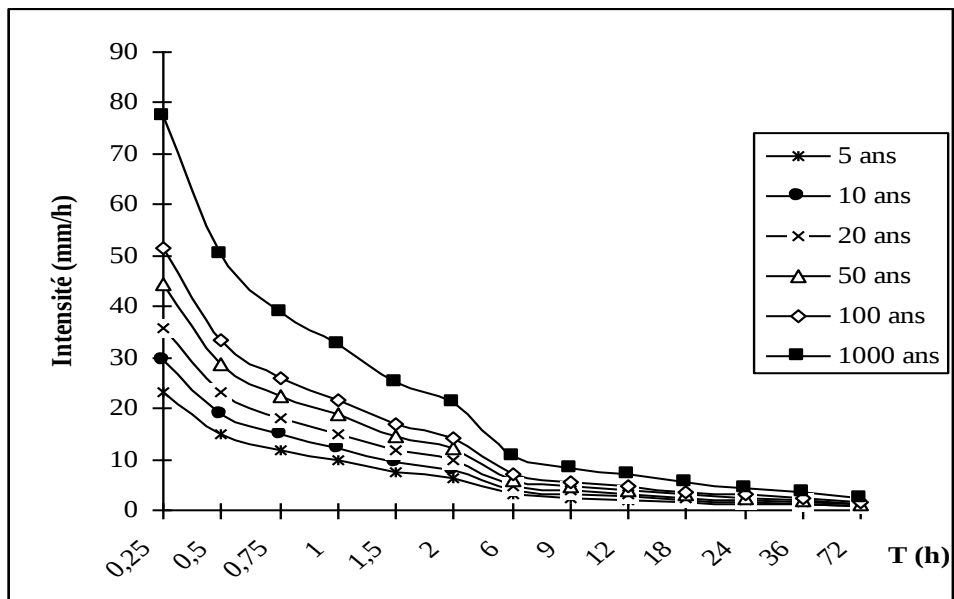


Figure (III.11) : Courbe IDF de la station de Foug El Gherza

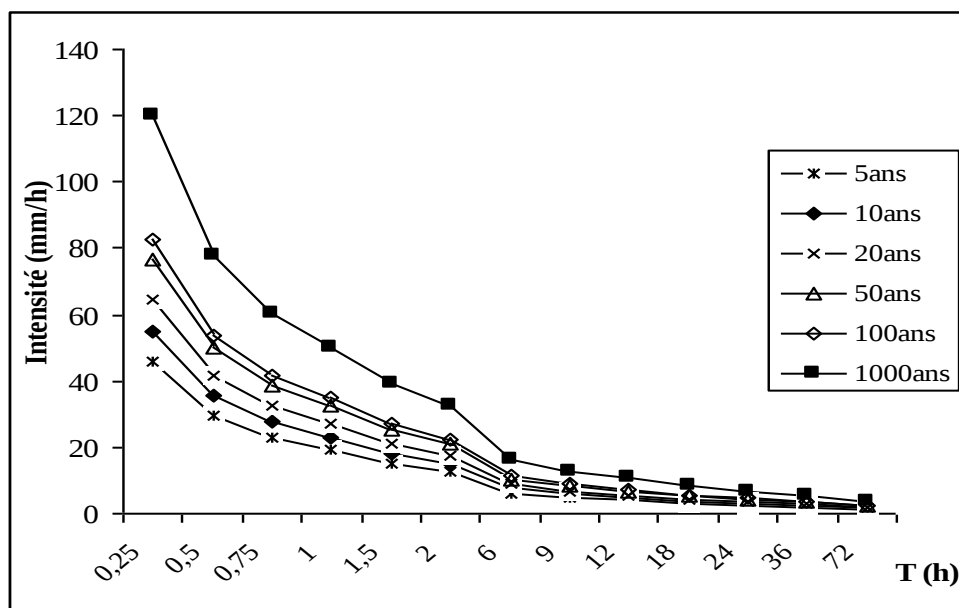


Figure (III.12) : Courbe IDF de la station de Mdina

Conclusion :

L'étude des variations interannuelles et inter saisonnières des précipitations s'avère essentielle pour connaître l'écoulement saisonnier et le comportement hydrologique annuel d'un bassin versant (Ghachi, 1986). En particulier, le régime d'un cours d'eau est en dépendance directe de la pluviométrie, de sa répartition saisonnière et de sa variabilité spatiale et temporelle.

Une analyse en composante principale (ACP) permet aussi de visualiser l'information de précipitation à différentes échelles temporelles en montrant le climat aride de la région.

Une variation remarquable de la projection des observations sur la 1^{ère} composante C_1 pendant les années de mesure, elle peut être expliquée par la variation des précipitations durant (1970/71 à 2009/10), les plus grandes valeurs correspondant aux années humides (1976, 1991, 1995, 2003 et 2009). Par contre les faibles valeurs de C_1 correspondent aux années sèches (1973, 1993, 1996 et 2000).

Chapitre IV

Analyse des écoulements

ETUDE DES ECOULEMENT DU BASSIN VERSANT

I-Introduction

Par suite du caractère des variables d'entrée (précipitations), l'écoulement a tendance à varier dans le temps. Il est important de connaître l'étendue de ces variations afin d'établir les caractéristiques de la dynamique fluviaux-sédimentaire dans un bassin versant situé en zone semi-aride à aride.

La répartition de l'écoulement dans l'année dépend des variations climatiques saisonnières. Dans la plupart des applications, la distribution mensuelle des débits est suffisante et peut se déduire des variations des paramètres météorologiques. Pour quelques problèmes, il peut être nécessaire de considérer la répartition des débits à l'échelle journalière.

L'étude de la variation saisonnière des débits moyens mensuels s'avère indispensable, pour mieux connaître les fluctuations des débits.

II- DEBIT MOYENS ANNUELS :

L'écoulement moyen annuel ou l'abondance annuelle est une notion fondamentale en hydrologie. C'est le volume d'eau écoulé en 365 jours à la sortie d'un bassin. Le module brut ou absolu est généralement exprimé en m^3/s et le module spécifique se traduit en $\text{Ls}^{-1}\text{km}^{-2}$.

Nous disposons une série de données hydrométriques représentant 23 ans d'observation

Le paramètre statistique le plus couramment utilisé pour exprimer la variabilité de l'écoulement d'un cours d'eau est l'écart-type ou son dérivé le coefficient de variation.

Tableau IV.1: Variation interannuelle de l'écoulement de station hydrométrique

Station hydrométrique	Paramètres de variation	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout
Mchounech	Qmoy (m^3/s)	0,14	0,08	0,24	0,33	0,46	0,49	0,35	0,28	0,54	0,27	0,4	0,7
	Ecart type σ	0,17	0,14	0,31	0,43	0,65	0,54	0,31	0,46	0,25	0,31	0,36	0,96
	Cv	1,21	1,75	1,29	1,30	1,41	1,10	0,88	1,64	0,46	1,15	0,90	1,37

Station hydrométrique	Paramètres de variation	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout
Mchounech	Qmax (m^3/s)	52,07	44,4 2	17,96	5,19	3,68	2,33	11,26	9,11	14,16	18,59	4,36	19,15
	Ecart type σ	96,08	77,1 1	36,06	12,67	8,21	3,96	23,88	16,42	29,12	43,25	9,22	39,91
	Cv	1,85	1,74	2,01	2,44	2,23	1,70	2,12	1,80	2,06	2,33	2,12	2,08

Station hydrométrique	Paramètres de variation	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout
Mchounech	Qmin (m ³ /s)	0,95	0,36	0,20	1,01	0,92	0,17	0,39	1,19	0,42	0,04	0,08	0,71
	Ecart type σ	2,96	0,79	0,35	3,20	2,71	0,20	0,66	3,87	1,06	0,33	0,32	2,26
	Cv	3,13	2,20	1,76	3,16	2,96	1,23	1,70	3,24	2,54	9,11	3,78	1,37

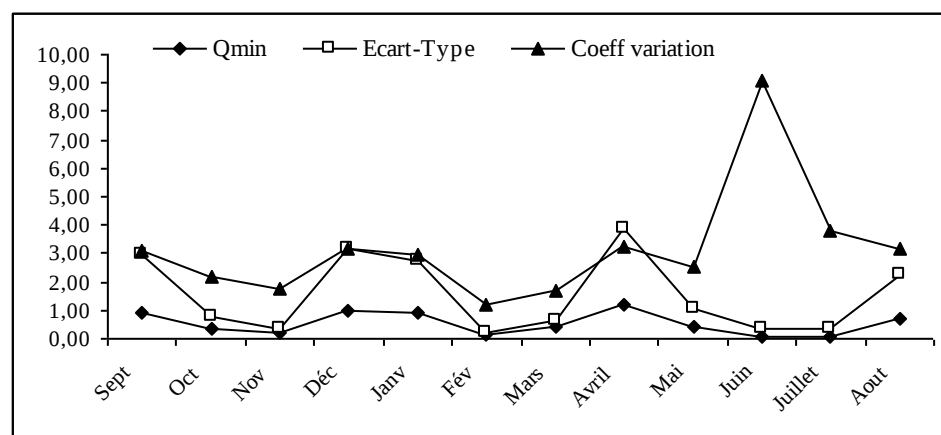
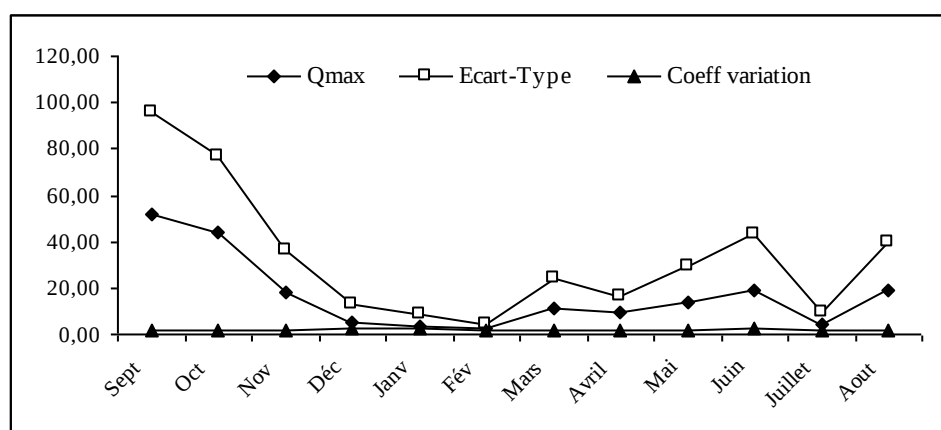
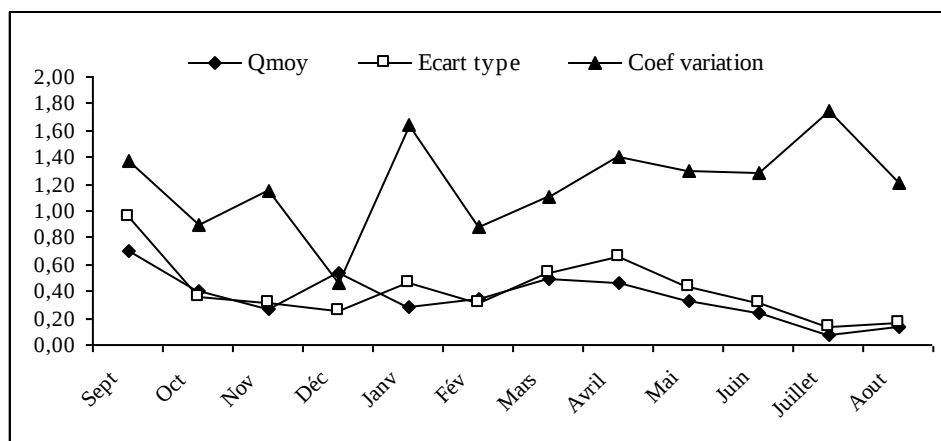


Figure (IV.1) : Variation interannuelle de l'écoulement de station hydrométrique

II.2.1- Variations des débits annuels moyens bruts

Les données de la variation interannuelle de l'écoulement de la station hydrométrique étudiée montrent, une irrégularité mensuelle et saisonnière des débits durant la période (1972/1993).

La variation annuelle des débits au niveau de station est illustrée par le tableau (IV.2). L'analyse de ce tableau montre que l'oued Abiod à Mchouneche débite $0,33 \text{ m}^3/\text{s}$ avec une aire de réception de 1320 km^2 ; débit relativement faible qui s'explique par la présence du barrage du Foum El Gherza en aval ainsi que le caractère des formations géologiques en amont.

Les caractéristiques de l'écoulement à savoir les débits minimum, maximum et moyen annuel, le module spécifique (Mo), l'hydraulicité (Ki), la lame d'eau ruisselée (Lr), le coefficient d'écoulement, ainsi que les caractéristiques statistiques de la station hydrométrique de Chounech sont calculées et présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau IV.2: Caractéristiques de l'écoulement du bassin à la station de Chounech

ANNEE	Qmin (m^3/s)	Qmax (m^3/s)	Qmoy (m^3/s)	Apport (hm^3)	Mo (l/s/Km^2)	Lr (mm)	Ki	Ce
72/73	0,01	92,50	0,95	29,67	0,72	22,47	2,88	0,21
73/74	0,05	5,00	0,28	8,75	0,21	6,63	0,85	0,12
74/75	0,01	28,18	0,41	12,93	0,31	9,80	1,24	0,12
1975/76	0,02	58,20	0,51	16,13	0,39	12,22	1,55	0,10
1976/77	0,00	76,06	0,72	22,57	0,55	17,10	2,18	0,11
1977/78	0,00	131,00	0,20	6,41	0,15	4,86	0,61	0,14
1978/79	0,01	15,82	0,21	6,65	0,16	5,04	0,64	0,12
1979/80	0,00	148,00	0,46	14,54	0,35	11,02	1,40	0,18
1980/81	0,00	178,20	0,50	15,66	0,38	11,86	1,52	0,10
1981/82	0,00	53,90	0,15	4,60	0,11	3,48	0,45	0,04
1982/83	0,00	242,15	0,30	9,49	0,23	7,18	0,91	0,05
1983/84	0,00	129,00	0,21	6,54	0,16	4,95	0,64	0,17
1984/85	0,00	127,66	0,39	12,31	0,30	9,33	1,18	0,07
1985/86	0,00	96,50	0,32	10,10	0,24	7,65	0,97	0,06
1986/87	0,00	63,06	0,30	9,49	0,23	7,18	0,91	0,08
1987/88	0,00	19,96	0,11	3,53	0,08	2,67	0,33	0,06
1988/89	0,00	91,00	0,29	8,99	0,22	6,81	0,88	0,06
1989/90	0,00	297,00	0,64	19,84	0,48	15,03	1,94	0,10
1990/91	0,04	3,00	0,17	5,49	0,13	4,16	0,52	0,04
1991/92	0,01	1,09	0,11	3,58	0,08	2,71	0,33	0,02
1992/93	0,01	5,50	0,14	4,33	0,11	3,28	0,42	0,03
1993/94	0,00	1,49	0,10	3,10	0,08	2,35	0,30	0,04
1994/95	0,00	14,70	0,15	4,83	0,11	3,66	0,45	0,05
Moyenne	0,01	81,69	0,33	10,42	0,25	7,88	1,00	0,09
Max	0,05	297,00	0,95	29,67	0,72	22,47	2,88	0,21
Min	0,00	1,09	0,10	3,10	0,08	2,35	0,30	0,02
Médiane	0,00	63,06	0,29	8,99	0,22	6,81	0,88	0,08
Ecart type	0,01	80,06	0,22	6,81	0,16	5,16	0,66	0,05
Coef variat	1	0,98	0,66	0,65	0,64	0,65	0,66	0,55
Coef d'asym	5,33	1,29	1,23	1,34	1,22	1,35	1,46	0,76
Coef d'apalat	5,09	1,17	1,58	1,58	1,58	1,58	1,60	-0,10

A.N.R.H Constantine

Tableau IV.3: valeurs caractéristiques des modules au niveau des bassins versants

stations	Moyenne (m3/s)	Max (m3/s) (année)	Min (m3/s) (année)	Nbr d'années> moyenne	Coeff. Immodération $R=Q_M/Q_m$
Mchounech	0,33	0,95 (72/73)	0,1 (93/94)	8 sur 23	9,5

II.2.2-Variations des débits annuels moyens spécifiques M_o (l/s/km²) :

Afin de mieux cerner la variation de l'écoulement dans le sous bassin, nous utiliserons les débits spécifiques, varie d'une part en fonction de la distribution des précipitations et d'autre part en fonction des caractéristiques physiographiques du bassin, à savoir la lithologie, le couvert végétal.

Le bassin Oued Abiod, s'étend sur 1320km², reçoit moins de précipitations, son débit spécifique est de 0,25 l/s/km² correspondant à une lame d'eau écoulée de 7,88mm. Ces valeurs relativement faibles du débit spécifique au niveau du sous bassin, sont dues à la taille et la lithologie du bassin.

II.2.3- L'irrégularité inter annuelle des écoulements et leur répartition statistique :

L'irrégularité inter annuelle de l'écoulement peut être mesurée par les variations de l'hydraulicité, c'est-à-dire du débit d'une année particulière Q_i au débit moyen d'une longue série d'observation (Q_{moy}). Elle peut être complétée par d'autres critères statistiques simples tels que le coefficient de variation, ainsi que le coefficient d'immodération (R) donné par le rapport des modules extrêmes ($R = Q_M/Q_m$).

II.2.3.1- L'hydraulicité

L'écoulement exceptionnel de l'année 72/73 est traduit par un coefficient d'hydraulicité de 2,33 cette valeur peut être expliquée par la forte pluviométrie observée dans cette année. En revanche, les plus faibles valeurs de l'hydraulicité ont été atteintes à l'année sèche (1993/94), caractérisée par un déficit pluviométrique remarquable.

Les valeurs du coefficient d'hydraulicité permettent de distinguer 15 années sèches, 2 années humides et 6 années moyennes.

Les valeurs de l'hydraulicité qui sont en majorité inférieures à la moyenne annuelle.

Certaines valeurs des modules annuels sont élevées, conséquence aux fortes crues qu'avait connues ce bassin.

II.2.3.2- Coefficient de variation

La variation inter annuelle peut être aussi précisée par le coefficient de variation (C_v), cette variabilité est liée à l'alimentation essentiellement pluviale irrégulière de cours d'eau, d'autant plus qu'il s'agit d'une période climatique « sèche ».

Les valeurs du coefficient de variation C_v sont comprises entre (0,46 et 1,75), les valeurs du coefficient d'asymétrie varié entre (0,25 et 18,50).

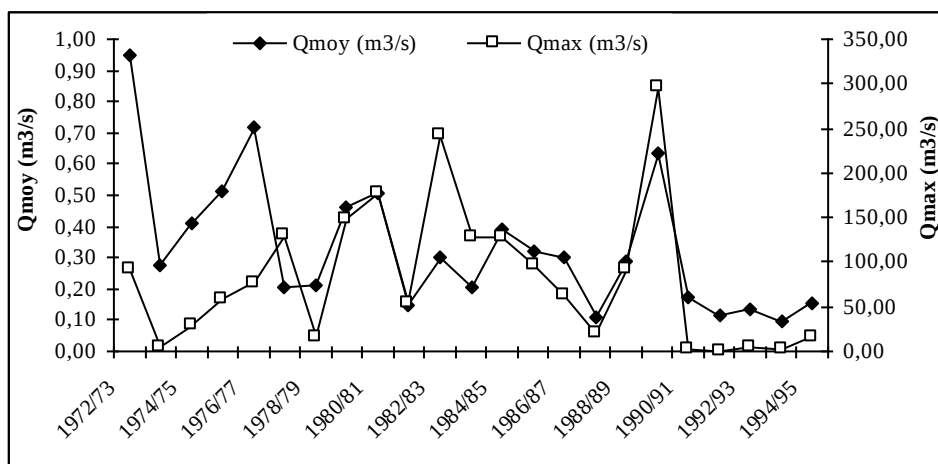


Figure (IV.2): Variation interannuelle du Qmax-Qmoy

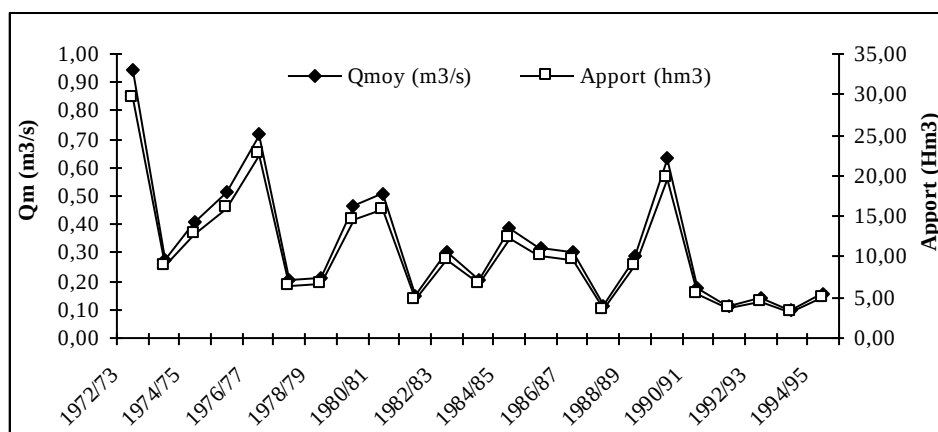


Figure (IV.3): Variation interannuelle du Qmoy-Apport

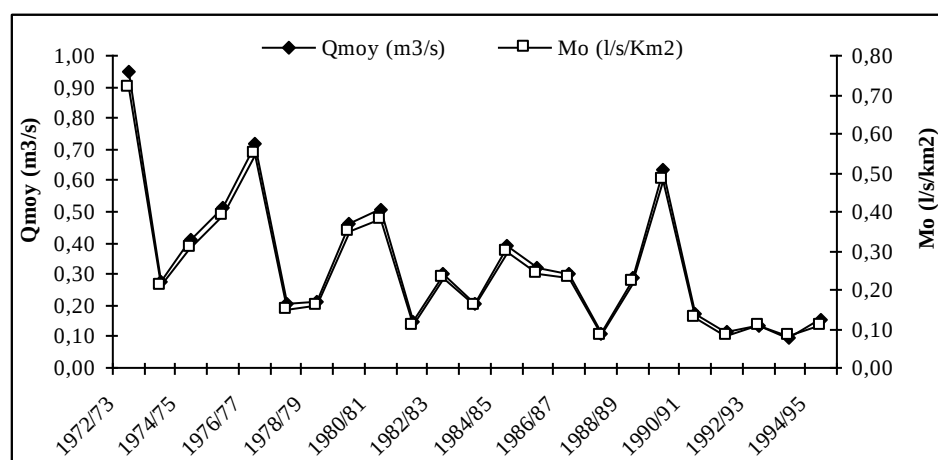


Figure (IV.4): Variation interannuelle Qmax-Mo

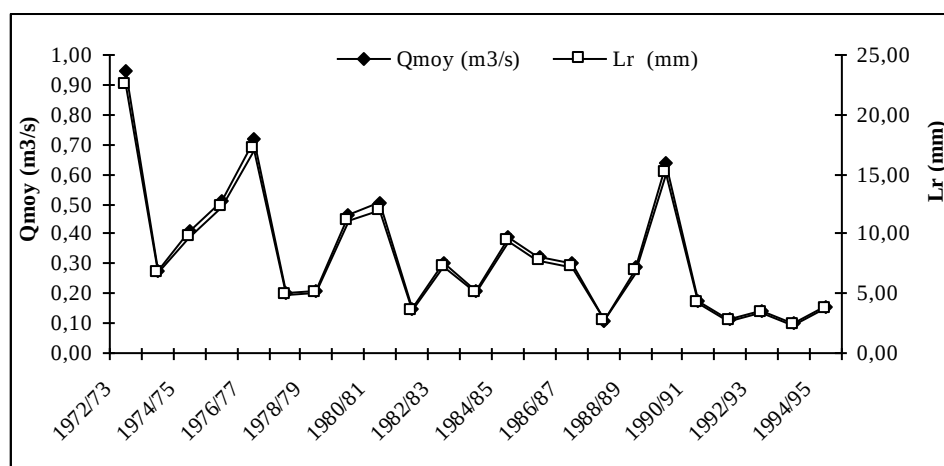


Figure (IV.5): Variation interannuelle Qmoy-Lr

II.2.4- Etude statistique des modules :

L'étude statistique des écoulements présente un intérêt indéniable dans le cadre des projets d'aménagements hydrauliques et permet de compléter la connaissance du phénomène d'irrégularité de l'écoulement annuel. Le choix de la période de retour du débit dépend de la taille de l'échantillon.

La forte dispersion des débits annuels mise en évidence par les valeurs du coefficient de variation (Cv).

Les résultats de l'ajustement de nos séries à une loi log-normale sont illustrés dans les tableaux suivants.

Tableau (IV.4): Equations d'ajustement des débits moyens annuels à la loi log-normale

Stations hydrométrique	Equation de la droite de Galton
Mchounech	$\text{Log } x_p\% = -0,563 + 0,28U_p\%$

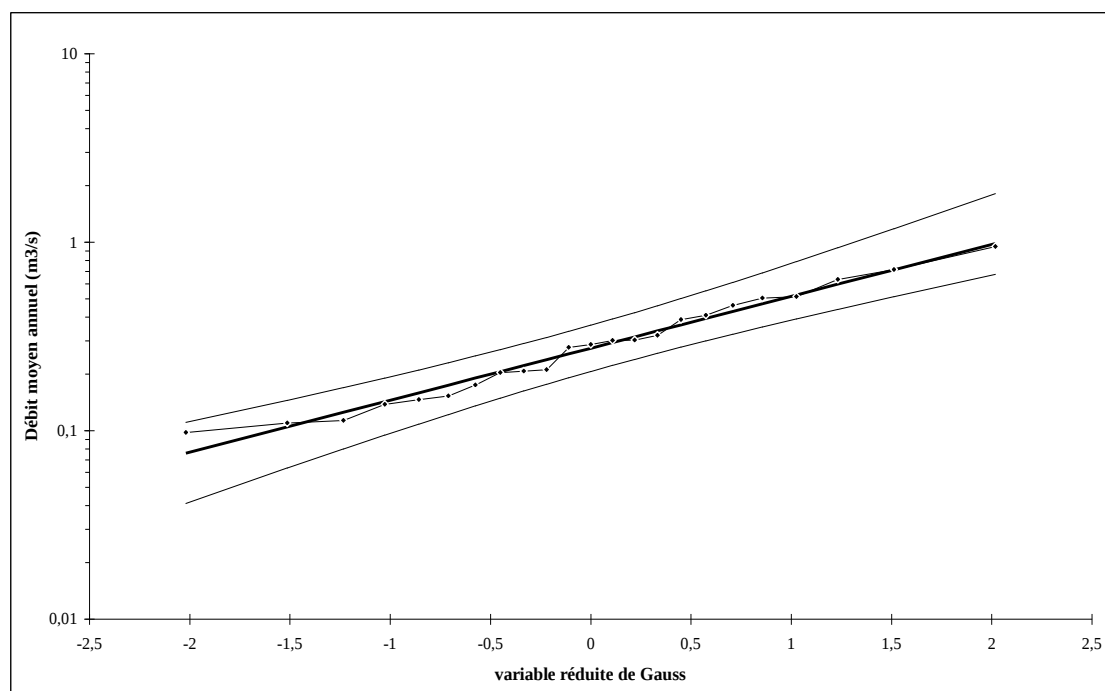
Tableau (IV.5): Débit moyen annuelle pour différentes périodes de retours :

Période	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans	1000 ans
$Q_{\text{moy}} \text{ (m}^3/\text{s)}$	0,47	0,62	0,78	1,01	1,20	1,94

Tableau (IV.6) : Débit moyen annuelle et leurs fréquences expérimentales station de Mchounech

Taille $n=23$ Moy. $\log(x-x_0)=-0,563$ et $\log(x-x_0)=0,275$. IC. à (en 95%) U Gauss=1.96

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieurs
0,95	0,10	1	0,022	-2,020	0,10	0,08	0,04	0,04
0,28	0,11	2	0,065	-1,513	0,11	0,10	0,06	0,06
0,41	0,11	3	0,109	-1,234	0,11	0,12	0,08	0,08
0,51	0,14	4	0,152	-1,027	0,14	0,14	0,09	0,09
0,72	0,15	5	0,196	-0,857	0,15	0,16	0,11	0,11
0,20	0,15	6	0,239	-0,709	0,15	0,17	0,12	0,12
0,21	0,17	7	0,283	-0,575	0,17	0,19	0,14	0,14
0,46	0,20	8	0,326	-0,450	0,20	0,21	0,15	0,15
0,50	0,21	9	0,370	-0,333	0,21	0,22	0,16	0,16
0,15	0,21	10	0,413	-0,219	0,21	0,24	0,18	0,18
0,30	0,28	11	0,457	-0,109	0,28	0,26	0,19	0,19
0,21	0,29	12	0,500	0,000	0,29	0,27	0,21	0,21
0,39	0,30	13	0,543	0,109	0,30	0,29	0,22	0,22
0,32	0,30	14	0,587	0,219	0,30	0,31	0,24	0,24
0,30	0,32	15	0,630	0,333	0,32	0,34	0,26	0,26
0,11	0,39	16	0,674	0,450	0,39	0,36	0,28	0,28
0,29	0,41	17	0,717	0,575	0,41	0,39	0,30	0,30
0,64	0,46	18	0,761	0,709	0,46	0,43	0,33	0,33
0,17	0,50	19	0,804	0,857	0,50	0,47	0,36	0,36
0,11	0,51	20	0,848	1,027	0,51	0,52	0,39	0,39
0,14	0,64	21	0,891	1,234	0,64	0,60	0,44	0,44
0,10	0,72	22	0,935	1,513	0,72	0,71	0,51	0,51
0,15	0,95	23	0,978	2,020	0,95	0,98	0,68	0,68

**Figure (IV.6):** Ajustement des débits moyens à loi Log normale : Station Mchounech

II.2.5- Le bilan hydrologique et le déficit annuel d'écoulement :

Le bilan hydrologique permet de quantifier les transferts d'eau issue des précipitations, il comporte quatre principaux termes : les entrées P (les précipitations), les sorties R (le ruissellement), la différence de ces deux notions P-R donne ce qu'on appelle : déficit moyen annuel de l'écoulement, les infiltrations et l'évapotranspiration.

L'équation de bilan hydrologique est comme suit :

$$P_{(mm)} = R_{(mm)} + I_{(mm)} + E_{(mm)}$$

P : La lame d'eau annuelle moyenne précipitée (mm) ;

R : La lame d'eau annuelle moyenne écoulée (mm) ;

$$R_{(mm)} = (QT10^{-6})/S10^{-3}$$

Q : Débit absolu (m³/s) ;

T : Temps (nombre de secondes dans l'année en secondes) ;

S : Surface du bassin (km²) ;

I : Infiltration annuelle d'écoulement (mm) ;

P : Evapotranspiration (mm).

Le rapport R/P est appelé, coefficient moyen annuel de l'écoulement « Ce ».

Tableau (IV.7): Bilan moyen annuel de l'écoulement

Cour d'eau	Station hydrométrique	Station pluviométrique	S (km ²)	P (mm)	R (mm)	I=P-R	Ce (%)
Oued Abiod	Mchounech	Foum El Gherza	1320	94	7,88	86,12	9,06

La précipitation moyenne annuelle et l'infiltration au niveau de station de Foum El Gherza sont faibles, le coefficient d'écoulement est de l'ordre de Ce = 9,06 %. Ces résultats peuvent être expliqués par la nature semi-perméable du sous bassin et les hautes températures favorisant l'évapotranspiration.

La lame d'eau moyenne écoulée (R) est estimée à 7,88 mm, elle est nettement plus faible par rapport à la hauteur pluviométrique moyenne du sous bassin, la tranche d'eau annuelle moyenne précipitée (P) est estimée à 94 mm.

D'une manière générale, le déficit annuel moyen de l'écoulement augmente avec l'accroissement du total pluviométrique moyen annuel

II.2.6- Variation précipitations-écoulements :

En vue de déterminer la tendance de la variabilité de l'écoulement fluvial en réponse aux précipitations tombées sur le sous bassin de l'oued Abiod, nous avons mis en confrontation la hauteur d'eau précipitée et la lame d'eau écoulée.

La relation entre les précipitations et les écoulements est faite à partir d'histogramme comme le montre la figure ci-dessous :

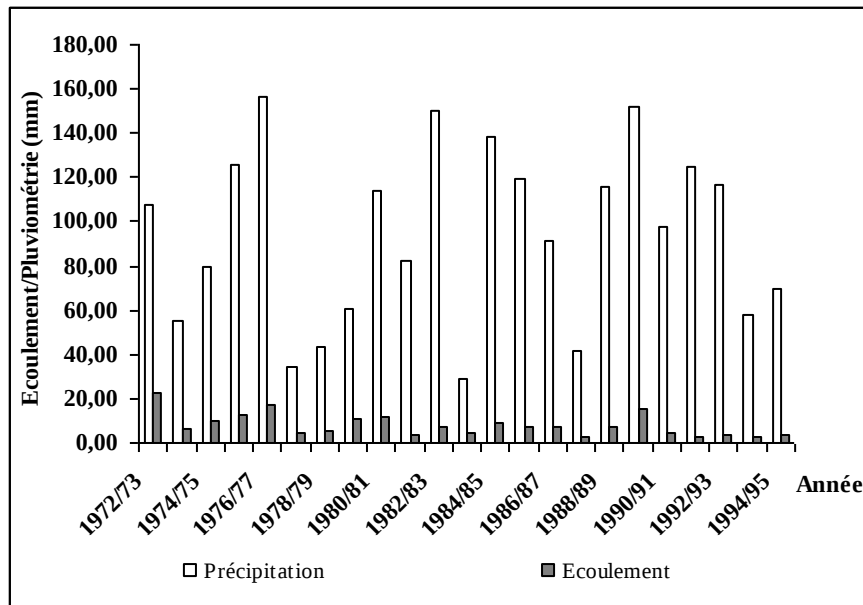


Figure (IV.7) : Histogramme des écoulements et des précipitations de sous bassin Oued El Abiod

La figure ci-dessus montre que la corrélation entre l'écoulement et les précipitations est comme suit :

Les écoulements sont mal corrélés avec précipitations ce qui implique que les terrains sont perméables et l'infiltration n'est pas limitée.

Pour les années (1982/83, 1992/93 et 1993/94), les écoulements sont très faibles par rapport aux précipitations, sous l'effet de l'évapotranspiration et la nature perméable des terrains.

II.3- Variabilité saisonnière et mensuelle de l'écoulement :

L'analyse des débits moyens mensuels permet de mettre en évidence les régimes des cours d'eau et leurs variations inter annuelles ou inter saisonnières.

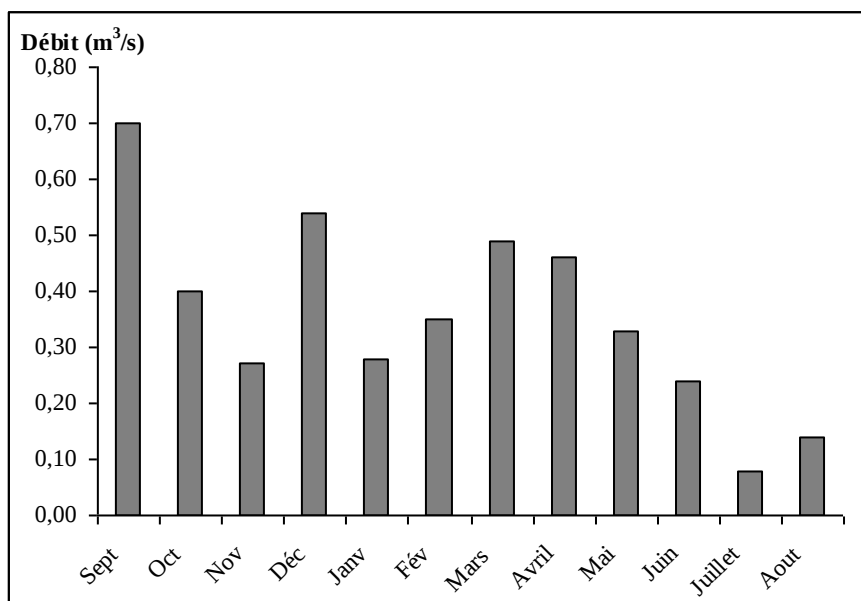


Figure (IV.8) : Variations des débits moyens mensuels (Oued Abiod)

La distribution mensuelle des débits, permet de constater que la période de ruissellement correspond en général à la période pluvieuse.

Les régimes moyens de sous bassin à alimentation essentiellement pluviale comportent généralement des hautes eaux de saison Froide, de janvier à mai et des basses eaux de saison chaude, de juin à septembre.

Pour le sous bassin d'Oued Abiod, la période des hautes eaux est nettement marquée de trois mois successifs : Février, Mars et Avril, mais la moyenne mensuelle maximale est réalisée en septembre. Les pluies du début de l'année climatique interviennent donc efficacement au soutien de l'écoulement superficiel, puisque les précipitations provenant soit d'orages locaux en Eté, soit des dépressions sahariennes.

Par ailleurs, la période des basses eaux est également retardée, elle ne commence qu'au mois de Juin, il en est de même pour la moyenne mensuelle minimale qui est réalisée en Juillet. Ceci est lié à l'importance relative des précipitations de Printemps.

La variabilité modérée des basses eaux peut être justifiée par la fréquence limitée des crues en saison Chaude. Ainsi que par le rôle des eaux souterraines alimentant les cours d'eau en périodes d'étiage.

Ainsi, il apparaît que les régimes hydrologiques sont nuancés, ils se calquent dans leurs grandes lignes sur ceux des précipitations, mais le parallélisme entre ces deux phénomènes est plus ou moins modifié paré, le rôle important de la lithologie (restitutions souterraines) et par celui des

températures (évaporation). Les conclusions de cette analyse confirment nos suggestions émises quant au choix des limites de l'année hydrologique.

La variabilité inter mensuelle des débits est accentuée dans l'ensemble, ceci à cause vraisemblablement de la faiblesse des précipitations et de leur caractère aléatoire.

La plus forte variabilité de l'écoulement fluvial concerne la période de saison froide ou de hautes eaux, ceci s'explique par l'importance et la fréquence élevée des crues en saison froide. Au contraire, la variabilité relativement modérée des basses eaux peut être justifiée par la fréquence limitée des crues en saison chaude ainsi que par le rôle prépondérant des eaux souterraines alimentant les cours d'eau en périodes d'étiages.

La confrontation entre la tranche d'eau précipitée et la lame d'eau écoulée, nous montre qu'au niveau de station de Foum El Gherza, les débits ne suivent pas exactement les hauteurs mensuelles pluviométriques.

Il est intéressant de constater d'après ces histogrammes, l'importance de la rétention et de la restitution suivant le bassin (figure IV.9).

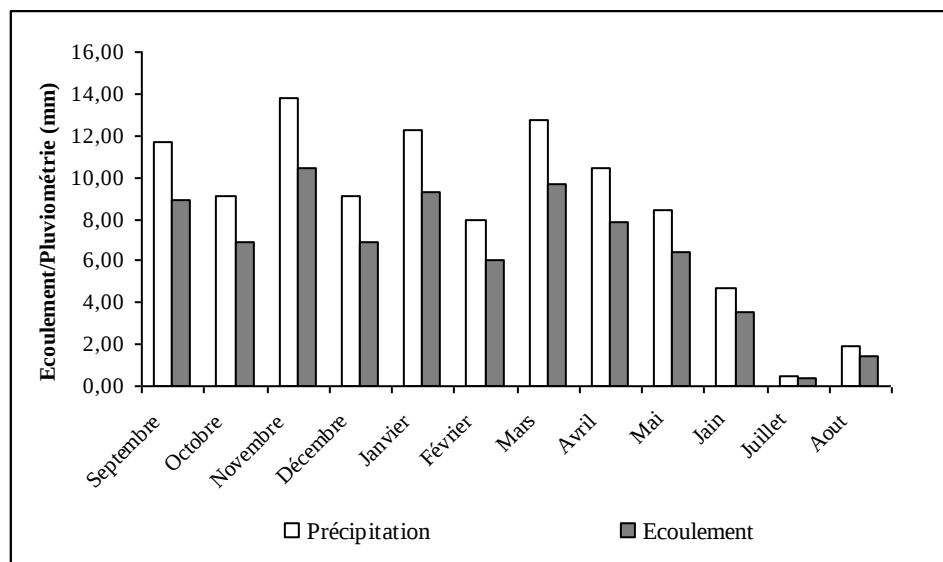


Figure (IV.9) : Lames d'eau précipitées et écoulées aux niveaux du sous bassin oued Abiod

Le maximum des débits ne concorde pas forcément au maximum pluviométriques, car le mois le plus humide n'offre pas le plus gros débit. L'eau précipitée dans ce bassin est infiltrée et assure le remplissage des réserves souterraines.

II.4- Modification inter annuelles du régime saisonnier :

Les valeurs moyennes des fluctuations mensuelles ne s'observent pas toujours de la même façon d'une année sur l'autre.

A Oued Abiod pendant 23 ans, le maximum s'est trouvé 2 fois en Septembre s'explique par les orages et les pluies violentes d'Été et du début d'Automne, 1 fois en Janvier, Mars et Avril.

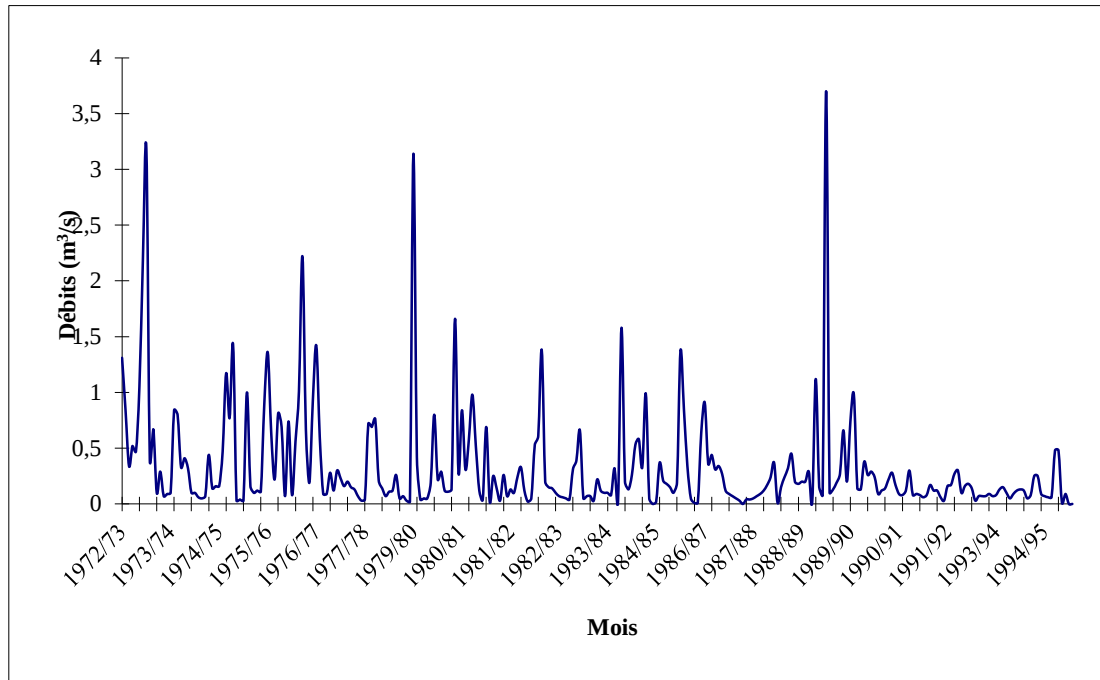


Figure (IV.10): Variations interannuelles des débits mensuels d'oued Abiod

II.5- Variations journalières des débits :

L'étude du régime fluvial, à l'échelle journalière, mérite une analyse car les oueds subissent des variations journalières importantes.

Pour l'année humide (1972/73), la courbe des débits journaliers fait ressortir deux périodes :

Une saison pluvieuse qui a débute de Janvier à Mai (hiver-printemps) au cours de laquelle les crues ont été brutales, et une saison Chaude de tarissement pour le reste de l'année.

La saison pluvieuse de l'année Humide (72/73) se marquée une période de hautes eaux journalières à partir du fin Janvier jusqu'au fin de mois d'Avril, pendant les quels les débits journaliers dépassent la moyenne annuelle. Le débit journalier maximal a été de 32,33 m³/s au mois de Septembre.

Pour l'année sèche (1993/94), le débit journalier minimal atteint 0.1 m³/s. la capacité de rétention du bassin est relativement faible. A ajouter à cela, la forte évaporation en cette saison.

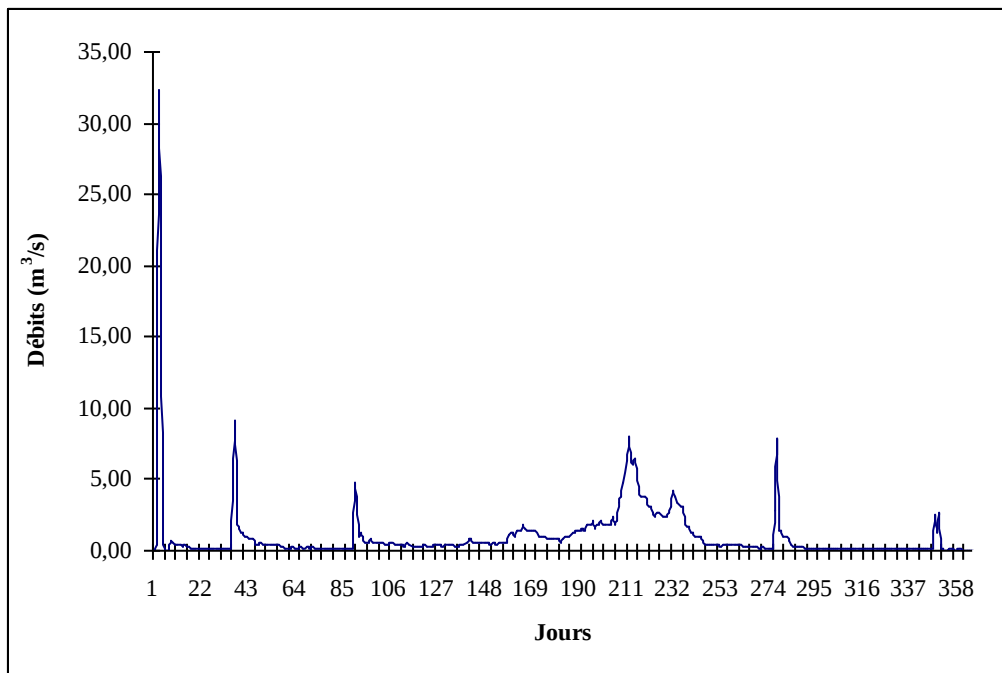


Figure (IV.11) : Variations journalières des débits de oued Abiod (année humide 1972/73)

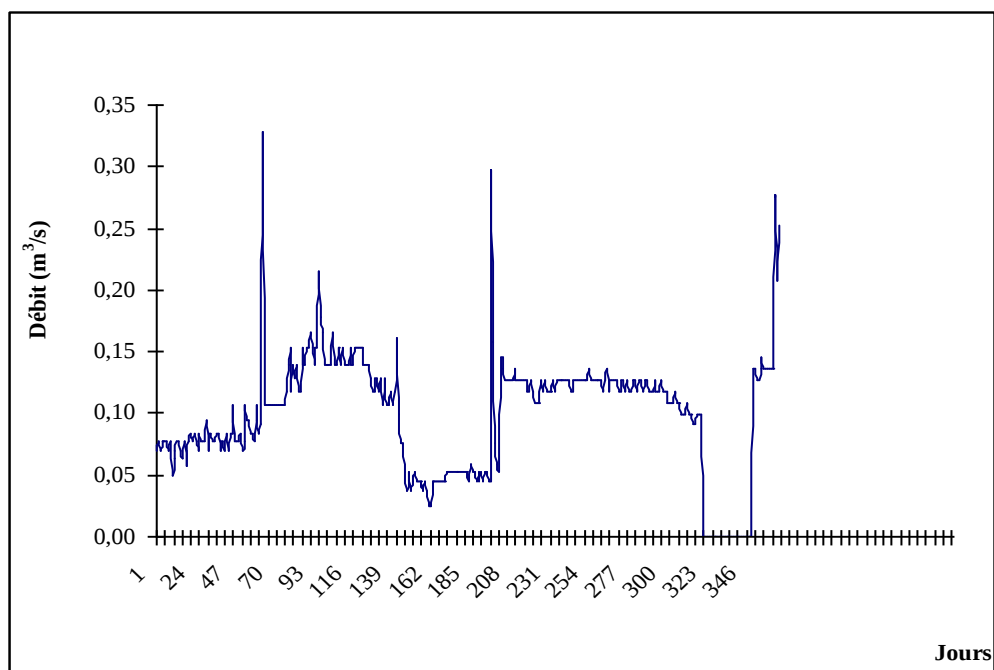


Figure (IV.12) : Variations journalières des débits de oued Abiod (année sèche 1993/94)

III-ETUDE DES DEBIT EXTREMES :

Les débits extrêmes que sont les phénomènes de crues et d'étiages ne peuvent être cernés que dans leur succession chronologique, allant de quelques heures à plusieurs jours.

Les crues correspondent à des débits qui dépassent la contenance du lit du cours d'eau et provoquent le débordement du cours d'eau. Si on assiste à un gonflement des débits sans qu'il y ait débordement on parle seulement de hautes eaux.

L'étude des crues permet de mettre en évidence la réaction du bassin versant pendant un pas de temps réduit à une averse ou séquence pluvieuse donnée. Cette réaction ou réponse du bassin, fonction des caractères propres des précipitations (hauteur, intensité et durée) est déterminée par la combinaison complexe de divers éléments caractérisant l'organisation fluviale : état de saturation des sols, importance des pentes, densité de drainage, taux de la couverture végétale, forme du bassin etc.... (Mébarki, 1986).

Contrairement aux crues, les étiages sont des phénomènes progressifs et ne peuvent survenir de façon catastrophique. Ils sont le résultat d'une longue évolution et peuvent cependant être interrompus brutalement par une crue.

La distinction entre les deux phénomènes est claire à l'échelle d'un tronçon fluvial mais beaucoup plus difficile à faire à l'échelle d'un réseau hydrographique car un cours d'eau peut déborder sur un tronçon de sa vallée et rester dans son lit sur un autre tronçon.

III.1.les crues

L'étude des crues des oueds de l'Algérie reste un domaine inconnu, 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 longues séries de crues pour pouvoir tirer des conclusions globales. Nous nous contentons donc d'exploiter les données disponibles à savoir :

Débits instantanés de crues de l'oued Abiod à Mchounech, période (1971-1989)

Les crues seront étudiées à travers les débits journaliers et instantanés maximaux de la saison froide (Novembre-Avril) et de la saison chaude (Mai-Octobre), dont les valeurs sont toujours supérieures aux débits moyens de hautes eaux et donc au module.

On se limitera dans l'étude des crues, à leurs caractères généraux tels que leur genèse, leur puissance, leur fréquence et leur durée, le potentiel hydrologique énorme qu'elles représentent (tableau IV.8).

Tableau (IV.8) : Crues d'Oued Abiod à Chounech (1971-1994)

a	b	c	d	e
07/12/1971	52,1	14.25	3.66	1.43
09/06/1972	23,4	8.06	2.9	0.64
04/09/1972	92,5	32.33	2.86	2.55
01/07/1976	37,58	18.96	1.98	1.03
06/01/1977	31	17.02	1.82	0.85
17/05/1977	76,06	26.44	2.88	2.09
25/08/1978	45,5	9.87	4.61	1.25
26/08/1978	131	24.38	5.37	3.61
02/09/1979	111,3	46.41	2.39	3.06
03/09/1979	148	60.29	2.45	4.07
11/02/1980	14,14	4.53	3.12	0.39
25/06/1981	178,2	41.75	4.27	4.90
23/12/1981	53,9	27.90	1.93	1.48
11/09/1982	198 ,3	45.51	4.35	5.46
31/10/1982	242,15	57.64	4.20	6.66
03/11/1982	<u>118,6</u>	32.62	3.64	3.26
08/10/1983	115	47.31	2.43	3.16
29/08/1984	129	23.41	5.51	3.55
10/10/1984	43,26	9.35	4.63	1.19
22/10/1984	52,1	21.32	2.44	1.43
06/03/1986	79	21.07	3.75	2.17
04/04/1986	27,08	11.87	2.28	0.75
30/05/1986	96,5	39.14	2.46	2.66
13/11/1988	43,8	13.88	3.15	1.21
03/04/1989	52,7	10.94	4.82	1.45
20/06/1989	91	31.97	2.85	2.50
21/09/1989	<u>297</u>	125.67	2.36	8.17

a : date du débit de pointe ; b : débit instantané maximal (m^3/s) ; c : débit moyen journalier maximal (m^3/s) ; d : moyenne b/c ; e : coefficient de crue : $e = b / \sqrt{S}$; S : aire réceptrice du bassin (km^2)

A.N.R.H Constantine

III.1.1- Les crues de saison froide :

a)- leur genèse, leur répartition temporelle et spatiale

La crue dépend essentiellement de l'abondance et de l'intensité de la pluie, température faible, sa vitesse est largement influencée par le couvert végéta, les paramètres morpho métriques du bassin-versant et du réseau hydrographique (indice de compacité, densité de drainage, rapports des confluences et des longueurs etc....), la pente des thalwegs, hiérarchisation du chevelu, les caractéristiques physiques des lits fluviaux (Mébarki, 1986).

Les averses génératrices de ces crues hivernales ont un caractère à la fois durable et n'est pas extensif.

Les crues de saison froide se produisent surtout en Novembre et en Avril et, à un degré beaucoup moindre, en Mars. Elles ne coïncident donc pas nécessairement avec les mois les plus pluvieux de l'année car elles sont déterminées plus par la nature même des averses, notamment leur intensité en interaction avec les autres facteurs du ruissellement – que par l'apport pluviométrique mensuel.

L'évolution spatiale des crues est fonction de la répartition des précipitations ainsi que la densité du réseau hydrographique, la vitesse de propagation, profondeur du lit mineur et étendue du lit majeur, elle-même fonction de plusieurs facteurs.

b)- L'exemple de la crue de 3 Novembre 1982 :

Les averses génératrices de ces crues ont un caractère à la fois durable et brève, le débit de pointe enregistré le 03 Novembre a atteint la valeur de $118,6 \text{ m}^3/\text{s}$, soit un débit spécifique de l'ordre de $89,85 \text{ l/s/km}^2$ et un coefficient (e) de 3,26. La hauteur d'eau s'est élevée à 264 m, ce qui a provoqué des débordements considérables dans le lit majeur.

L'averse que l'on peut qualifier de préparatoire n'a entraîné qu'une montée limitée des eaux si bien que les maximums journaliers et instantanés. Cette montée rapide des eaux a été favorisée par la saturation des sols sur l'ensemble du bassin.

Contrairement à la montée, la décrue s'est faite de façon brutal et beaucoup plus lente; cette phase s'est étendue, sur plusieurs heurs avant le rétablissement du débit de base.

L'hydro gramme relatif à ces crues donne une image suggestive de la rapidité et la brutalité caractérisant la montée des eaux.

Le bassin connaissent quelques crues généralisées telle que celle du 6 Mars 1986, cette crue a donnée un débit de pointe de $79 \text{ m}^3/\text{s}$, la crue de 23 Décembre 1981, elle donnée une valeur extrême de $53,9 \text{ m}^3/\text{s}$.

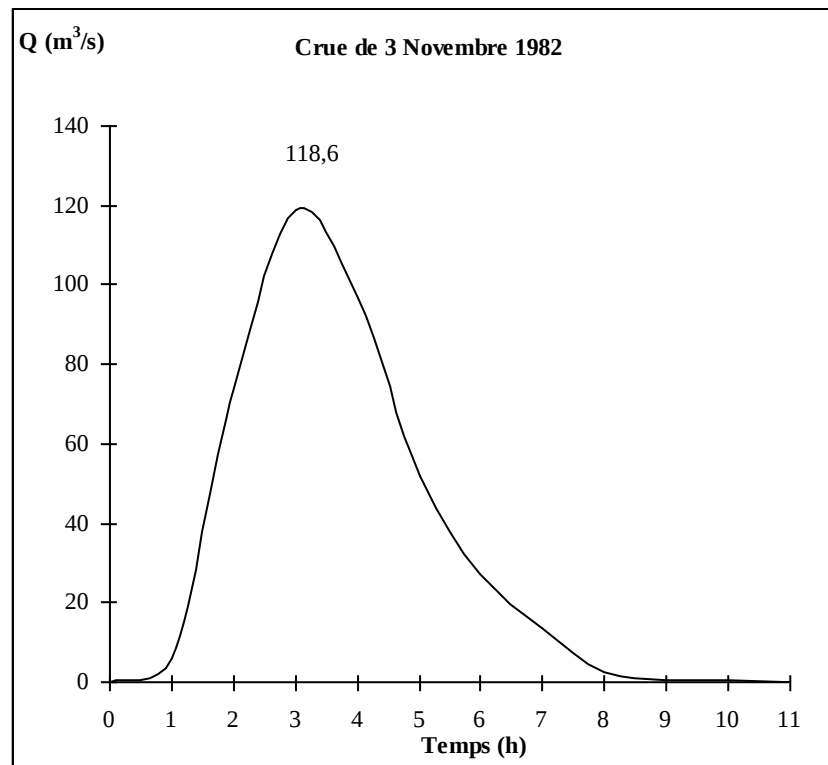


Figure (IV.13): Hydrogrammes journaliers de crue de 3 Novembre 1982

III.1.2- Les crues de saison chaude

a)- leurs caractères généraux :

Les crues de saison chaude liées généralement à des averses orageuses brèves et localisées, se caractérisent par une courte durée. Leur puissance est également moins élevée bien que parfois, à la suite d'averses torrentielles, elles peuvent atteindre des proportions jamais égalées en période de hautes eaux, ce qui entraîne des inondations brutales.

Les crues de saison chaude les plus fréquentes se produisent en début (Mai et Juin) et en fin de saison (Aout, Septembre et Octobre). Ce sont les crues de Septembre (mois des premières pluies) qui revêtent un caractère de gravité élevée en raison de la forte intensité des averses et l'absence de couvert végétal.

b)- l'exemple de la crue de 20-21 Septembre 1989 :

Les crues de l'Oued El Abiod sont très violentes et soudaines et de courte durée, puisque provenant soit d'orages locaux en Été, soit des dépressions sahariennes au printemps et plus souvent encore en Automne.

Les hydrogrammes relatifs à cette crue sont intéressants dans la mesure où ils laissent apparaître deux montées des niveaux d'eau dues à deux averses successives. Ces dernières mettent en évidence le caractère relativement durable des précipitations.

La première averse que l'on peut qualifier de préparatoire n'a entraînés qu'une montée limitée des eaux si bien que les maximums journaliers et instantanés.

Après ce maximum, et une baisse des eaux au cours d'une demi-heure, une autre averse beaucoup plus décisive allant du 2 heures, engendra une montée brutale de l'écoulement déterminant le maximum principal du 21 septembre. Au cours de la phase ascendante, les débits moyens journaliers ont augmenté dans des proportions considérables, le débit de pointe a atteint, la valeur de $297 \text{ m}^3/\text{s}$. Cette montée rapide des eaux a été favorisée par la saturation des sols sur l'ensemble du bassin à la suite de l'averse préparatoire.

Malgré les fortes possibilités d'évaporation et d'infiltration, l'intensité particulièrement élevée des précipitations a provoqué des montées importantes des niveaux d'eau.

Les différences constatées au sujet de l'évolution des crues sont dues aux caractéristiques même des averses (intensité et extension spatio-temporelle) d'une part, et d'autre part aux capacités d'infiltration et d'interception, très variables d'un secteur à l'autre du bassin.

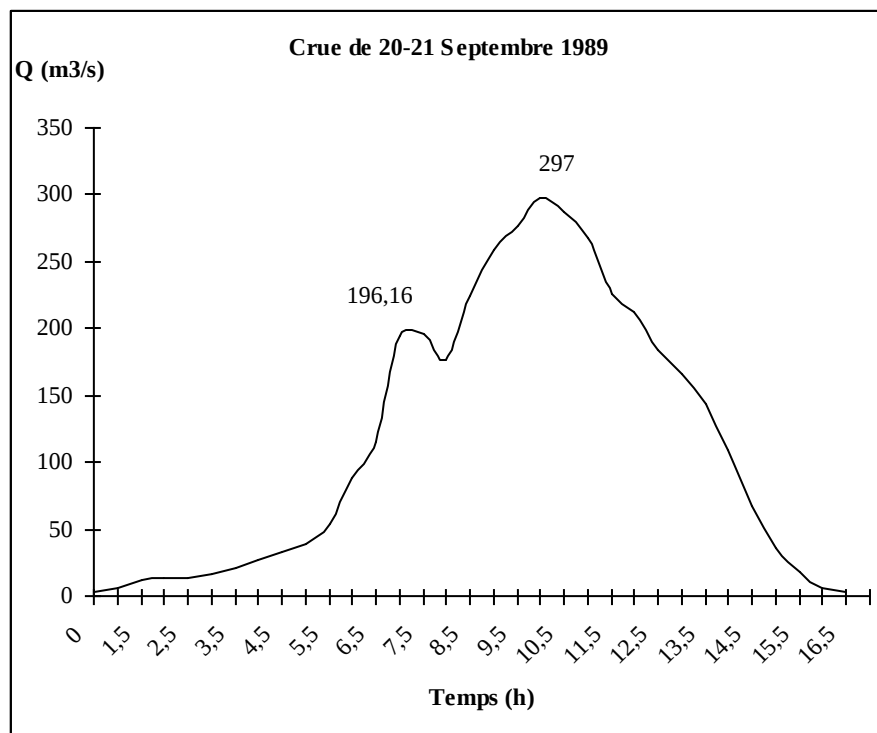


Figure (IV.14): Hydrogrammes journaliers de crue de 20-21 Septembre 1989

III.1.3- Puissance des crues

Plusieurs critères peuvent caractériser la puissance d'une crue : sa cote maximale, son débit journalier maximal, son volume et son coefficient « e » de Meyer-Coutagne-Pardé, qui constitue un bon élément d'approche dans le cadre d'une analyse comparative de crues entre des bassins de tailles différentes.

$$e = Q/\sqrt{S}$$

Q : débit maximal instantané (m³/s),

S : surface du bassin.

Pour l'oued Abiod, les valeurs correspondantes calculées pour les crues maximales de saison froide et de saison chaude relatives à la période 1971/72-1989/90 (tableau IV.8) permettent de constater les fortes variations de la puissance des crues, le coefficient « e » oscille entre 0.39 et 8.17.

Ces fortes variations sont liées aux conditions d'alimentation et de ruissellement très différentes d'un secteur hydrologique et d'une saison à l'autre. La puissance des crues de saison chaude est dans l'ensemble plus élevée qu'en saison froide puisque la majorité des fortes crues enregistré en saison chaude.

III.1.4- Rapport débit de pointe /débit moyen journalier maximal

Un facteur autre doit être pris en considération dans l'étude de la variabilité des crues c'est le coefficient « d » qui exprime le rapport du débit instantané maximal au débit moyen journalier maximal.

En effet, en valeurs absolues, ce rapport peut atteindre des proportions remarquables : il s'élève en saison chaude 5.51, en saison froide à 4.82.

Ces données mettent ainsi en évidence la forte irrégularité de l'écoulement au cours d'une journée de crue et, à plus forte raison en saison chaude où les averses sont très localisées, brèves et d'intensité très variable. Comme on l'a vu précédemment, elles entraînent des montées d'eau extrêmement rapides et brutales se traduisant par des hydro grammes très pointus.

III.1.5- Apport de crues

Le tableau (IV.9) donne les volumes totaux écoulés pendant les crues, ainsi que les volumes écoulés en année moyenne.

Tableau (IV.9): Volume totaux écoulés à l'oued Abiod (1971-1994)

Date de la crue	Débit maximal instantané		Volume total écoulé pendant la crue 10^6m^3
	Brut m^3/s	Spécifique l/s/km^2	
07/12/1971	52,1	39.47	13.54
09/06/1972	23,4	17.73	13.23
04/09/1972	92,5	10.08	134.09
01/07/1976	37,58	28.47	16.51
06/01/1977	31	23.48	31.97
17/05/1977	76,06	57.62	44.02
25/08/1978	45,5	34.47	23.50
26/08/1978	131	99.24	18.96
02/09/1979	111,3	84.32	82.95
03/09/1979	148	112.12	162.36
11/02/1980	14,14	10.71	6.26
25/06/1981	178,2	135	82.97
23/12/1981	53,9	40.83	18.30
11/09/1982	198 ,3	150.23	36.17
31/10/1982	242,15	183.45	64.74
03/11/1982	118,6	89.85	33.82
08/10/1983	115	87.12	66.65
29/08/1984	129	97.73	26.30
10/10/1984	43,26	32.77	25.05
22/10/1984	52,1	39.47	13.92
06/03/1986	79	59.85	41.33
04/04/1986	27,08	20.52	32.83
30/05/1986	96,5	73.11	31.41
13/11/1988	43,8	33.18	22.79
03/04/1989	52,7	39.92	16.06
20/06/1989	91	68.94	28.06
21/09/1989	297	225	327.54

Parmi les quelques crues généralisées au niveau du bassin d'oued Abiod on peut citer celle 25 juin 1981 qui a généré un volume $82.97 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ pour un débit de pointe de $178.2 \text{ m}^3/\text{s}$, c'est une crue de saison chaude liée à de fortes averses orageuses très localisées.

La crue du 21 Septembre 1989 qui a enregistré un volume de $327.54 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ est considérée la plus forte à oued Abiod, les premières pluies de l'Automne torrentielles puisque provenant des dépressions sahariennes.

L'apport d'une seule crue constitue de 2 à plus de 80% de l'apport annuel, il varie considérablement d'une crue à une autre et d'un bassin à l'autre (Bouanani, 2004).

On conclure que les crues n'affectent pas avec la même puissance.

Après un examen de toutes les crues observées, les crues ont été classées en deux types :

- Crue complexe, résultant d'une averse complexe à plusieurs pics.
- Crue à pointe unique, provoquée en règle générale par une averse de courte durée et de forte intensité.

Les crues complexes parviennent généralement en Hivers et au Printemps. Elles sont générées par des averses longues, régulières et continues, caractérisées par des intensités faibles ou moyennes. Elles sont en outre généralisées dans l'espace et se produisent sur des sols saturés et imperméables. Le temps de base est alors très long, dépassant les 24 heures.

Les crues à pointe unique, correspondant à des crues d'Automne, sont provoquées par des averses de début de saison, de type orageux, de courte durée et de fortes intensités. Ces averses sont généralement localisées dans l'espace et se produisent sur les sols secs, impliquant un temps de réponse long et dépassant huit heures. Le temps de montée de l'hydrogramme est très court, tandis que le temps de décrue est plus prolongé.

III.1.6- Relation entre le volume total écoulé pendant la crue et le débit moyen

L'étude de relation entre le volume total écoulé pendant la crue et le débit moyen journalier maximal se fait dans le but de suivre l'évolution de ces deux paramètres dans le temps.

La figure (IV.15) présentée-ci-dessous montre que le volume de la crue et le débit moyen journalier maximal fluctuent de la même façon montrant d'une part, une proportionnalité entre les deux paramètres qu'il convient de la prendre en considération et d'autre part, la variabilité journalière élevée des écoulements.

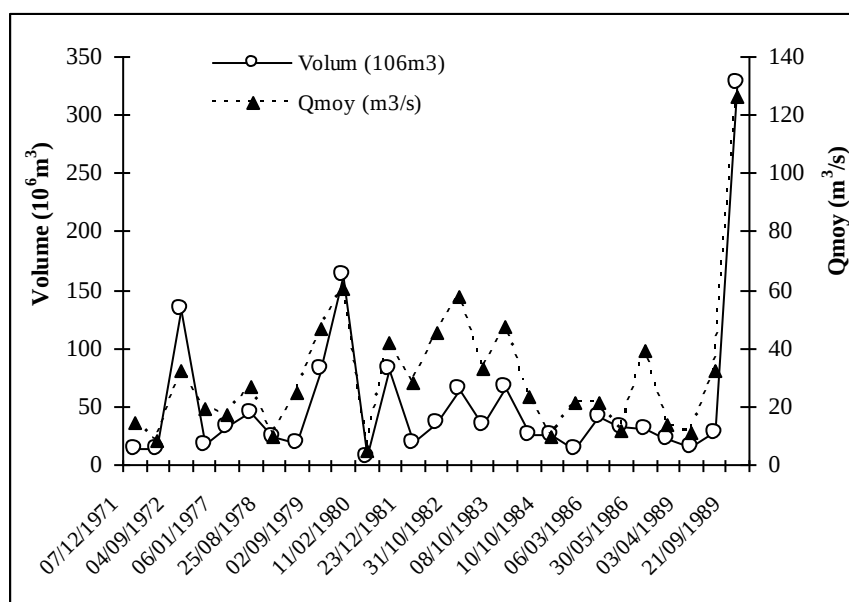


Figure (IV.15): influence du débit moyen journalier sur le volume de la crue

Le graphique de volume total écoulé pendant la crue et du débit moyen annuel mesuré au droit de la station de Mchounech, donne une corrélation moyenne caractérisée par un coefficient de détermination ($R^2 = 0,79$). L'équation obtenue est de type polynomial et s'écrit :

$$Q_{moy} = 5E-05V^2 + 0,3154V + 13,634$$

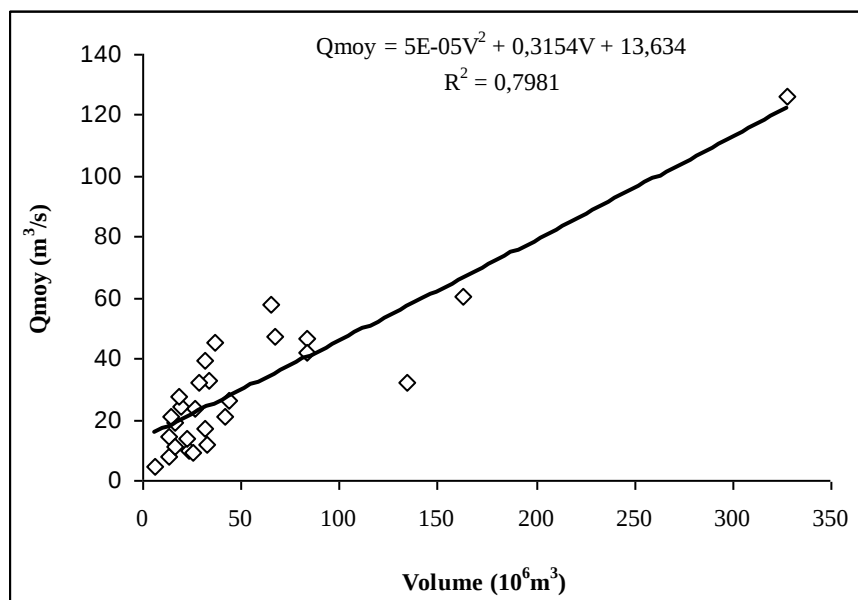


Figure (IV.16): relation : Volume total de la crue- débit moyen journalier maximal

III.1.7- Relation entre le volume total écoulé pendant la crue et le débit maximal

La figure (IV.17) présentée-ci-dessous montre l'influence des débits extrêmes sur le volume total écoulé pendant la crue.

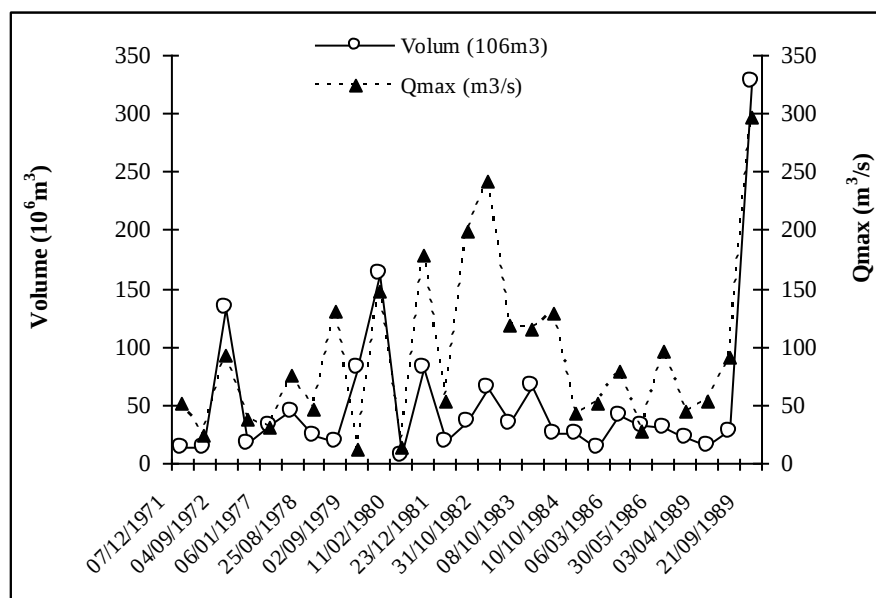


Figure (IV.17): influence du débit instantané maximal sur le volume de la crue

La représentation annuelle des débits maximum et d'érosion spécifique montre de grandeurs élevées des débits maximaux pendant les crues 25/06/1982 et 21/09/1989.

Dans la crue de 25/06/1982 un débit maximum de $178.2 \text{ m}^3/\text{s}$ à enregistré un volume de $23.50 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, a une même observation est obtenus en la crue de 21/09/1989 pour un débit maximum de $297 \text{ m}^3/\text{s}$ on a enregistré un volume de l'ordre de $327.54 \cdot 10^6 \text{ m}^3$.

L'analyse graphique de volume total de la crue et le débit maximal calculé au droit de la station de Mchounech met en évidence une faible corrélation entre ces deux paramètres. Le coefficient de détermination est de l'ordre de 0.43.

Le volume total écoulé pendant la crue a été exprimée selon une loi polynomiale d'équation :

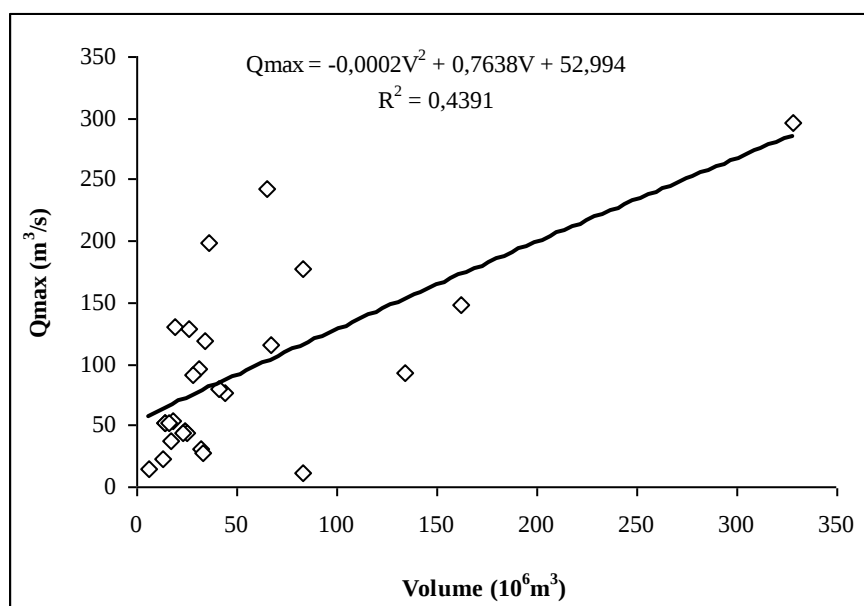


Figure (IV.18): relation : Volume total de la crue- débit instantané maximal

La faible corrélation observée entre les paramètres volume, $Q_{\max}$ peut être due à l'irrégularité d'écoulement et les caractéristiques morphologiques du bassin.

III.1.8- Etude statistique des débits maximaux :

La distribution des débits maximums de crues reste mal déterminée, hormis quelques études fragmentaire où les auteurs ont utilisé soit la loi de Gumbel (S.M.Hayane 1983) soit celle de Frechet (A.Ghachi 1986).

On a souvent admis, à tort ou à raison, que les débits maximums s'ajustent à une loi de type Galton ou à celle de Gumbel.

Les résultats de l'ajustement de nos séries à une loi log-normale sont illustrés dans les tableaux suivants.

Tableau (IV.10): Equations d'ajustement des débits moyens annuels à la loi log-normale

Stations hydrométrique	Equation de la droite de Galton
Mchounech	$\text{Log } x_p\% = 1.83 + 0.36U_p\%$

Tableau (IV.11): Débit moyen annuelle pour différentes périodes de retours :

Période	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans	1000 ans
$Q_{\max} (m^3/s)$	136.63	196.45	265.13	371.5	465.17	873.36

Tableau (IV.12) : Débit moyen annuelle et leurs fréquences expérimentales station de Mchounech

Taille $n=27$ Moy. $\log(x-x_0)=1.834$ et $\log(x-x_0)=0.358$. IC. à (en 95%) U Gauss=1.96

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieures
52,1	11,3	1	0,019	-2,086	11,3	12,216	5,89384	19,451629
23,4	14,14	2	0,056	-1,594	14,14	18,334	10,0071	27,461833
92,5	23,4	3	0,093	-1,325	23,4	22,8772	13,2932	33,299033
37,58	27,08	4	0,130	-1,128	27,08	26,9125	16,325	38,469947
31	31	5	0,167	-0,967	31	30,7309	19,2634	43,382159
76,06	37,58	6	0,204	-0,828	37,58	34,4662	22,1838	48,226228
45,5	43,26	7	0,241	-0,704	43,26	38,1983	25,1311	53,119134
131	43,8	8	0,278	-0,589	43,8	41,9835	28,1375	58,147692
11,3	45,5	9	0,315	-0,482	45,5	45,8673	31,2291	63,386333
148	52,1	10	0,352	-0,380	52,1	49,8911	34,4297	68,906248
14,14	52,1	11	0,389	-0,282	52,1	54,0956	37,7627	74,781246
178,2	52,7	12	0,426	-0,186	52,7	58,524	41,2529	81,092455
53,9	53,9	13	0,463	-0,093	53,9	63,2238	44,928	87,932999
198,3	76,06	14	0,500	0,000	76,06	68,2503	48,8203	95,413401
242,15	79	15	0,537	0,093	79	73,6765	52,9734	103,67927
118,6	91	16	0,574	0,186	91	79,5932	57,4419	112,91588
115	92,5	17	0,611	0,282	92,5	86,1087	62,2898	123,35212
129	96,5	18	0,648	0,380	96,5	93,3655	67,6007	135,29325
43,26	115	19	0,685	0,482	115	101,556	73,4876	149,15905
52,1	118,6	20	0,722	0,589	118,6	110,951	80,1082	165,54812
79	129	21	0,759	0,704	129	121,945	87,6917	185,35257
27,08	131	22	0,796	0,828	131	135,15	96,5887	209,97834
96,5	148	23	0,833	0,967	148	151,578	107,374	241,81074
43,8	178,2	24	0,870	1,128	178,2	173,083	121,084	285,33559
52,7	198,3	25	0,907	1,325	198,3	203,613	139,887	350,41296
91	242,15	26	0,944	1,594	242,15	254,069	169,621	465,4808
297	297	27	0,981	2,086	297	381,313	239,471	790,33553

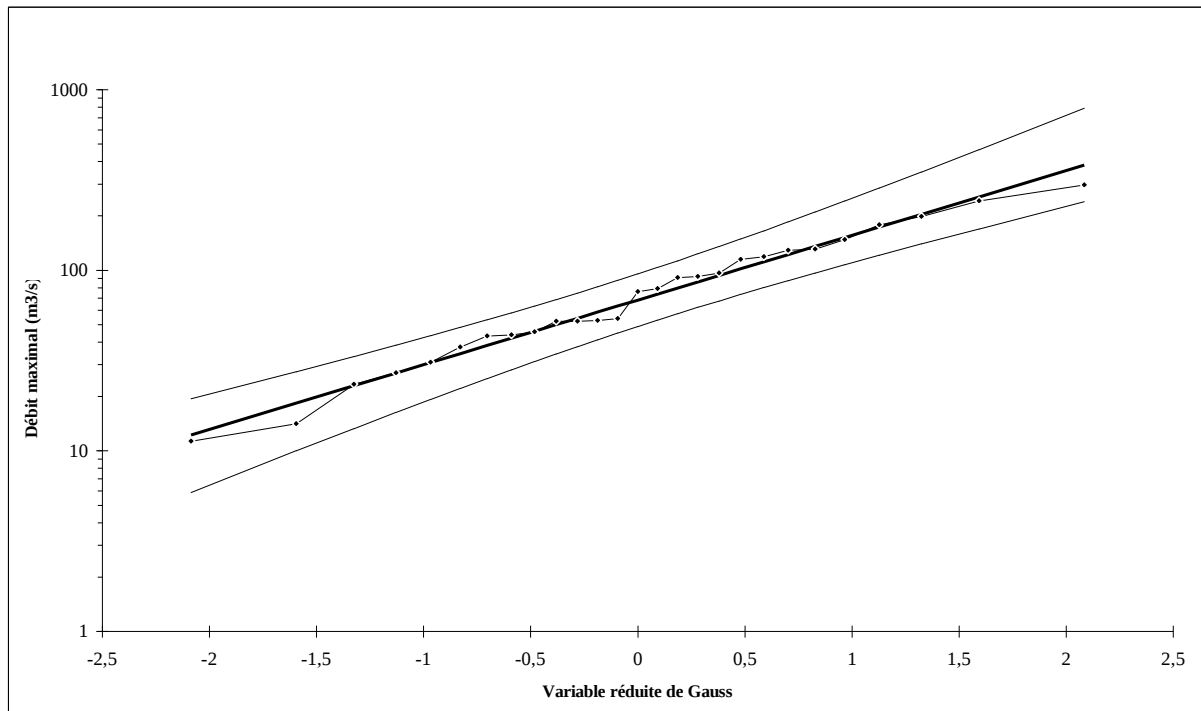


Figure (IV.18): Ajustement des débits maximaux à loi Log normale

III.2- Conclusion :

L'analyse de l'écoulement est consacrée à l'étude des débits dans le cours d'eau de l'Oued Abiod. L'écoulement annuel qui s'effectue au niveau de cette station est de plus irrégulier. Il est très variable d'une année à l'autre. L'étude des écoulements montrent que la période de haute eau est observée dans période (Février, Mars et Avril) avec des débits maximaux enregistrés en mois de Septembre. Les pluies de débits de l'année climatique interviennent donc efficacement au soutien de l'écoulement superficiel, puisque les précipitations provenant soit d'orage locaux en Été, soit des dépressions Sahariennes. Par, ailleurs, la période des basses eaux est également retardée, elle ne fréquence limitée des crues en saison chaude. Ainsi que par le rôle des souterraines alimentant les cours d'eau en période d'étiage.

Les crues de l'Oued El Abiod sont très violentes et soudaines et de courte durée, puisque provenant soit d'orages locaux en Été, soit des dépressions sahariennes au printemps et plus souvent encore en Automne.

Les averses génératrices de ces crues hivernales ont un caractère à la fois durable et n'est pas extensif. Les crues de saison chaude liées généralement à des averses orageuses brèves et localisées, se caractérisent par une courte durée

Chapitre V

Collecte et mise en forme des données

Introduction

Le transport solide en Algérie est évalué au niveau des stations hydrométriques des bassins versants pour la quasi-totalité des épisodes d'écoulement. Les premières mesures systématiques et standardisées de transport solide en suspension ont débuté en Algérie en 1946 à la station hydrométrique de la Traille qui contrôle le haut bassin de l'Oued Isser (Demmak, 1982). Par la suite et au fur et à mesure de l'équipement des stations, ces mesures ont été étendues à une trentaine de stations sur d'autres bassins. Après une interruption d'une dizaine d'années, ces mesures ont été reprises en 1970 et étendues à l'ensemble du réseau hydrométrique national dont le bassin de l'Oued Ouahrane affluent de l'Oued Cheliff.

Dans notre cas d'étude, la seule station dans le bassin d'Oued El Abiod qui présente des données acceptable, cette station appelée station de Mchounech et située dans le barrage de Foum El Gherza .

I- Collecte et mise en forme des données :

La collecte et mise en forme des données et la phase la plus délicate et la plus difficile en hydrologie.

La collecte des données consiste en un dépouillement systématique de tous les fichiers de hauteur d'eau, et de leurs concentrations en matière en suspension correspondantes (en g/l).

La station de Mchounech dispose d'une longue série de mesure hauteur d'eau débit liquides (1971-1994).

Des prélèvements quotidiens des hauteurs d'eau, dont la fréquence augmente surtout en période de crue, sont effectués pour l'estimation du transport solide.

Nous avons été amenés à faire l'inventaire de tous les fichiers ayant rapport avec notre objectif d'étude sur support informatique.

L'état et la nature des données sont présentés dans le tableau V.I.

Tableau (V.I) : Inventaire des fichiers de données

Fichier	Etat de donnée
Débits moyens journaliers	Données à partir des mesures de jaugeage.
Débits de crue	Jaugeage de crus.
Concentration	Bonne qualité de la donnée.
Pluviométrie	Données observées à bonne qualité.
Pluviographe	Bonne qualité de la donnée.

II- Dépouillement des données :

A la station de Mchounnech, nous disposons d'une grande série de mesure, environ 975 valeurs de débit solide instantanés Q_l (en m^3/s), des hauteurs d'eau H (en cm) et de concentration en matière en suspension C (en g/l) allant de septembre 1971 jusqu'à Janvier 1994.

La série question a été mise sous forme d'un fichier (Ts) de base. Avant 1971 mis à part les données de débit, il n'existe aucune autre donnée. Les données ont été classées donc par l'heure et la hauteur (en cm).

Cette banque de données a été sélectionnée pour la recherche d'un modèle mathématique entre le débit solide et le débit liquide $Q_s = f(Q_l)$.

La relation $Q_s = C Q_l$ nous a permis d'obtenir le débit solide (en kg/s) pour chaque hauteur sur la base des matières en suspension.

Nous disposons donc d'un fichier global comprenant la date, l'heure, la hauteur d'eau (en cm), le débit liquide instantané (en m^3/s), la concentration en matière en suspension (en G/l) et le débit solide instantané (en kg/s) de tous les prélèvements effectués.

Il est à remarquer que nous ne disposons pas de toutes les valeurs relatives ou transport solide lors de crues qui varient d'une année à l'autre, charriant une quantité de sédiments variable dans le temps.

Pour les données de débits moyens journaliers :

L'appel aux données relatives aux débits instantanés est incomplet, et son traitement ne permettra pas d'estimer parfaitement les quantités de sédiments transportés le long du cours d'eau de Oued Abiod.

Nous avons été amenés à faire l'inventaire du fichier des apports liquides journaliers.

Ces relevés de débits effectués à la station de Mchounnech ont été saisis à l'A.N.R.H et qui sont disponibles sous forme d'annuaires comprenant les valeurs réelles des débits liquides moyens journaliers dans leur classement chronologique allant de l'année 1971 jusqu'à l'année 1994.

Ces mêmes données sont disponibles sous formes de fichiers des débits liquides moyens journaliers de la même station hydrométrique.

III- Données d'apport à la retenue de Foum El Gherza

Les apports moyens de l'Oued El Abiod au droit de la station de Mchounech sont dans le tableau V.2

Tableau (V.2) : les apports moyens de l'Oued El Abiod au droit de la station de Mchounech

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Annuel
Apport moyens annuels 10^6m^3	1,82	1,02	0,71	0,65	0,77	0,85	1,30	1,19	0,89	0,64	0,22	0,37	10,43

En résultat d'accroissements de la superficie du bassin versant entre la station de Mchounech et le site du barrage, le débit annuel moyen à Mchounech est estimé à $10,43 \cdot 10^6 \text{m}^3$ équivalent de 0,33 m³/s et d'un module relatif de 0,25 l/s.km².

Pour les débits annuels à Mchounech sont enregistrées des valeurs entre le minimum de 0,22 et $1,82 \cdot 10^6 \text{m}^3$.

Ces éléments montrent que l'irrégularité de l'écoulement, soit dans la suite de l'année soit d'une année à l'autre et on vérifie encore qu'on a souvent une série d'années humides puis une série d'années sèches.

Dans la suite de l'année hydrologique Septembre-Aout, les apports à la retenue sont reçus notamment de Septembre à Avril (en moyenne 80% de l'écoulement annuel), tandis que dans les autres mois sont assez plus faibles (20%).

IV- Présentation et mise en forme

IV.1 Classification des données

Nous avons dans notre fichier de base (975) couples de valeurs instantanées de débit solide et de débit liquide observé d'une période de 23 ans. Chaque année hydrologique a été marquée par ces événements exceptionnels (crue) ou par l'absence de prélèvement pour certaines périodes pour des raisons bien différentes.

Pour bien mettre en forme toutes les données, qui seront exploitées, ces dernières ont été classées et ordonnées à partir d'un calcul détaillé de nombres exacts d'échantillons relatifs à chaque année tout en calculant le nombre de données mensuelles.

A partir de ces résultats nous tirons plusieurs informations et nous procédons au traitement statistique.

Les résultats du tableau V.3 nous renseignent sur la taille de la série de données et le nombre de prélèvements effectués au droit de la station de Mchounech.

Toutes les données dont la taille a été déterminée constituent des échantillons nécessaires à la recherche d'une relation significative reliant le débit solide au débit liquide.

Tableau (V.3) : Variation mensuelle et annuelle du nombre de mesure de la concentration des sédiments en suspension.

Année/ Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout	Total
1971	/	2	5	5	/	/	/	/	/	/	/	/	12
1972	28	10	4	2	/	6	/	16	8	18	/	/	92
1973	/	/	/	9	2	/	12	8	5	2	/	/	38
1974	/	8	/	/	/	/	/	/	/	4	/	/	12
1975	13	/	/	/	/	1	7	/	13	/	/	/	34
1976	10	/	6	3	/	6	5	13	/	15	7	/	65
1977	3	/	/	/	10	/	8	5	16	/	/	/	42
1978	1	15	/	/	/	/	/	/	/	/	/	29	45
1979	84	17	/	/	/	/	1	9	/	4	/	/	115
1980	23	4	27	/	/	7	8	/	3	/	/	/	72
1981	/	/	/	/	/	8	/	/	/	18	/	6	32
1982	38	22	32	/	/	/	/	/	/	2	/	/	94
1983	3	16	/	/	/	/	/	/	/	/	/	3	22
1984	/	11	3	/	/	/	/	/	/	/	/	2	16
1985	11	19	4	/	/	/	4	/	18	/	/	4	60
1986	20	26	/	/	/	/	10	6	4	/	/	/	66
1987	/	5	/	/	/	/	/	/	/	/	/	3	8
1988	10	5	/	/	/	/	/	/	2	16	2	4	39
1989	45	/	/	/	/	/	/	11	/	18	4	10	68
1990	/	/	9	/	/	/	/	/	/	/	/	/	9
1991	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
1992	/	/	8	/	/	/	/	/	/	/	/	/	8
1993	/	/	/	/	/	/	3	/	/	/	/	/	3
1994	/	/	/	/	3	/	/	/	/	/	/	/	3
Total	289	160	98	19	15	28	55	68	69	97	6	61	975

A.N.R.H Constantine

Le tableau V.3 montre la variation du nombre du transport solide en suspension. On constate que dans le bassin d'Oued El Abiod, la concentration des sédiments en suspension distingue bien au cours des mois Septembre, Octobre et Novembre. Le mois qui engendre le plus grand nombre de valeur de concentration est le mois de Septembre. Le plus petit nombre se situe au mois de Juillet. A l'échelle annuelle, c'est l'année hydrologique 79/80 qui possède le plus grand nombre de valeurs de concentration. La diminution du nombre de mesures pour les dernières trois années successive 92/93, 93/94 et 94/95 reste mal expliquée, ainsi que celle de l'année 91/92.

V-Répartition de la totalité des données

V.1- Données et méthodes

L'étude porte sur les valeurs instantanées des débits liquides, données en m^3/s , mesurés à l'exutoire du bassin versant durant la période allant de 1971 à 1994.

La méthode d'échantillonnage systématique du transport solide sur la plupart des cours d'eau algériens est l'échantillonnage uni ponctuel. Un échantillon est prélevé par l'observateur en un point de la section mouillée au niveau de la station hydrométrique. L'analyse de laboratoire des échantillons prélevés est effectuée selon les procédés classiques à savoir filtrage, séchage à l'étuve et pesée. L'évaluation du transport solide durant une crue est effectuée de la même façon que pour les débits liquides, sur la base d'un dépouillement des enregistrements.

Concernant les débits liquides, les lectures de hauteur d'eau sont transformées en débits liquides grâce aux courbes d'étalonnage établies par les services de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.

V.2- Analyse des débits instantanés

A l'échelle de la crue, la puissance semble donner de meilleurs coefficients de corrélation (Probost et Bezerbachi, 1986). Ainsi nous avons été amenés à corréler le débit liquide et le débit solide pour la série des grandes crues bien observées et qui constituent le facteur principal du transport solide (figure V.1).

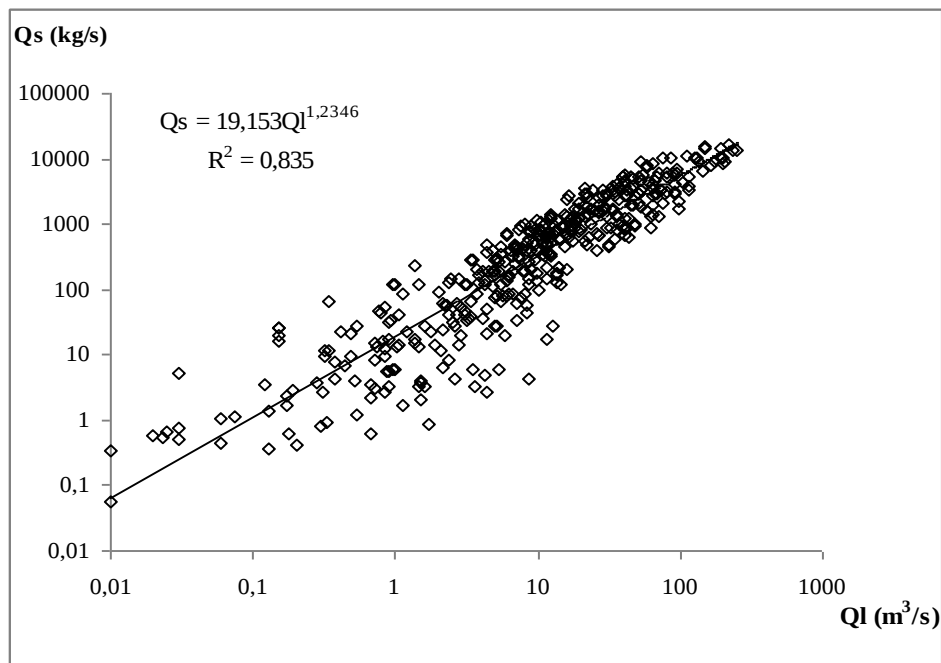


Figure (V.1) : Représentation graphique des débits solides-débit liquides : totalité des données de 1972-1994 à la station de Mchounech

Comme pour la plupart des cours d'eau, on trouve pour l'Oued El Abiod une bonne relation en puissance. Une première analyse, graphique, de cette figure montre qu'à de faibles débits liquides généralement estimé (moins de 0,5 m³/s) peuvent être associés de forts débits solide (près de 8 kg/s) et l'équation trouvée est de la forme :

$$Q_s = 19.153Q_L^{1.2436} \quad (\text{V.12})$$

V.3- La répartition de la montée et la décrue de la totalité des données

La représentation de l'ensemble des données a été présentée séparément de la montée et la décrue des hydrogrammes des crues. Les résultats observés montrent l'excellente tendance de la courbe puissance entre les débits liquides (Ql) et les débits solides (Qs) pour les données de 48 crues étudiées dans la station de Mchounnech (voir figures, V.2 et V.3). Le coefficient de corrélation atteint le 0,8 pour la montée et la décrue des hydrogrammes des crues étudiés.

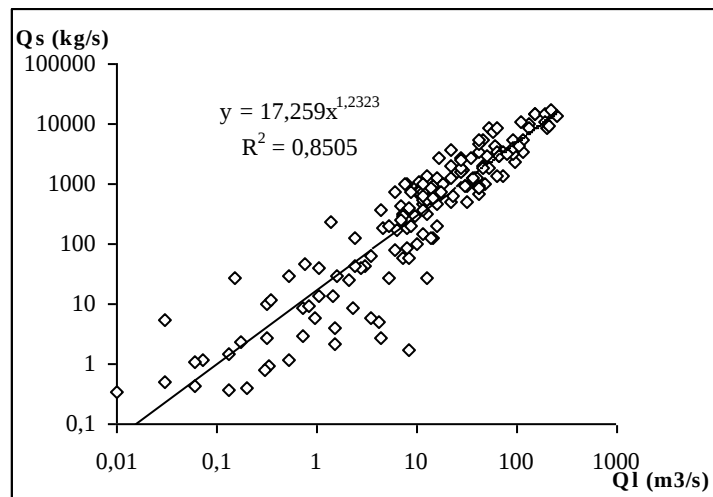


Figure (V.2) : Présentation graphique des débits solides et débits liquides durant la période de 1971-1994 (a : la montée de l'hydrogramme)

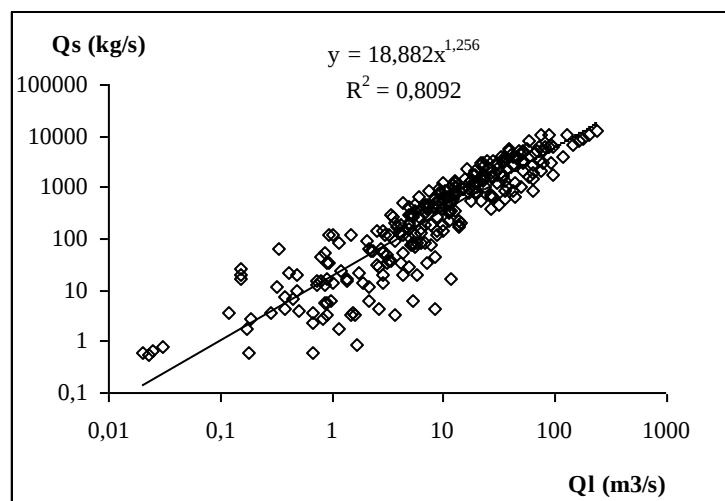
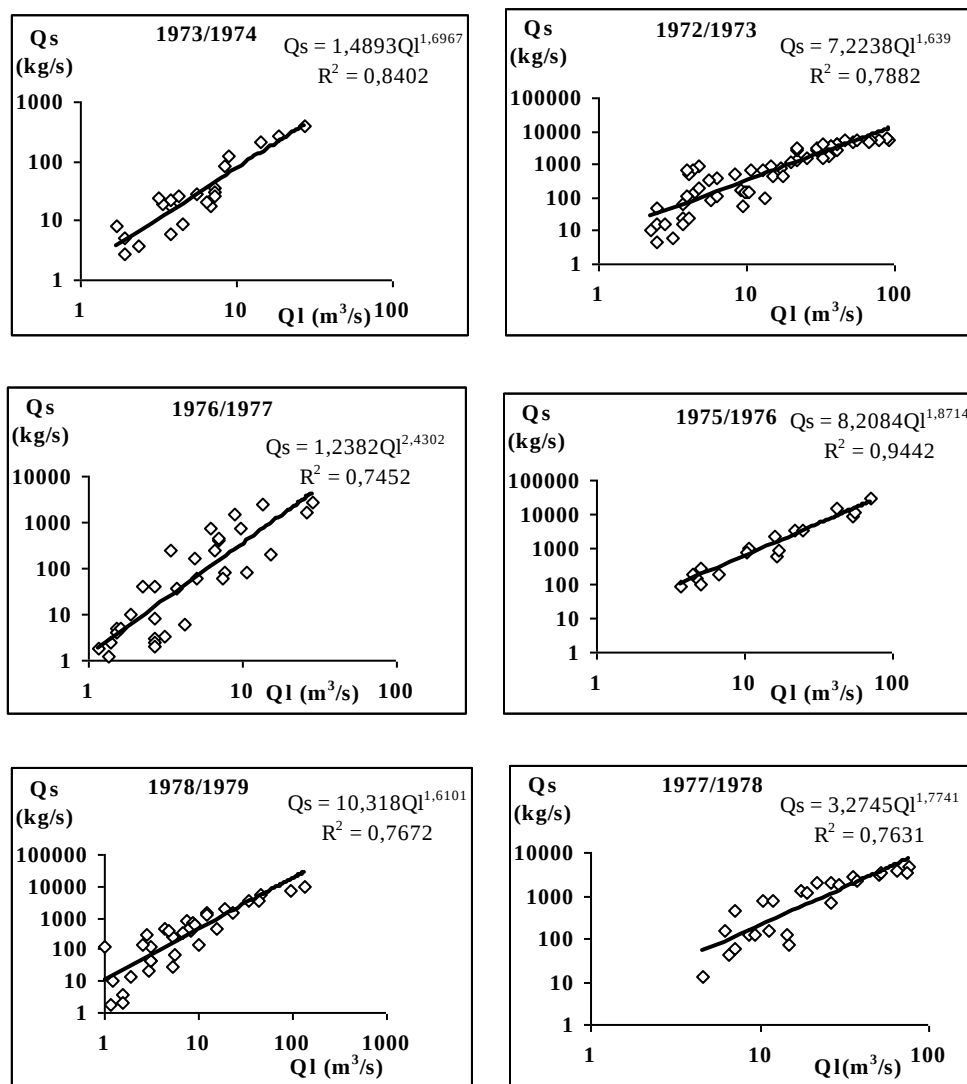


Figure (V.3) : Présentation graphique des débits solides et débits liquides durant la période de 1971-1994 (a : la décrue de l'hydrogramme)

V.4 - Répartition annuelles des débits solides-débits liquides

La longue série de données mise à notre disposition nous incite à rechercher les années qui peuvent avoir influence directe sur le calcul des apports solides au droit du barrage de Foum El Gherza.

Les graphes relatives à l'évolution du couple (Q_s , Q_l) : donnent préalable toutes les informations relatives à l'évolution du couple (Q_s , Q_l) dans le temps et une meilleure explication de la variation annuelle du débit solide en fonction du débit liquide.



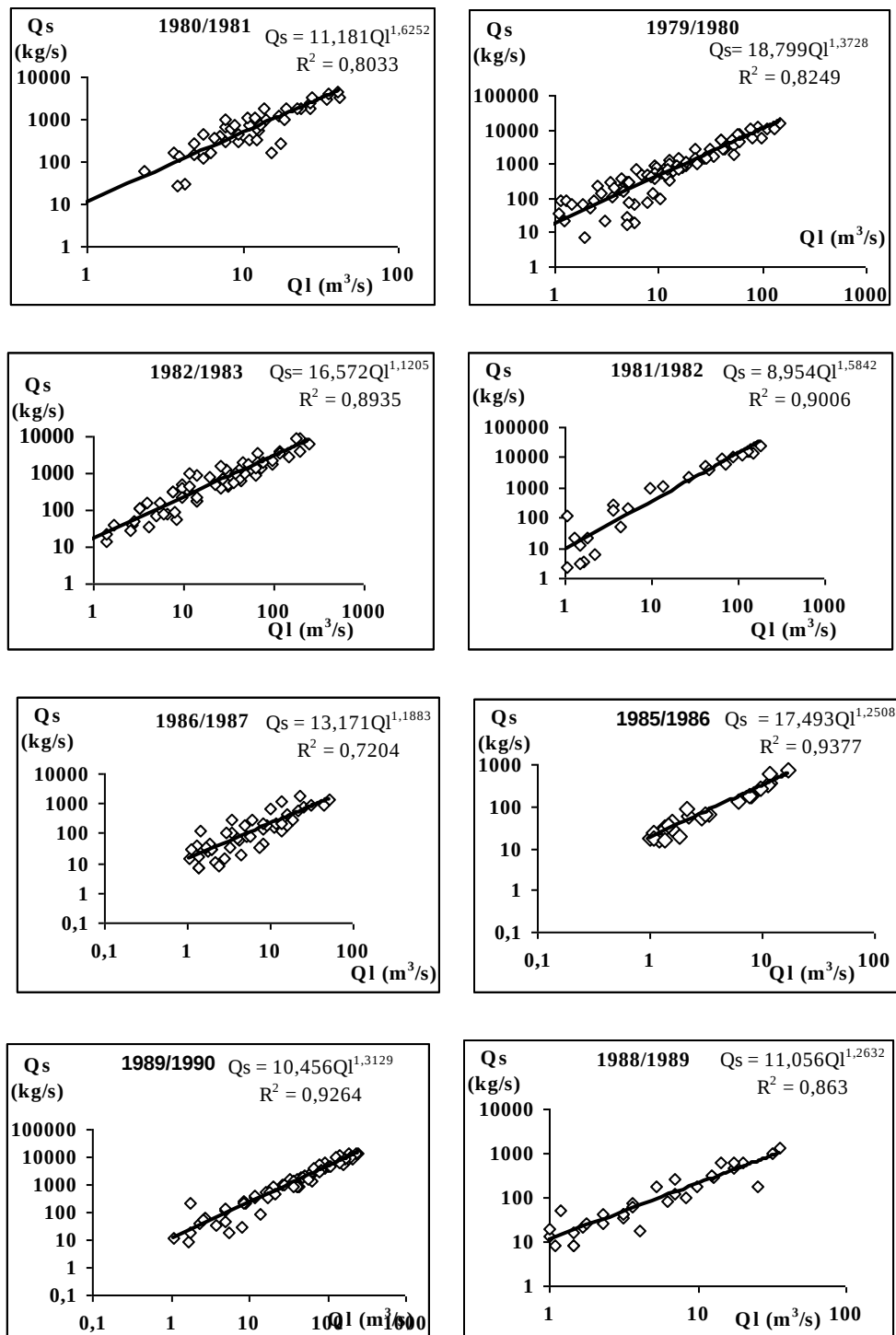


Figure (V.4) : Répartition annuelle des débits solides-débit liquides

Le tableau présenté ci-dessous montre les résultats de la représentation graphique des couples.

Tableau (V.4) : Modèles retenues et leur coefficient de corrélation calculés à l'échelle annuelle pour la station de Mchounech

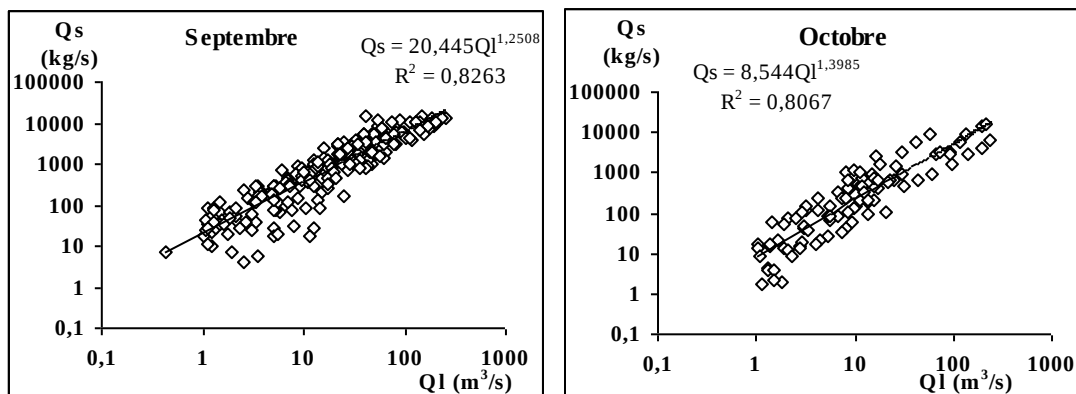
Echelle Temporelle	Type de modèle	Modèles retenus	Coefficient de corrélation (R^2)
1972	Puissance	$Q_s = 7,2238Q_l^{1,7882}$	0,7882
1973	Puissance	$Q_s = 1,4892Q_l^{1,6967}$	0,8402
1975	Puissance	$Q_s = 8,2084Q_l^{1,8714}$	0,9442
1976	Puissance	$Q_s = 1,2382Q_l^{2,4302}$	0,7452
1977	Puissance	$Q_s = 3,2745Q_l^{1,7741}$	0,7631
1978	Puissance	$Q_s = 10,318Q_l^{1,6101}$	0,7672
1979	Puissance	$Q_s = 18,799Q_l^{1,3728}$	0,8249
1980	Puissance	$Q_s = 11,181Q_l^{1,6252}$	0,8033
1981	Puissance	$Q_s = 8,954Q_l^{1,5}$	0,9006
1982	Puissance	$Q_s = 16,572Q_l^{1,1205}$	0,8935
1983	Puissance	$Q_s = 49,434Q_l^{0,9811}$	0,9214
1985	Puissance	$Q_s = 17,49Q_l^{1,2508}$	0,9377
1986	Puissance	$Q_s = 13,171Q_l^{1,1883}$	0,72
1987	Puissance	$Q_s = 0,1135 Q_l^{0,6624}$	0,9241
1988	Puissance	$Q_s = 11,056Q_l^{1,2632}$	0,863
1989	Puissance	$Q_s = 10,456Q_l^{1,3129}$	0,9264

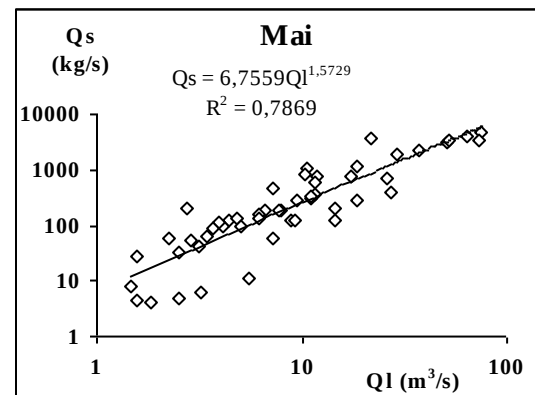
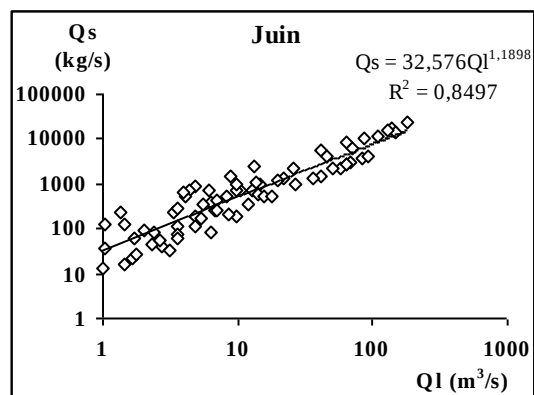
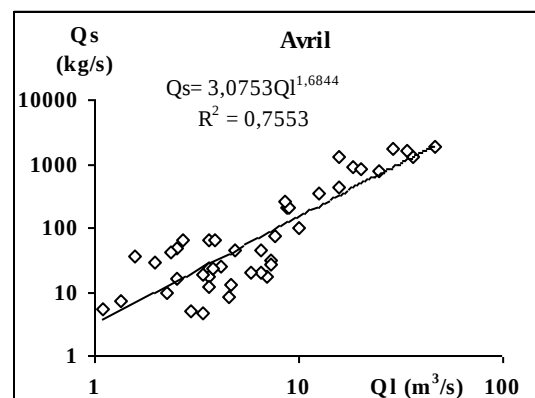
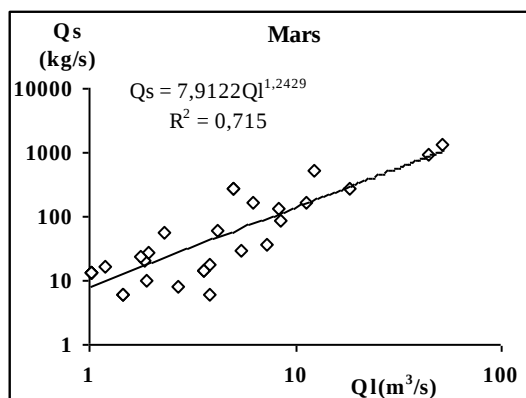
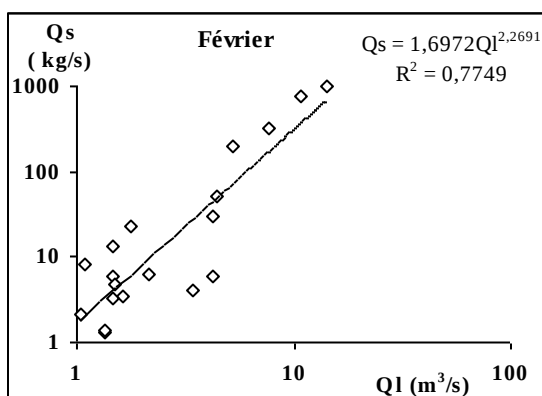
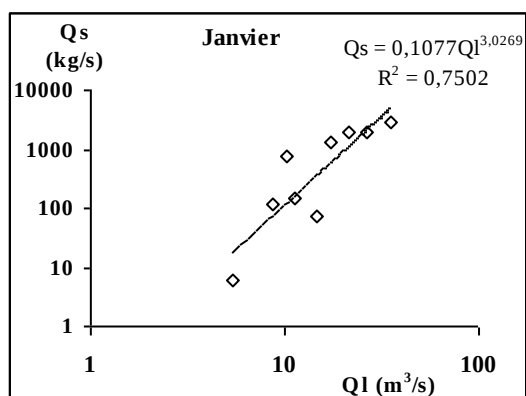
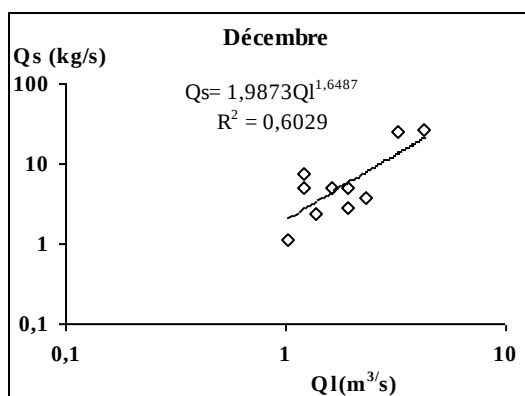
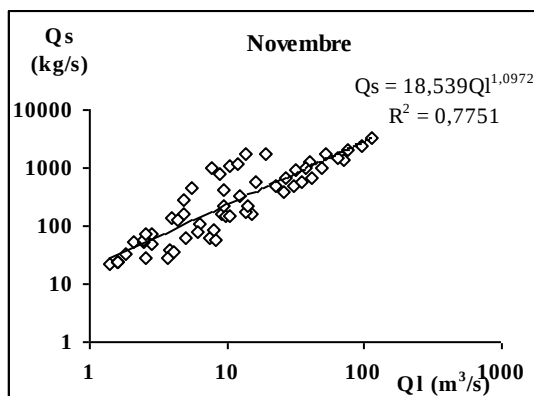
La variation annuelle et mensuelle de débit liquide-débit solide à la droite de la station a été montrée dans les figures (V.2 et V.3), la relation reliant le débit liquide (Q_l) et le débit solide (Q_s) montre la corrélation moyenne à l'échelle annuelle et mensuelle.

Le coefficient de corrélation à l'échelle annuelle est varié entre (0,72 et 0,9442) par contre à l'échelle mensuelle, présente des bonnes corrélations comprises entre (0,60 et 0,8912).

V.5- Répartition mensuelle des débits solides-débits liquides

Pour suivre l'évolution du débit solide en fonction du débit liquide dans le temps, et dans le but d'avoir une idée plus précise sur la forme des données, une mise en graphe de toutes les valeurs mensuelles du couple (Q_s , Q_l) est imposée (figure V.2).





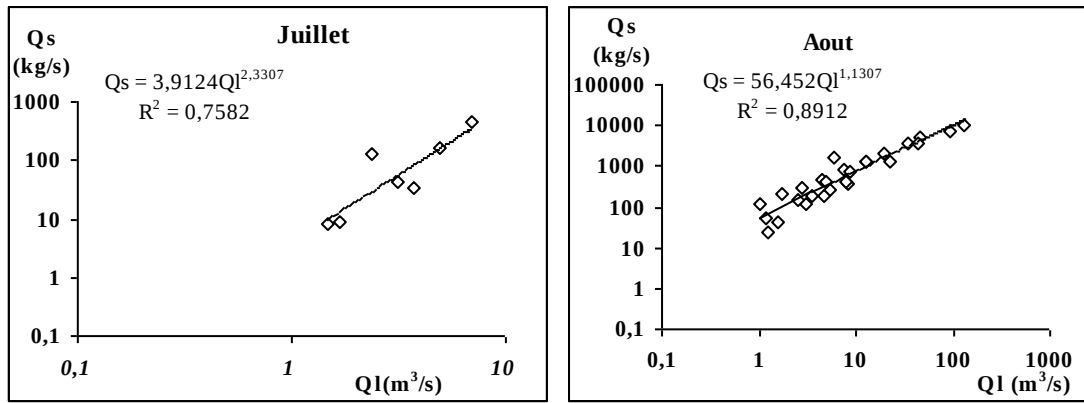


Figure (V.5) : Répartition mensuelle des débits solides-débit liquides

Chaque mois est marqué par une forme spécifique caractérise la variation des apports solides en fonction des apports liquides, cette variation nous renseigne sur les limites que atteindre le couple (Q_s, Q_l), ainsi que les périodes ou des événements extrêmes ont été enregistrés.

Les résultats de la représentation graphique des couples débit liquide débit solide à l'échelle mensuelle sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau (V.5) : Modèles retenues et leur coefficient de corrélation calculés à l'échelle mensuelle pour la station de Mchounech

Echelle Temporelle	Type de modèle	Modèles retenus	Coefficient de corrélation
Septembre	Puissance	$Q_s = 20,445Q_l^{1,2508}$	0,83
Octobre	Puissance	$Q_s = 8,544Q_l^{1,3985}$	0,81
Novembre	Puissance	$Q_s = 18,539Q_l^{1,0972}$	0,78
Décembre	Puissance	$Q_s = 1,9873Q_l^{1,6487}$	0,60
Janvier	Puissance	$Q_s = 0,1077Q_l^{3,0269}$	0,7502
Février	Puissance	$Q_s = 1,6972Q_l^{2,2691}$	0,7749
Mars	Puissance	$Q_s = 7,9122Q_l^{1,2499}$	0,715
Avril	Puissance	$Q_s = 3,0753Q_l^{1,6844}$	0,7553
Mai	Puissance	$Q_s = 6,7559Q_l^{1,5729}$	0,7869
Juin	Puissance	$Q_s = 32,576Q_l^{3,9124}$	0,8497
Juillet	Puissance	$Q_s = 3,9124Q_l^{2,3307}$	0,7582
Aout	Puissance	$Q_s = 56,452Q_l^{1,1307}$	0,8912

V.6- Répartition saisonnière des débits solides-débits liquides

Pour étudier les réponses du bassin aux débits liquides et matières en suspension au cours de l'année hydrologique, nous avons jugé utile de regrouper suivant les différentes saisons les valeurs instantanées, et d'analyser la relation liant les débits liquides aux débits solides en suspension.

La visualisation de l'ensemble des données à l'échelle saisonnière permet d'identifier la saison la plus contribuable à l'érosion du bassin de l'Oued El Abiod.

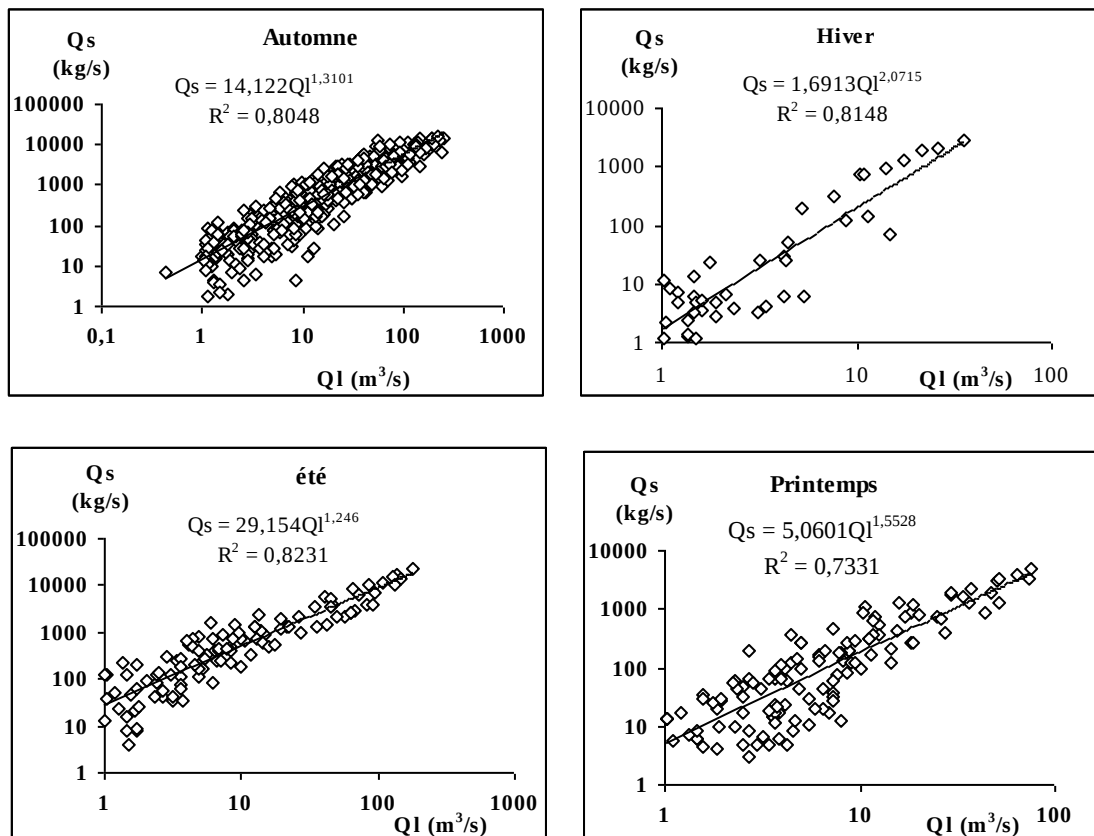


Figure (V.6) : Variation saisonnière des débits solides-débit liquides

La relation entre le débit liquide et le débit solide le long d'Oued El Abiod montre, la bonne corrélation puissance obtenue pendant la saison été et Automne.

V.6.1- Analyse graphique

Les résultats de la représentation graphique des couples débit liquide et débit solide laisse apparaitre que les variations saisonnières des apports solides suivent celles des apports liquides. Les valeurs maximum des apports solides, s'observent au débit d'Automne et la fin du Printemps, les apports solides minimaux mensuels sont enregistrés en Été.

Le transport solide d'Automne reste le plus élevé, dépassant significativement les autres saisons. Après une longue saison sèche caractérisée par de fortes températures et par la destruction des agrégats du sol par ces dernières, succède l'Automne avec des pluies agressives (saison d'inondation)

qui surviennent en Septembre et Octobre permettant de transporter des quantités considérables de matière en suspension.

Quoique moins importantes que celles de l'Automne, les pluies du Printemps survenues après un Hiver peu pluvieux favorisant la déstabilisation de la structure du sol le rendant plus vulnérable à l'érosion, trouvent un sol meuble et déclenchement alors, des écoulements fortement chargés.

En Hiver, période de transition entre les deux saisons humides, bien que la pluviométrie soit nettement faible, ses valeurs très dispersées.

Les faibles débits pendant cette saison sont en accord avec les charges sédimentaires faibles.

L'Eté se distingue des autres saisons, par ses valeurs importantes provenant soit d'orage locaux soit des dépressions sahariennes.

La charge solide en été est plus importante que celle transportée par les crues printanières, pour deux raisons. D'une part, les pluies estivales sont généralement intenses et plus agressives, et d'autre part, le bassin versant sans couverture végétale.

Le tableau (V.1) présenté ci-dessous montre, les résultats de la représentation graphique des couples débit liquide et débit solide à l'échelle saisonnière pour les saisons représentatives d'Hivers et du Printemps et aussi sur les deux grands saisons, Eté et Automne de la station hydrométrique étudiée Mchounech.

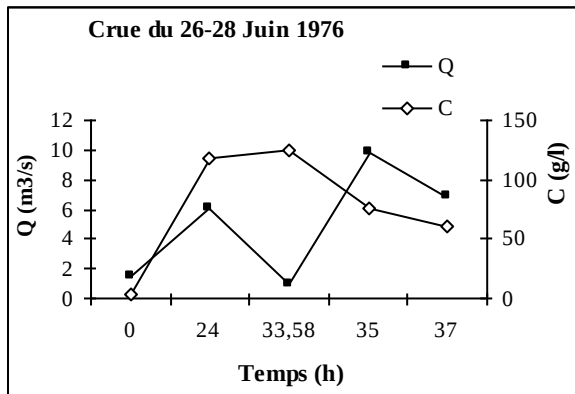
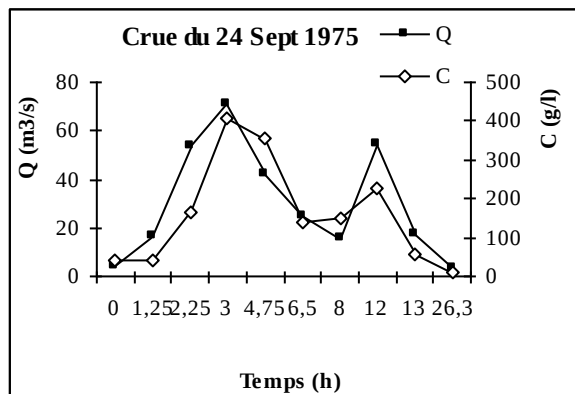
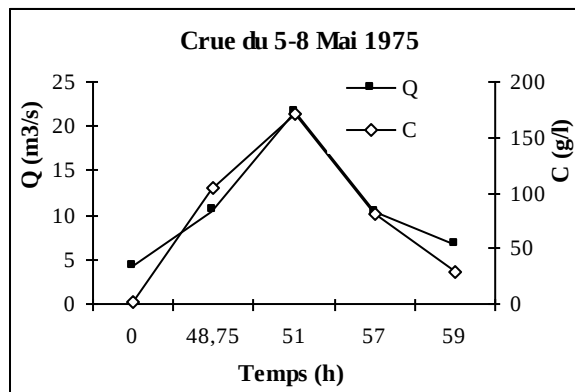
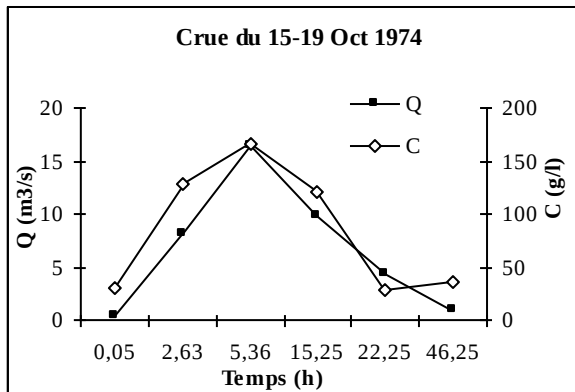
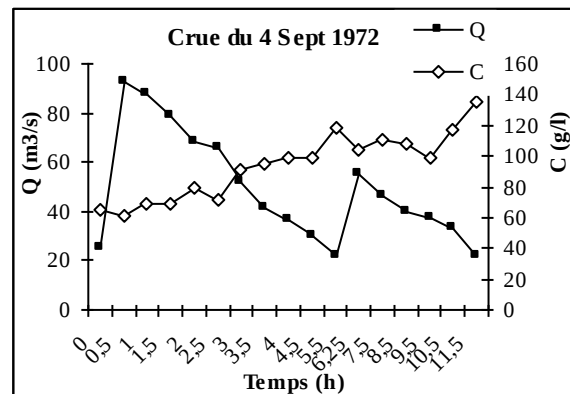
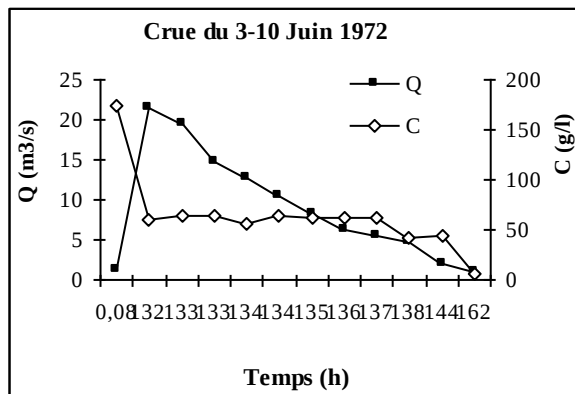
Tableau (V.6) : Modèles retenues et leur coefficient de corrélation calculés à l'échelle saisonnière pour la station de Mchounech

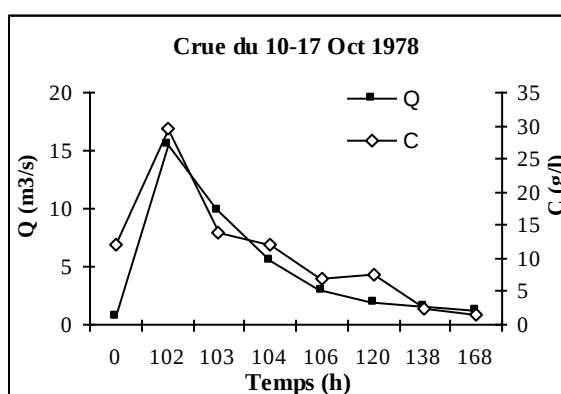
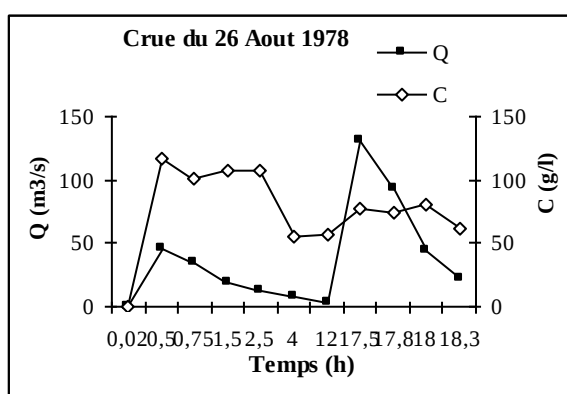
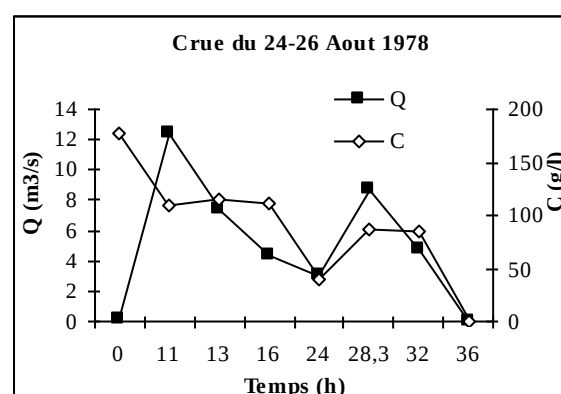
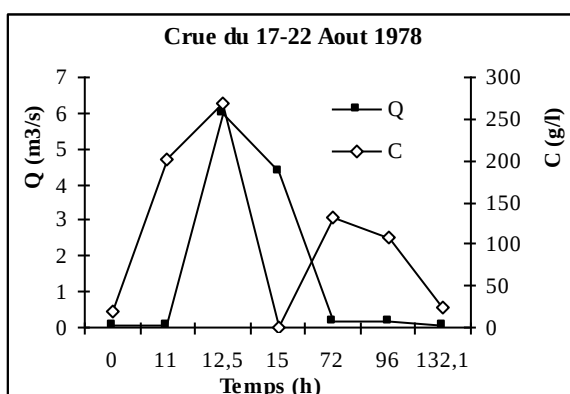
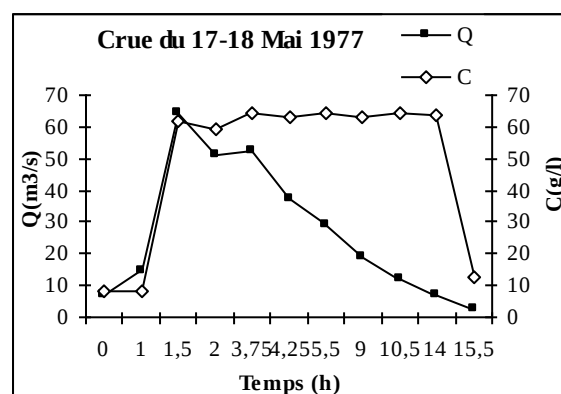
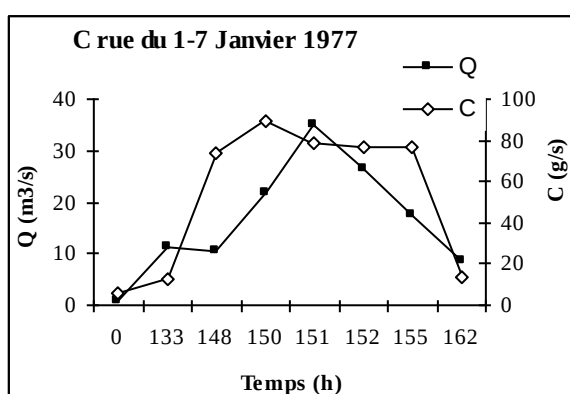
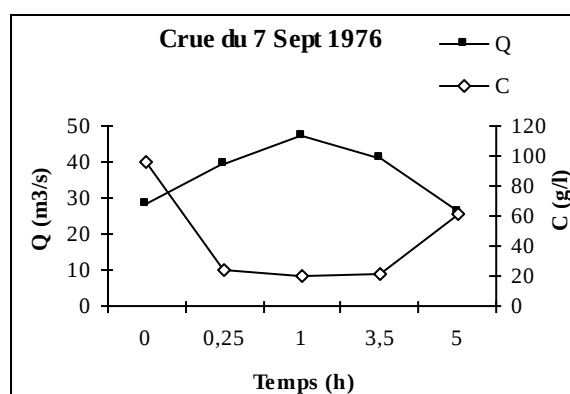
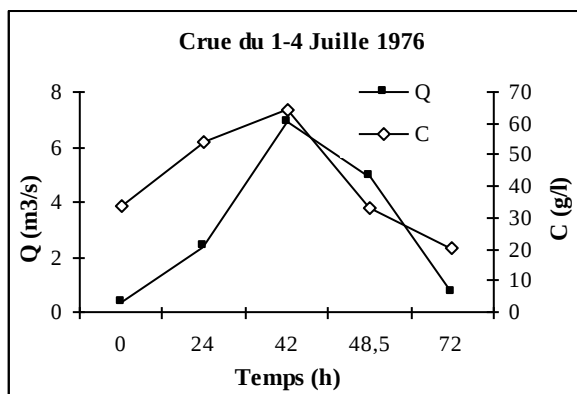
Echelle Temporelle	Type de modèle	Modèles retenus	Coefficient de corrélation
Hiver	Puissance	$Q_s = 1,6913Q_l^{2,0715}$	0,8148
Automne	Puissance	$Q_s = 14,122Q_l^{1,3101}$	0,8048
Printemps	Puissance	$Q_s = 5,0601Q_l^{1,5528}$	0,7331
Eté	Puissance	$Q_s = 29,154Q_l^{1,246}$	0,8231

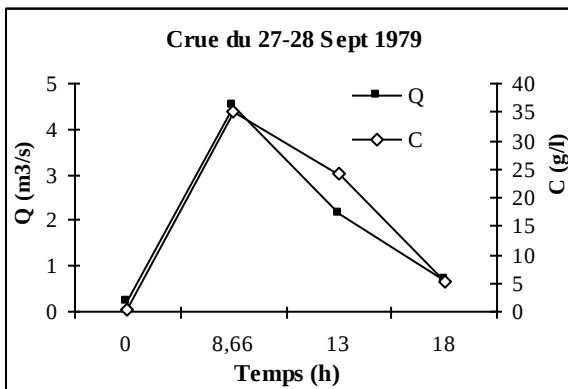
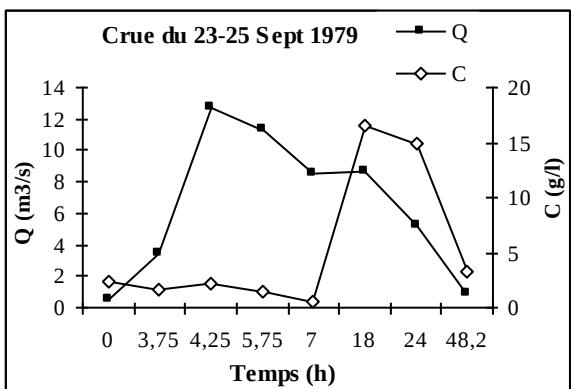
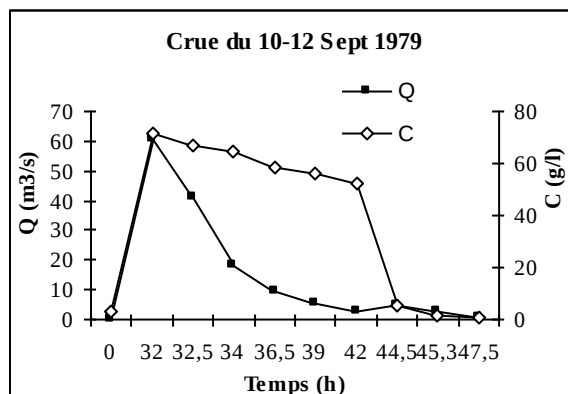
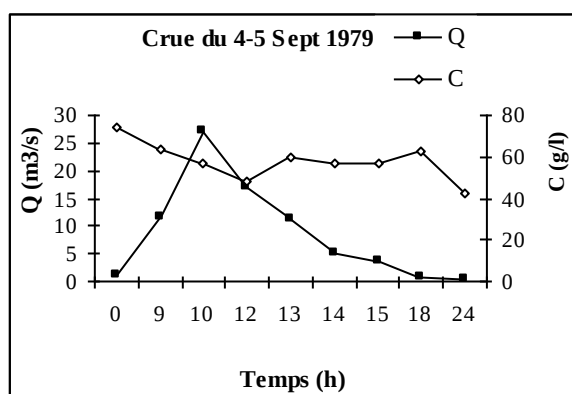
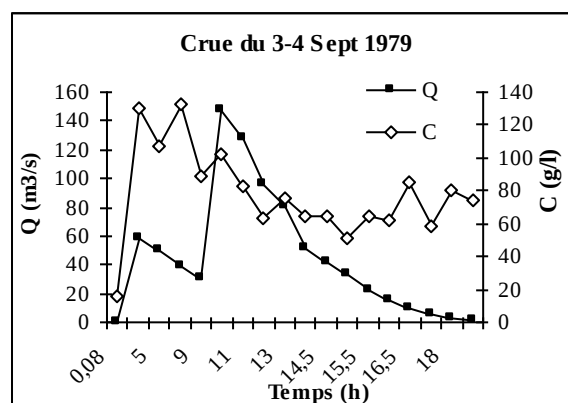
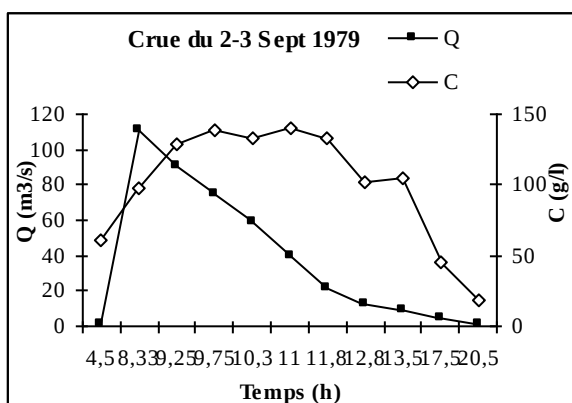
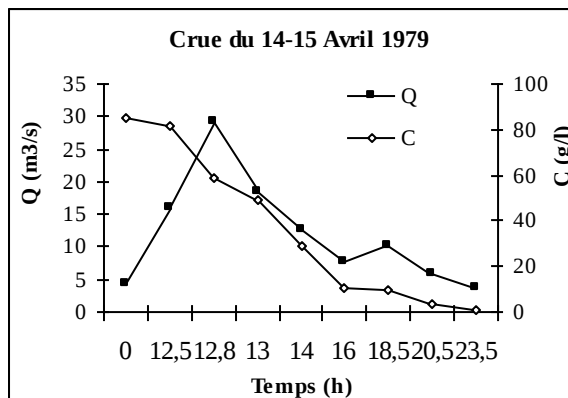
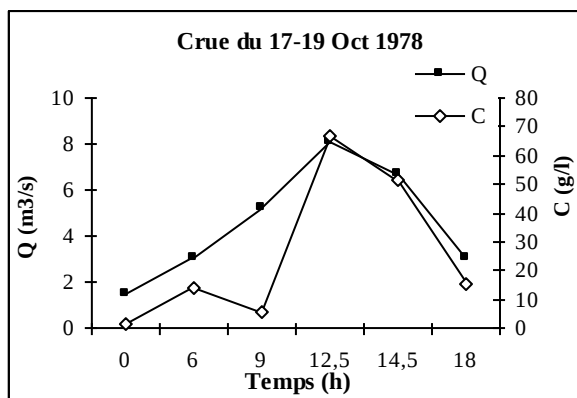
VI-Analyse des crues

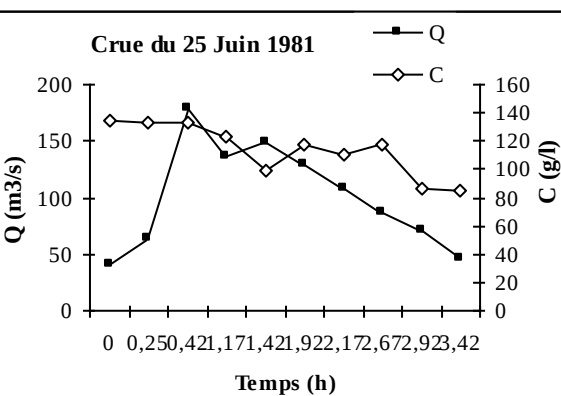
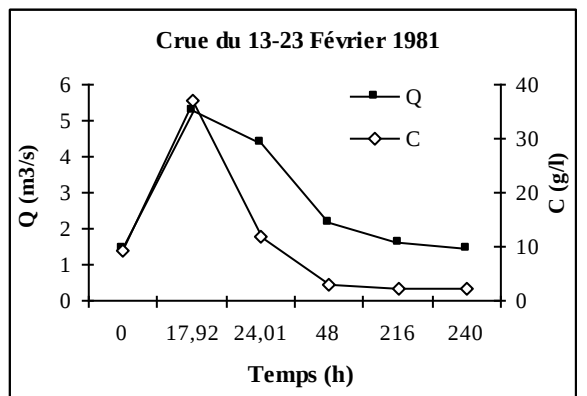
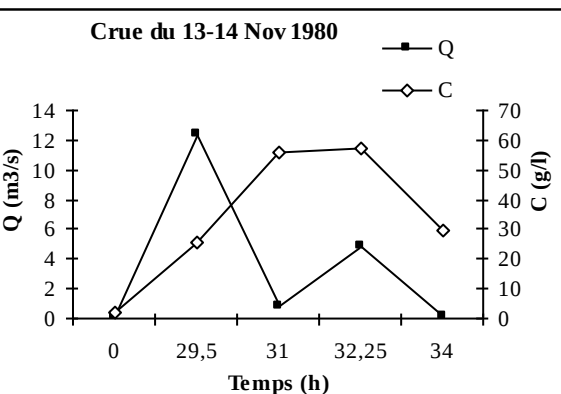
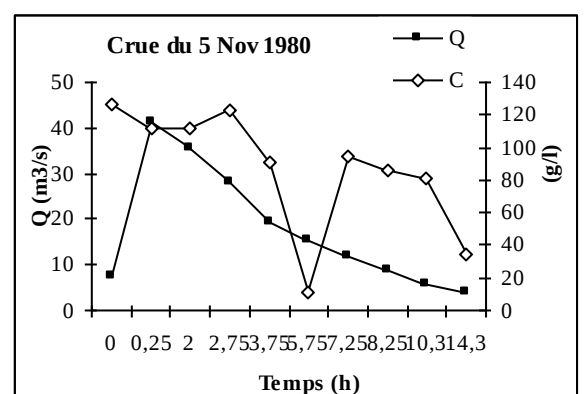
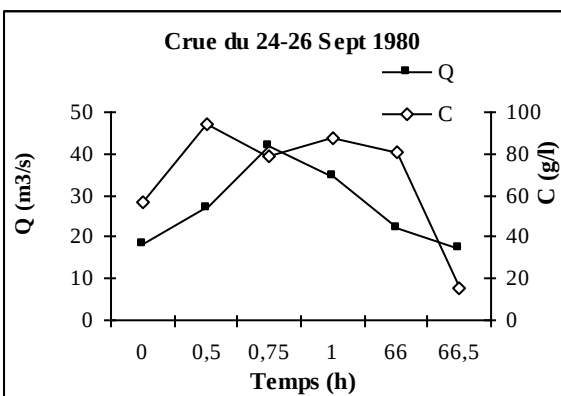
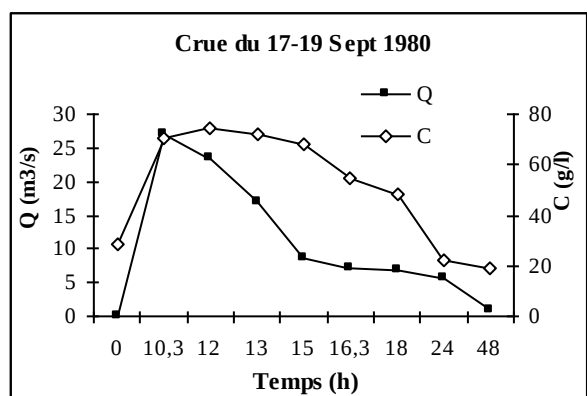
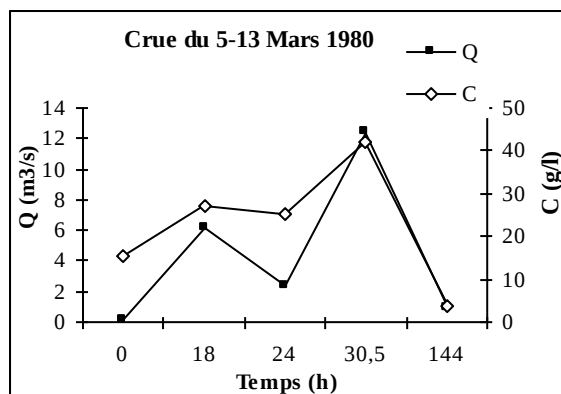
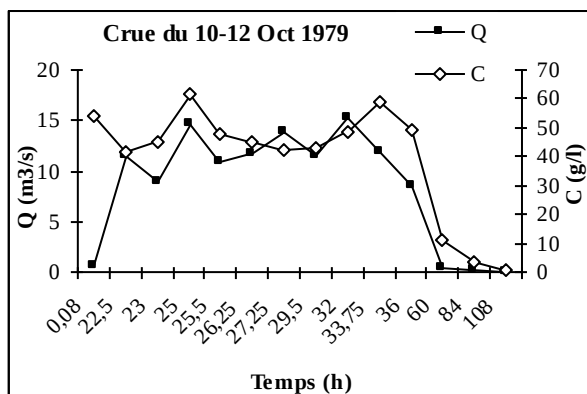
Les crues dans notre étude ont été analysées dans la station de Mchounech où les données sont disponibles. Les données des crues dans cette station montrent que des piques de concentration et des débits écoulement instantanés atteignent en même temps des valeurs maximales. Autre cas où les piques de concentration sont retardées avant la pointe des débits d'écoulement. Ce retard a été montré aussi dans les travaux de (Peter D. Diczienzo, Shiu-hung Luk, 1997) et qui est le contraire à ce qui a été trouvé (Piest et al, 1975) dans des caniveaux du fond de vallée. Il faut montrer que l'entraînement et le transport limités des sédiments précédemment déposés dans les lits larges et peu profonds (cas des oueds Algériens), et les caractéristiques des sédiments frais au niveau des lits et des rives des oueds n'arrive pas au bon moment à la station de jaugeage (station hydrométrique) même jusqu'à ce que l'écoulement atteigne une pointe. (Marouf, Remini, 2011).

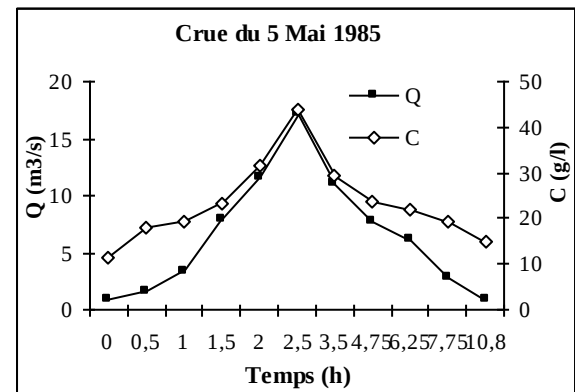
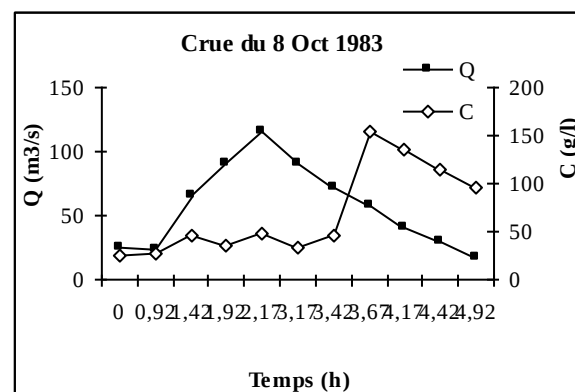
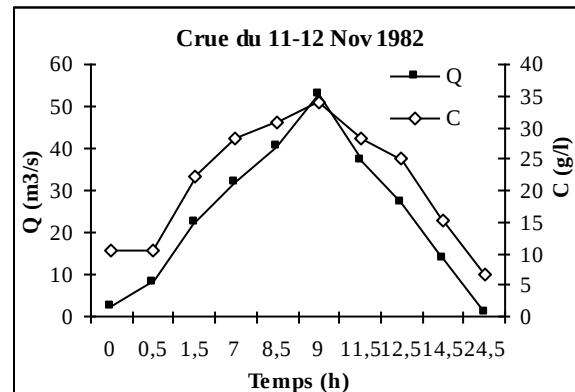
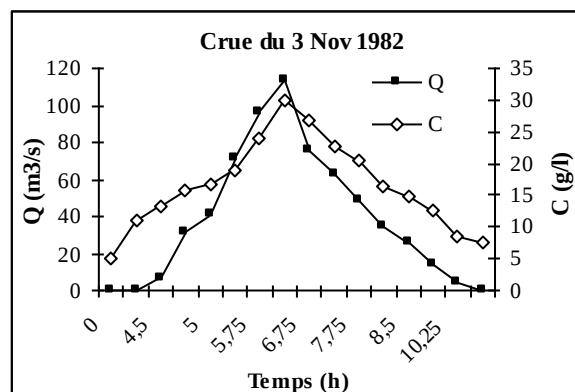
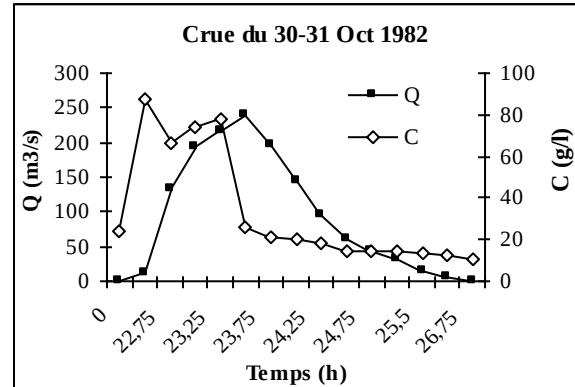
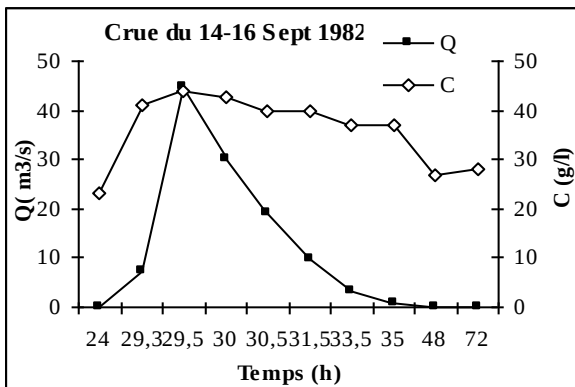
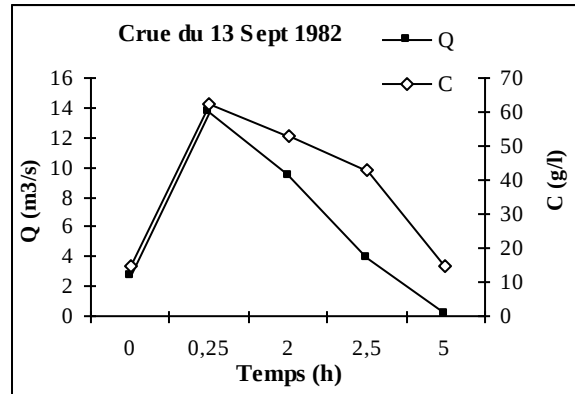
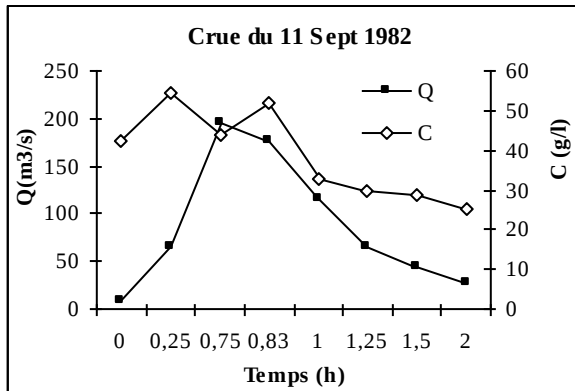
Seulement certains cas de figures présentent le contraire, le cas où les concentrations sont en avance par rapport aux débits de pointe lors d'une crue. Cette constatation a été aussi observée dans les caniveaux du bassin expérimental de Shenchong en Chine (Peter et Dicenzo, 1997).











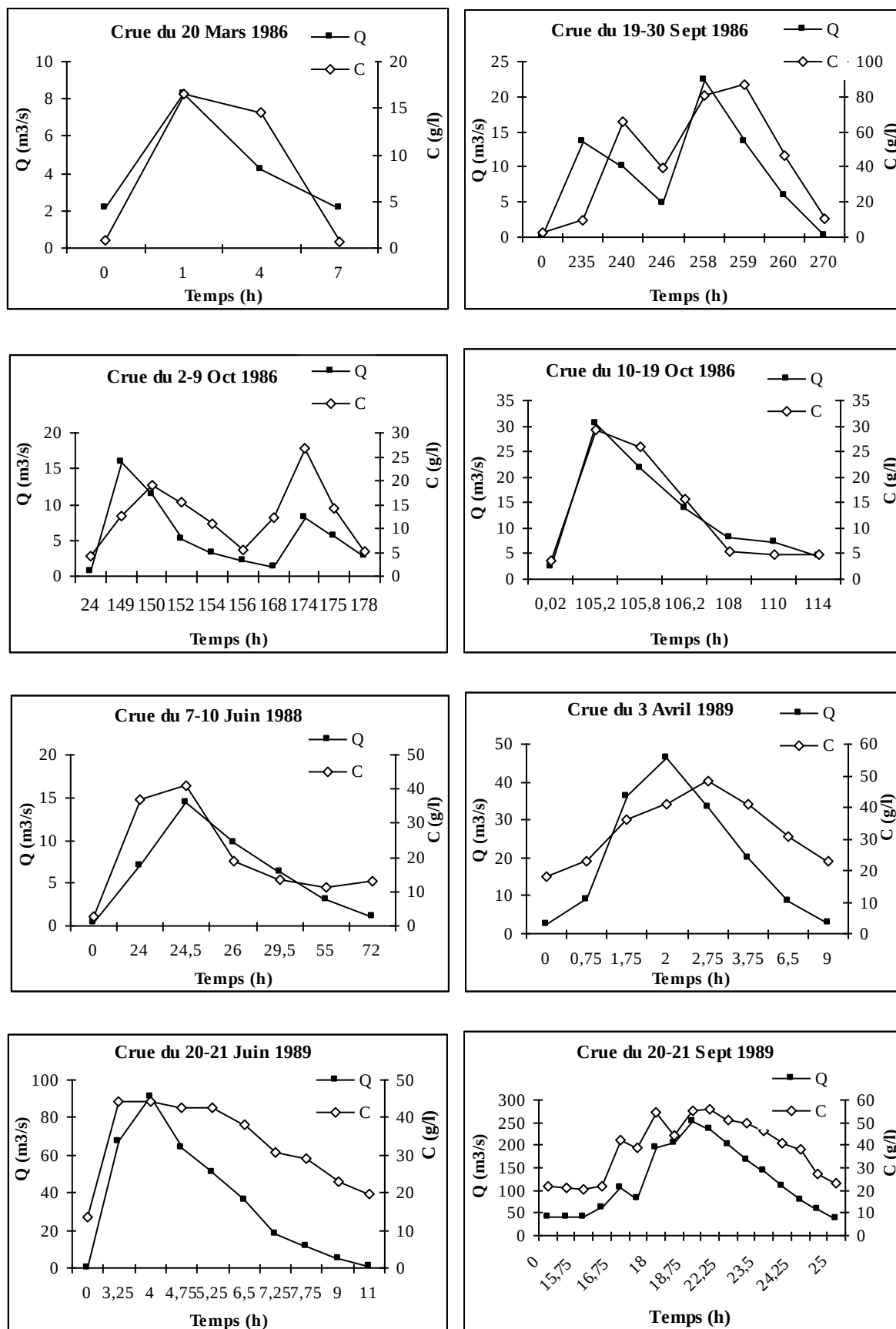


Figure (V.7) : Relation entre la concentration des sédiments et débit d'écoulement (station de Mchounech)

Chapitre VI

Traitement et interprétation des résultats

I. Introduction :

Toute étude climatique ou hydrologique est basée sur l'exploitation des séries de données recueillies pendant des périodes plus ou moins longues continues ou discontinues.

Pour prédire l'effet d'envasement et pour établir des relations empiriques entre les facteurs contribuant au phénomène, l'analyse hydrologique emploie des méthodes diverses ayant recours à la mathématique en générale et à la statique en particulier.

Ces méthodes statiques exigent que les données soient bien organisées et bien stockées, pour parvenir à une décision ou une conclusion.

Lors de la collecte et de l'analyse des données ; on doit toujours avoir à l'esprit, un fait primordial, la valeur de la variable mesurée est inconnue.

La plupart des données recueillies constituent des échantillons nécessaires à une définition approximative de cette vraie valeur.

Le principal but à atteindre avec la présente étude est l'exploitation de cette banque de données pour l'estimation de sédiments qui transitent à travers le cours d'eau considéré, et susceptible de se déposer au droit du barrage.

A cet effet, nous avons soumis les données préparées à un traitement statique et informatique pour identifier le meilleur modèle régressif entre la variable explicative (débit liquide) et la variable expliquée (débit solide). Ces deux variables aléatoires (Q_s, Q_l) constituent les paramètres clés de notre étude.

Nous baserons notre étude sur l'ensemble des données présentées en chapitre précédent

II. METHODE DE REGRESSION LINEAIRE

II.1 Avantage d'un modèle

L'ingénieur a souvent à prendre des décisions au sujet des phénomènes dont il ne connaît le comportement que par des données mesurées.

La connaissance fondamentale des phénomènes en question nous permet de proposer un modèle précis qui a pour avantage :

- L'exploitation des données expérimentales, exprimant le mieux possible un problème donné.
- Réduction de l'ensemble de données ou nombre de modèle ; tout en gardant l'information continue dans les données.
- simulation du comportement de système.

II.1.1 Estimation des paramètres du modèle

En pratique, avant de procéder à l'estimation, il est intéressant de vérifier si le modèle proposé est linéaire ou linéarisable.

En fait, un modèle est linéaire s'il peut s'écrire sous la forme :

$$Y = A + Bx \dots \dots \dots (I)$$

Un modèle est linéarisable s'il peut être ramené à la forme (I) par un changement de variable.

En général, pour les modèles linéaire ou linéarisable, la méthode des moindres carrés est la plus utilisée pour l'estimation des paramètres, mais concernant les modèles non linéarisables, le recours aux méthodes de programmation non linéarisable est inévitable.

II.1.2 Méthode des moindres carrés

La méthode des moindres carrés est un outil mathématique permettant de faire une approximation de données par une fonction analytique.

Cette méthode consiste à minimiser la somme des carrés des écarts entre les valeurs observées et les valeurs théoriques d'une fonction.

La droite qui approche un ensemble de points, obéissant à la norme :

$$\sum_{i=1}^n E^2 = \sum_i^n (y_1 - y_1^*)$$

Est la meilleure droite d'ajustement, avec y^* est fonction analytique.

La droite présentant cette propriété est dite, s'ajuster aux données au sens des moindres carrés, et elle est appelée « droite de régression au sens des moindres carrés ».

II.1.3 Coefficient de corrélation

On est amené à déterminer statistiquement le degré de liaison d'une relation de régression par la détermination d'un coefficient de corrélation « r » défini par la formule :

$$r = \sqrt{\frac{[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

Avec :

x_i : variable connue, correspond à un débit liquide Ql instantané.

y_i : Variable, connue, correspond à un débit solide Qs instantané.

Moyenne arithmétique de la série « x_i ».

Moyenne arithmétique de la série « y_i ».

n : Taille de la série.

Le coefficient de détermination « R^2 » est toujours compris entre 0 et 1, il vaut (1) dans le cas d'une liaison fonctionnelle parfaite, il vaut (0) dans le cas contraire. Il explique surtout la part de la variance totale.

L'application de la méthode de régression permet de combler des lacunes, en appliquant du modèle le plus convaincant au vu du coefficient de détermination « R^2 » trouvé la liaison entre les variables connues et les variables inconnues.

II.2 Présentation des modèles régressifs

II.2.1 Modèle linéaire « type de droite »

C'est un modèle de type linéaire, son équation de droite est de la forme suivante :

$$y = A + Bx$$

« B » représente la pente de la droite et est égale à :

$$B = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n x_i) (\sum_{i=1}^n y_i)}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n x_i)^2}$$

« A » est l'ordonnée à l'origine de la droite et est égale à :

$$A = \bar{y} - B\bar{x}$$

Ou $\bar{x}$ et $\bar{y}$ sont les moyennes arithmétiques respectivement de la série des « Xi » et de la série des « Yi ».

II.2.2 Modèle logarithmique

Ce modèle est gouverné par l'équation suivante :

$$Y = \ln X + B$$

II.2.3 Modèle de l'exponentiel

L'équation de ce modèle est de la forme suivante :

$$Y = Ae^{BX}$$

Nous obtenons l'équation suivante pour une transformation logarithmique :

Ou

$$\begin{aligned} \ln Y &= \ln A + \ln e^{BX} \\ \ln Y &= \ln A + BX \text{orme} \end{aligned}$$

Et pour une puissance équation suivante pour une transforme l'équation obtenue.

II.2.4 Modèle puissance

L'équation puissance de ce modèle est de forme suivante :

$$Y = AX^B$$

Si on introduit le logarithme népérien on a

$$\ln Y = \ln A + B \ln Y$$

D'après les résultats obtenus, Ce modèle présente avec le modèle polynomial les meilleures valeurs de régression R^2 .

II.2.5 Modèle polynial

Pour un modèle linéaire et dans le cas d'un polynôme de 2^{ème} degré, l'équation de la parabole est de la forme suivante :

$$Y = A + BX + CX^2$$

Pour résoudre cette équation afin de déterminer les valeurs des coefficients A, B, C, il faut résoudre un système de trois équations à trois inconnues.

Ces trois équations sont des équations normales.

Remarque :

Pour les modèles étudiés, il est à rappeler que la variable X représente le débit liquide Q_L en m^3/s .

La variable Y représenté le débit solide en kg/s.

Vu l'importance de la quantité des données à notre disposition, nous allons chercher les modèles régressif, traiter leurs caractéristiques et déterminer les valeurs des coefficients de corrélation R^2 à l'aide d'un micro-ordinateur.

III.TRAITEMENT DES DONNES**III.1 Recherche des relations : Débit liquide-concentration-débit solide****III.1.1 Choix du modèle**

Pour trouver une formulation mathématique au phénomène de transport solide, nous avons préparé des fichiers de base comprenant la date, le débit liquide (en m^3/s) le débit solide (en Kg/s) et la concentration en matière en suspension (en g/l) pour toute la série d'observation (chaque prélèvement instantané effectué).

Le fichier de base a permis d'extraire d'autres fichiers, regroupant les informations nécessaires pour le traitement des données.

- Un fichier présentant les couples (Q_L , C) relatifs aux débits annuels.
- Un fichier présentant les couples (Q_L , C) relatifs aux débits mensuels.
- Un fichier présentant les couples (Q_S , Q_L) relatifs aux débits annuels.
- Un fichier présentant les couples (Q_S , Q_L) relatifs aux débits mensuels.
- Un fichier présentant les couples (Q_S , Q_L) relatifs aux débits saisonniers.
- Un fichier présentant les couples (Q_S , Q_L) relatifs aux débits observés de toute la série.

III.1.2 Recherche de relation débit – concentration

La première tentative de traitement a consisté la recherche d'une liaison fonctionnelle entre les débits liquides et la concentration en matière en suspension.

D'après les résultats, il a été remarqué une absence totale de corrélation débit liquide (Ql) – concentration (C), dont la valeur de R^2 est faible ($R=0.01 : 0.5$), et de fait aucun modèle ne s'est dégagé.

Ainsi donc une estimation du transport solide en suspension à partir des débits moyens journaliers s'est imposée.

III.1.3 Evaluation des apports annuels

Avant toute tentative du traitement et afin d'avoir la forme approximative des apports au droit de la station de référence pour une période de 25 ans allant de 1971 jusqu'à 1996, nous avons tenté d'évaluer les apports annuels susceptibles d'être reçus au même endroit.

Chaque année a été caractérisée par un apport spécifique annuel calculé à partir du débit moyen annuel.

La formule suivante nous permet de calculer directement l'apport annuel ou interannuel.

$$A_0 = Q_0 T \quad (m^3);$$

A_0 : Apport moyen annuel (m^3) ;

Q_0 : Apport moyen annuel (m^3) ;

T : le temps d'années (secondes) ;

La comparaison des résultats obtenus nous permet d'enregistrer plusieurs remarques :

- Les années dont l'apport annuel dépasse la valeur inter annuelle sont considérées humides tandis que les années où l'apport annuel n'excède pas la limite de l'apport interannuel sont considérées comme étant des années sèches (figure VI.1).

- Le calcul des apports annuels a été effectué dans le but d'avoir au préalable les années qui sont susceptibles d'être causales du phénomène du transport solide.

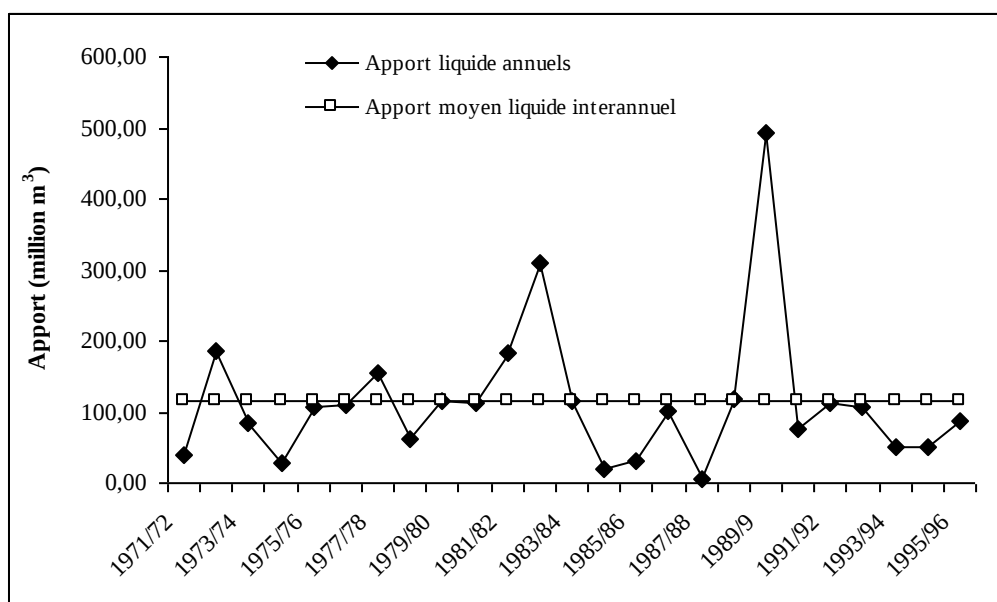


Figure (VI.1) : Variation des apports annuels liquides

IV.1-Calcul des débits et quantification

IV.1.1- Calcul du débit solide

L'étude menée a pour objectif principal, la quantification du débit solide à partir des débits liquides moyens journaliers au droit de la même station ou les prélèvements instantanés ont été effectués.

Sur la base des relations reliant les débits solides aux débits liquides, nous déterminons les valeurs des débits solides moyens journaliers.

Au total nous avons appliqués toutes les équations de base du modèle de tous les mois ; et nous avons aboutis aux valeurs réelles du débit solide moyen journalier (en lg/s) de toute la série d'observations, classées par ordre chronologique à partir du premier jour de mois de Septembre 1971 jusqu'au dernier jour du mois de Janvier 1994.

IV.1.2- Quantification du transport solide en suspension :

Cette partie a consisté à un calcul direct du transport solide en suspension.

En fonction des débits solides moyens journaliers (en kg/s). Nous avons déterminé les débits solides moyens journaliers (en kg/jour).

Ainsi donc, nous avons calculé pour chaque année, la valeur réelle du transport solide en suspension (en tonnes) en tenant compte l'échelle mensuelle. Les résultats sont illustrés dans le tableau (VI.1).

La visualisation des résultats trouvés et montrés diagramme apports solides-apports liquides Figure (VI.3), nous donne une meilleure explication quant à la variation des paramètres débit solide-débit liquide (Qs-QL)

Tableau (VI.1) : Résultats de quantification du transport solide suspension.

Année	Qs (tonne/an)	Année	Qs (tonne/an)
1971-1972	402637,13	1983-1984	4218549,12
1972-1973	6755701,62	1984-1985	506006,96
1973-1974	1635236,19	1985-1986	421368,48
1974-1975	352318,64	1986-1987	1637743,35
1975-1976	3142611,65	1987-1988	51007,78
1976-1977	3481550,23	1988-1989	3444491,52
1977-1978	5746619,72	1989-1990	21664465,63
1978-1979	3898825,14	1990-1991	91174,46
1979-1980	3490479,65	1991-1992	39768,71
1980-1981	2809016,93	1992-1993	121961,98
1981-1982	11202669,80	1993-1994	32930,50
1982-1983	12377845,60	1994-1995	39508,98

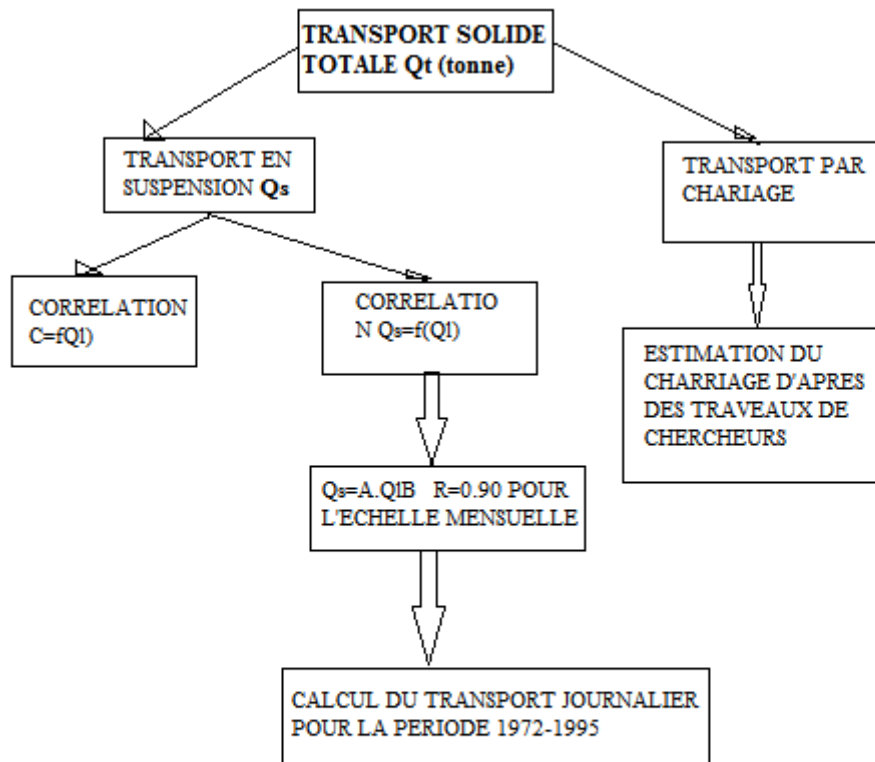


Figure (VI.2): Calcul du transport solide total

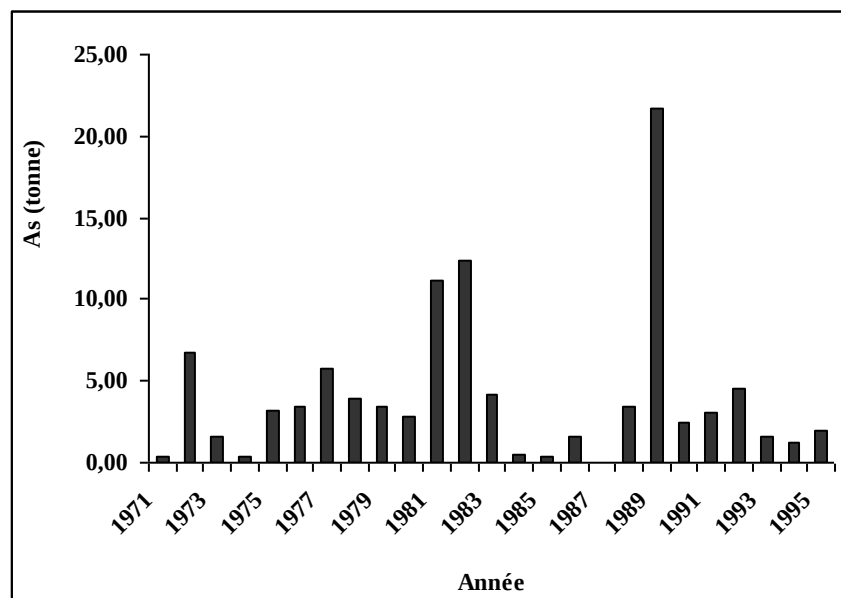


Figure (VI.3) : Evolution temporelle des apports solides

La totalité des sédiments estimée pour chaque année à l'échelle mensuelle a été présentée dans le tableau ci-dessous

Les grands apports de la charge sédimentaire à été observé dans les années (1989, 1982, 1981, 1972 et 1977) et peuvent dépassés un transport sédimentaire de 5 million tonne par an et atteint une charge maximale en (1989) de l'ordre de 18,38 Millions de tonnes par an.

IV.2- Evaluation des apports annuels

Le flux annuel des matières solides en suspension exporté par l'Oued El Abiod, est calculé par la formule

$$A_s = \sum_{j=1}^N (t_{j+1} - t_j)$$

Ou C_j est la concentration évaluée à l'instant t_j correspondant au débit liquide Q_j

N est le nombre de prélèvements effectués sur l'année considérée

$t_{j+1} - t_j$ est le pas de temps séparant deux prélèvement consécutifs. Au moment des crues les prélèvements sont intensifiés, et donc par suite, le pas de temps est réduit.

De même, A_L l'apport liquide annuel engendrant le flux A_s est calculé par la formule

$$A_L = \sum_{j=1}^N (t_{j+1} - t_j) Q_j$$

Un bilan annuel des apports liquides et solides est alors établi, ils en découlent les résultats suivant

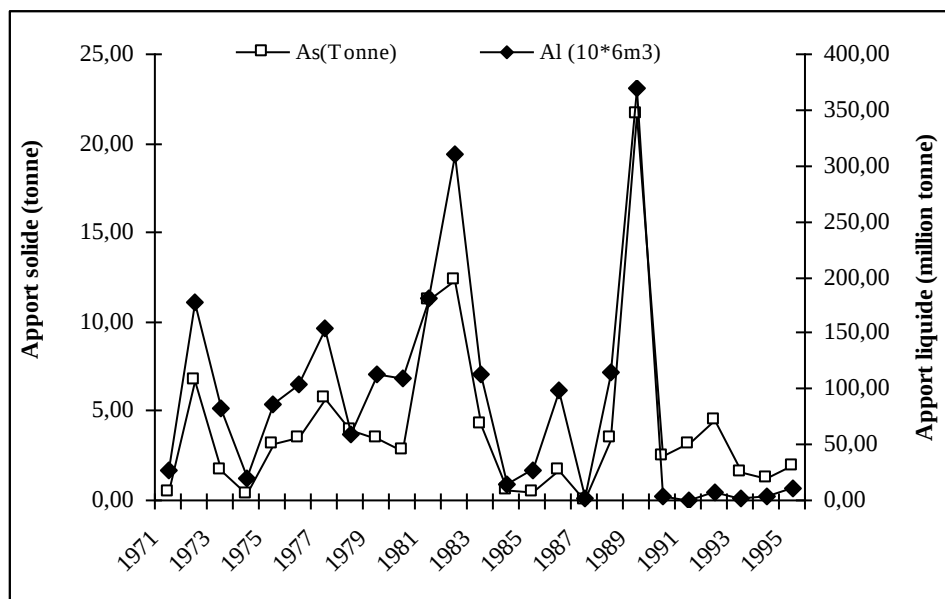


Figure (VI.4) : Evolution annuelle des apports solides et apports liquides à l'échelle mensuelle.

Le bilan annuel des apports liquides et solides laisse apparaître que le plus fort apport liquide annuel, 369,62 million m³, a été enregistré durant l'année 1989/90 engendrant un apport solide de 18377538,3 tonnes. Cet apport liquide est plus important que celui de l'année 1995/96, évalué à 10,94 million m³ et qui à apporté 227384,93 tonne.

Apports liquides

Les crues de oued El Abiod sont liées aux précipitations orageuses ayant une double origine, puisque provenant soit d'orages locaux en Été, soit des dépressions sahariennes au Printemps et plus souvent encore en Automne, les crues de l'oued sont très violentes et soudaines.

Apports solides

Les matières solides transportées ne sont en conséquence pas apportées d'une façon continue au cours de l'année, mais liées aux crues fortes teneurs en Septembre, Octobre et Décembre, tandis que les mois de Mars et juin peuvent charrier jusqu'à 1/5ème des apports solides annuels. A titre d'exemple, la concentration moyenne durant l'année 1979/1980 a été 32 g/l.

IV.3- Calcul du transport solide par charriage

Le transport solide par charriage présente une partie très importante dans l'étude du phénomène de transport solide. L'importance du phénomène et le taux élevé des apports solides qu'il présente, nous a amenés à estimer le débit solide charrié en se basant sur des études expérimentales.

Etant donnée l'absence totale de mesure du sédiment charrié dans l'Oued El Abiod, nous avons établi des mesures conventionnelles du matériau de fond en faisant des prélèvements de matériaux sur le long de l'Oued en amont immédiat du barrage de Foum el Gherza.

Taille des grains :

La courbe granulométrique représente le pourcentage en poids des grains de dimension inférieure à d en fonction de la dimension d d'un grain. En laboratoire, elle est obtenue par tamisage pour les grains de dimension supérieure à 80 μ m. La dimension d est la maille du tamis. La partie inférieure de la courbe granulométrique est obtenue par densimétrie pour les grains de dimension inférieure à 80 μ m. d est dans ce cas le diamètre d'une sphère de même poids que le grain, mais en rivière il est peu fréquent de mesurer cette partie fine.

L'analyse granulométrique effectuée au laboratoire pour la détermination du diamètre moyen charrié a révélé que le granulat de diamètre d_{50} est matérialisé par des sable fins ($d_{50} = 0.07$ mm).

Les premières formules de transport par charriage sont principalement basées sur le concept que le taux de transport de sédiments pour un écoulement uniforme est directement lié l'effort de cisaillement sur le fond (Meyer-Peter & Muller, 1948[3]; Einstein, 1950).

Pour l'évaluation du débit solide par charriage, nous nous sommes basés sur la formule de Meyer-Peter (Rais et Abid, 1989) :

$$g_s = K (\tau - \tau_c)^{3/2} \quad (1)$$

Où g_s est le débit solide charrié par unité de largeur du lit de l'Oued, exprimé en kg/s.m, τ est la contrainte de cisaillement moyenne réelle ou contrainte de frottement, dépendant de l'écoulement et exprimée en kg/m², τ_c est la contrainte de cisaillement sur le lit ou force tractrice

critique de début de charriage exprimée en kg/m^2 dépendant uniquement du matériau charrié notamment de ses caractéristiques dimensionnelles et de son poids spécifique ρ . Les paramètres K , τ et τ_c s'expriment respectivement par :

$$K = 8\sqrt{\rho} \frac{\gamma_s}{\gamma_s - \gamma} \quad (2)$$

$$\tau_c = 0.047 (\gamma_s - \gamma) d_{50} \quad (3)$$

$$\tau = a R_h I \quad (4)$$

Dans les relations (2), (3) et (4), les variables γ , γ_s , d_{50} , a , R_h et I désignent respectivement le poids volumique des sédiments, exprimé en kg/m^3 , le poids volumique des sédiments, exprimés en kg/m^3 , le diamètre moyen des sédiments charriés, exprimé en mètre, un facteur correctif prenant en compte la rugosité moyenne du lit de l'Oued, le rayon hydraulique, exprimé en mètre et la pente moyenne de l'Oued.

Toutes les formules de transport solide total ou par charriage doivent être utilisées avec la plus grande prudence car elles sont établies à partir de mesures dans des fleuves ou en laboratoire dans des conditions particulières de topographie, granulométrie, vitesse..., la comparaison de leurs résultats conduit à des résultats pouvant varier dans un rapport de 10.

La mesure du charriage est en effet un problème dont la solution n'est pas complète. A partir de l'évaluation du transport solide en suspension, le charriage est estimé entre 15% et 25% de la suspension, selon plusieurs auteurs.

IV.4-L'érosion spécifique

IV.4.1 Calcul du taux d'érosion spécifique

En prenant en considération le transport solide total annuel en suspension Q_s (en tonnes/an), l'érosion spécifique moyenne sur une période de 25 ans, $Es = Q_s/S$, ou S est la surface du bassin versant, au droit de la station de Mchounech, est estimé à 2764 tonne/km² par an.

Tableau (VI.2) : Résultats de l'érosion spécifique

Année	As (tonne)	Es (t/km ² .an)	Année	As (tonne)	Es (t/km ² .an)
1971-1972	402637	305	1983-1984	4218549	3196
1972-1973	6755702	5118	1984-1985	506007	383
1973-1974	1635236	1239	1985-1986	421369	319
1974-1975	352319	267	1986-1987	1637743	1241
1975-1976	3142612	2381	1987-1988	51008	39
1976-1977	3481550	2638	1988-1989	3444492	2610
1977-1978	5746620	4354	1989-1990	21664466	16413
1978-1979	3898825	2954	1990-1991	91174	1837
1979-1980	3490480	2644	1991-1992	39769	2348
1980-1981	2809017	2128	1992-1993	121962	3414
1981-1982	11202670	8487	1993-1994	32931	1197
1982-1983	12377846	9377	1994-1995	39509	964

Discussion des résultats

L'apport moyen annuel en matières solides en suspension à l'exutoire du bassin est estimé à 3506949 tonne, ce qui correspond à une perte de sol spécifique de 2764 tonne par km² par an.

Les résultats illustrés par le tableau (VI.2) relèvent que les années (1972, 1977, 1981, 1982 et 1989) offrent successivement des volumes remarquables des sédiments en suspension de l'ordre de (6.76, 5.75, 11.20, 12.38 et 21.38 hm³).

Durant l'année 1989/90 a été enregistré un volume de 21,38 million de tonne de sédiment en suspension. Ceci est dû à l'importance, remarquable, de la crue de Septembre 1989, survenue après une longue saison chaude, cette crue de forte teneur et courte durée a totalisé 70% de l'apport solide.

On remarquera que l'année 1982/83 a apporté 12,38 million de tonne. Alors que le flux des matières solides transportées en suspension durant les mois de Septembre, Octobre, Novembre, Avril, Mai constitue la quasi-totalité, soit 99% de l'apport solide.

Nous avons constaté que l'année 1981/82 a une charge spécifique moyenne élevée 8487 t/km².an, sa justification par l'avènement d'une crue en mois de Juin. Cette crue survenue en saison chaude, l'absence du couvert végétal et les pentes raides favorables à l'érosion. Les plus fortes teneurs en MES ont été enregistrées respectivement suite à un orage estival.

La crue de 1977/78 donne une charge totale annuelle de sédiments est de l'ordre de 5,75 million de tonne, soit 61% du tonnage annuel total de sédiments.

Le bilan annuel de transport solide a été enregistré durant l'année 1972/73 engendrant un apport solide de 6.76 million tonne, ce volume du à la crue de Septembre 1972. Après la grande saison sèche, les premières pluies violentes de l'Automne trouvent un sol sec et fragile, facilement érodable.

Les quantités de sédiments exportés par l'Oued El Abiod sont très variables d'une année à l'autre. L'essentiel du transfert des matières en suspension se produit au cours des crues violentes qui surviennent généralement en Automne

Les crues exceptionnelles ont un effet direct sur l'apport annuel et les résultats finals du calcul de l'érosion spécifique.

IV.4.2 Estimation du taux d'érosion spécifique par la méthode de Tixeront

Basée sur les données recueillis dans 32 bassins algériens et 9 bassins tunisiens sur une durée comprise entre 2 et 22 ans (Bouanani, 2004)

La formule qui donne le taux d'érosion spécifique est la suivante :

$$Ass = 92.E^{0.21}$$

Avec :

Ass : apport solide spécifique en t/km²/an ;

E : Ecoulement en mm.

Les résultats de quantification de l'érosion spécifique par la méthode de Tixeront sont mentionnés dans le tableau suivant.

Tableau (VI.3) : Résultats de l'érosion spécifique par la méthode de Tixeront

Année	Ass (tonne/km ² .an)	Année	Ass (tonne/km ² .an)
1972/73	176,86	1983/84	128,72
1973/74	136,87	1984/85	147,05
1974/75	148,57	1985/86	141,04
1975/76	155,62	1986/87	139,18
1976/77	167	1987/88	113,07
1977/78	128,23	1988/89	137,64
1978/79	129,21	1989/90	162,54
1979/80	152,28	1990/91	124,11
1980/81	154,65	1991/92	113,43
1981/82	119,54	1992/93	118,07
1982/83	139,18	1993/94	110,08

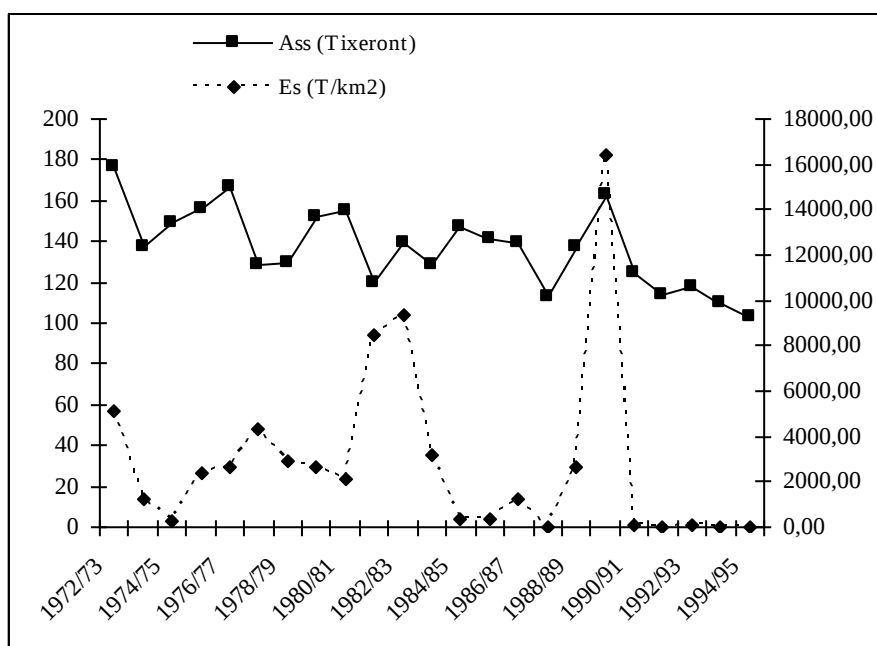


Figure (VI.5) : Comparaison entre le taux d'érosion spécifique calculé et le taux d'abrasion de Tixeront

Cette différence peut s'expliquer par l'introduction de la quantité des sédiments charriés dans la détermination du taux d'érosion spécifique du bassin versant.

IV.4.3- Résultats de l'érosion spécifique

Variation de l'érosion spécifique

Au cours du cycle hydrologique, les périodes de crues jouent un rôle prédominant dans l'exportation des matières en suspension.

En peut mettre donc en évidence le rôle des extrêmes en présentant les valeurs de l'érosion spécifique annuelle avec et sans événement extrême de 6 années qui influent sur le bilan total interannuel du transport solide.

Le tableau ci-dessus illustre quelques résultats des valeurs les plus importantes du taux d'érosion spécifique justifiées par l'importance des apports et des débits maximums (tableau VI.4).

Tableau (VI.4) : Taux d'érosion extrêmes.

Année	Taux d'érosion Es(t/km ² .an)	Apport (10 ⁶ m ³)	Débit max Qmax(m3/s)
1972	5118	178,11	92,50
1977	4354	153,66	131
1981	8487	181,09	53,90
1982	9377	309,43	242,15
1983	3196	113,21	129
1989	16413	369,62	297

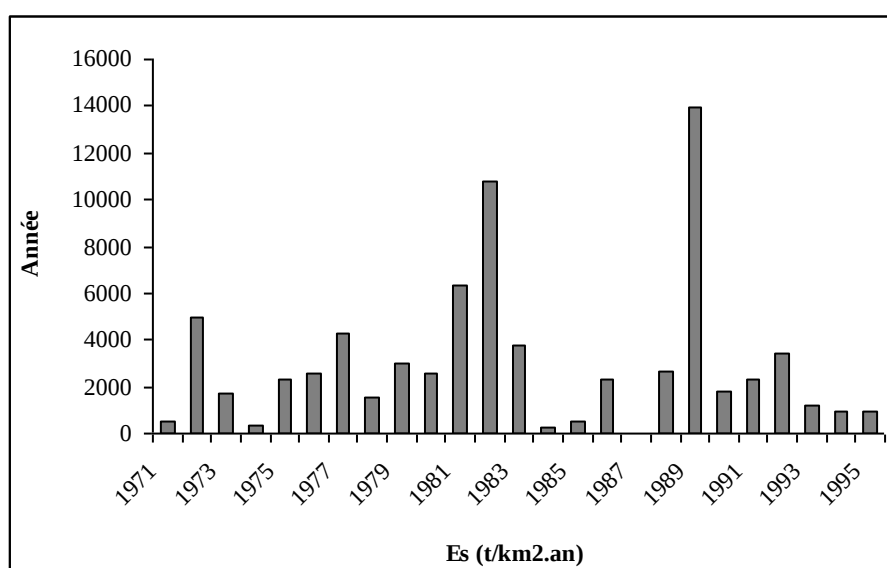


Figure (VI.6) : Evolution temporelle de l'érosion spécifique

La variation du taux de l'érosion spécifique en fonction du temps (figure VI.6) explique, à l'exception des années marquées par des crues importantes, que le rythme pluviométrique est suffisamment régulier pour permettre une telle répartition annuelle.

L'érosion maximum a été atteinte durant l'année 1989/90, puisqu'elle dépassé les 16413 t/km².an. Elle est due à une crue exceptionnelle.

Nous avons constaté que le bassin versant de l'oued El Abiod a une charge spécifique moyenne très élevée (Es=3160 t/km².an). Ce bassin versant est favorable à l'écoulement. Il est caractérisé par un couvert végétal dégradé qui protège mal le sol. La concentration des crues de la saison chaude avec des fortes puissances, donnerait lieu à de fortes concentrations en sédiments. Ce contexte favorable à l'écoulement et par conséquent au transport solide, explique cette forte dégradation des sols.

En tout état de cause, cette variabilité temporelle dépend de la fréquence des orages et de leur période d'occurrence. En effet, ce sont ces orages qui génèrent la plus grande partie de la charge.

IV.4.4- Rôle des crues dans le Transfer des sédiments en suspensions

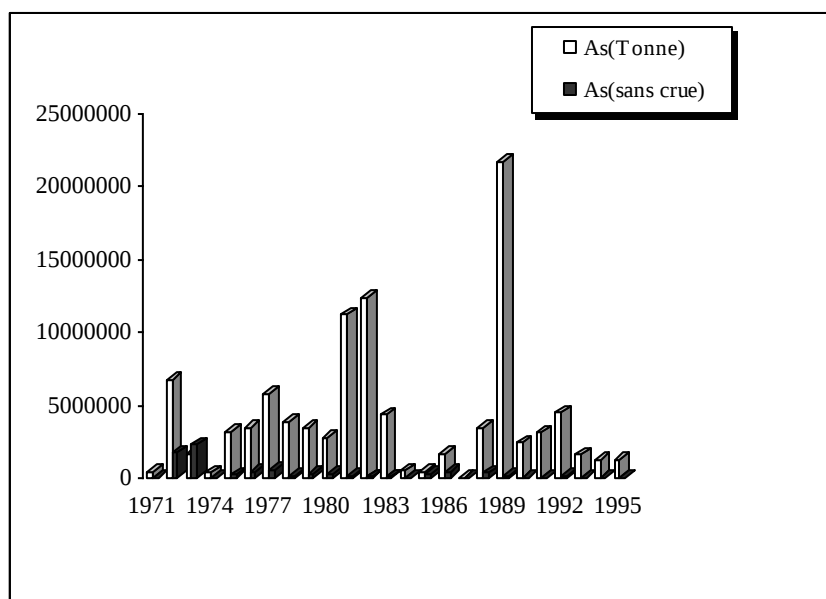


Figure (VI.7) : Influence des crues sur le taux annuel des apports solides.

Une première analyse, graphique, de cette figure montre que les périodes des crues jouent un rôle prédominant dans l'exportation des matières en suspension. En effet, c'est durant les épisodes des crues que les apports solides dans les cours d'eau sont très significatifs.

Durant l'année 1982/83 enregistré un apport solide de 12,38 million de tonne engendrant un apport solide sans crue de 0.078 million de tonne. Ceci est du à l'importance, remarquable, de la crue de novembre 1982.

En générale les crues de oued El Abiod caractérisé de forte teneur, courte durée et double origine, soit d'orages locaux en Été, soit des dépressions sahariennes surtout au l'Automne.

IV.5- Influence des paramètres hydro-climatologiques sur l'érosion

IV.5.1 Recherche de relation entre l'érosion spécifique et le coefficient d'écoulement :

Dans les régions à climat semi aride à aride, la variabilité temporelle des écoulements sont irrégulières. Il est très variable d'une année à l'autre.

Nous donnons en Figure (VI.5), les fluctuations interannuelles de l'érosion spécifique, (E_s), et du coefficient (C_e), pour toute la période d'observation.

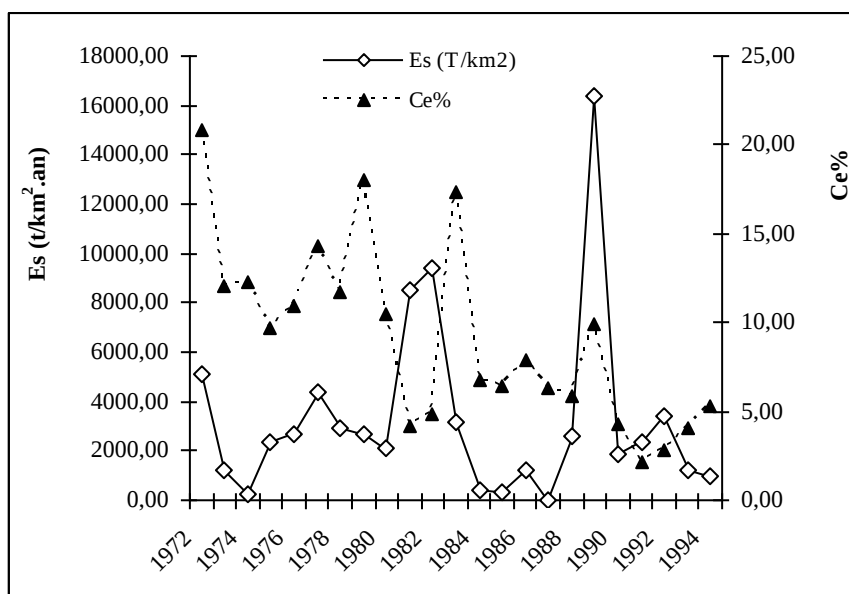
En terme de variabilité interannuelle ; nous donnerons d'abord, dans le tableau(VI.5) et en figure (VI.8), les fluctuations interannuelle de l'érosion spécifique (E_s), et du coefficient d'écoulement (C_e), pour le bassin de l'oued El Abiod, sur toute la période d'observation.

Tableau (VI.5) : Fluctuations annuelles des paramètres Es-Ce.

Année	Es(t/km ² .an)	Ce (%)	Année	Es (t/km ² .an)	Ce (%)
1971-1972	305	/	1983-1984	3196	17
1972-1973	5118	21	1984-1985	383	7
1973-1974	1239	12	1985-1986	319	6
1974-1975	267	12	1986-1987	1241	8
1975-1976	2381	10	1987-1988	39	6
1976-1977	2638	11	1988-1989	2610	6
1977-1978	4354	14	1989-1990	16413	10
1978-1979	2954	12	1990-1991	1837	4
1979-1980	2644	18	1991-1992	2348	2
1980-1981	2128	10	1992-1993	3414	3
1981-1982	8487	4	1993-1994	1197	4
1982-1983	9377	5	1994-1995	964	5

A la station de Mchounech, l'érosion spécifique (Es) a varié de 25 à 16413 tonnes/km².an pour des valeurs respectives de 2% à 21 du coefficient d'écoulement.

La figure (VI.8) présentée-ci-dessous montre que l'érosion spécifique et le coefficient d'écoulement fluctuent de la même façon ont montrant d'une part, une proportionnalité entre les deux paramètres qu'il convient de la prendre en considération et d'autres part, la variabilité annuelle élevée des écoulements.

**Figure (VI.8) : Variation annuelle de l'érosion et le coefficient d'écoulement**

La représentation annuelle des écoulements et d'érosion spécifique montre de grandeurs élevées des écoulements et d'érosion dans les années 1983 et 1989 (figure VI.9)

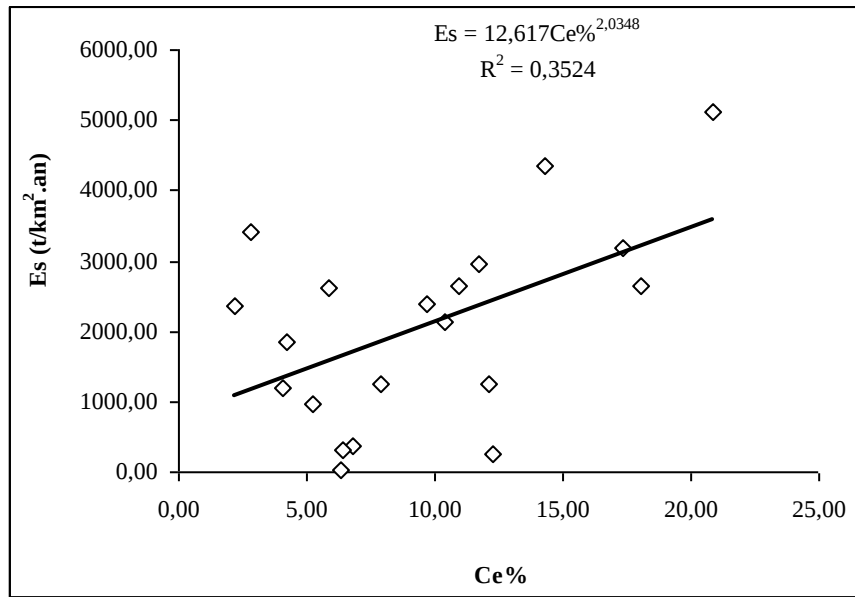


Figure (VI.9) : Relation : Erosion spécifique-coefficient d'écoulement

La faible corrélation observée entre le paramètre E_s et $C_e\%$ peut être due à l'irrégularité d'écoulement.

IV.5.2 Influence du débit maximum sur l'érosion :

L'étude de relation entre la dégradation spécifique et le débit maximum annuel se fait dans le but de suivre l'évolution de ces deux paramètres dans le temps.

Les bilans annuels des apports enregistrés dans le sous bassin versant de l'oued El Abiod ont montré l'influence des débits extrêmes sur les résultats de quantification du transport solide.

Ce dernier étant lié au débit liquide par une liaison fonctionnelle peut avoir un effet direct sur le volume de sédiments en suspension susceptible d'être disposés au droit du barrage de Foum El Gherza.

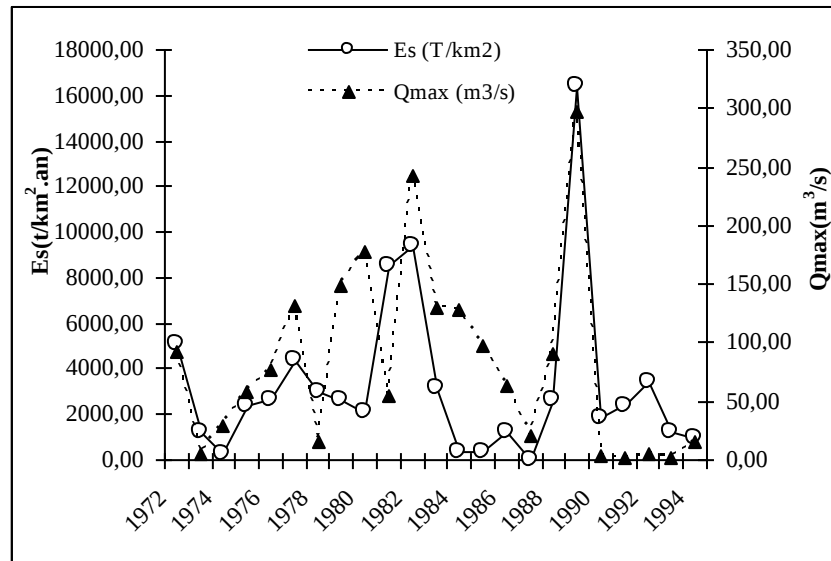


Figure (VI.10) : Influence du débit maximum annuel sur l'érosion spécifique

La représentation annuelle des débits maximum et d'érosion spécifique montre de grandeurs élevées des débits maximum dans les années 1982 et 1989 (figure VI.10).

Dans l'année 1982 un débit maximum de $242 \text{ m}^3/\text{s}$ a provoqué une érosion de $9377 \text{ t}/\text{km}^2$, une même observation est obtenue en l'année 1989 pour un débit maximum de $297 \text{ m}^3/\text{s}$ on a trouvé une érosion de l'ordre de $16412 \text{ t}/\text{km}^2$.

Le graphique de l'érosion spécifique et du débit maximum annuel mesuré au droit de la station de Mchounech, donne une corrélation moyenne caractérisée par un coefficient de détermination ($R^2 = 0,67$). L'équation obtenue est de type linéaire et s'écrit :

$$Es = 0.0186.Q_{\max} + 30.178$$

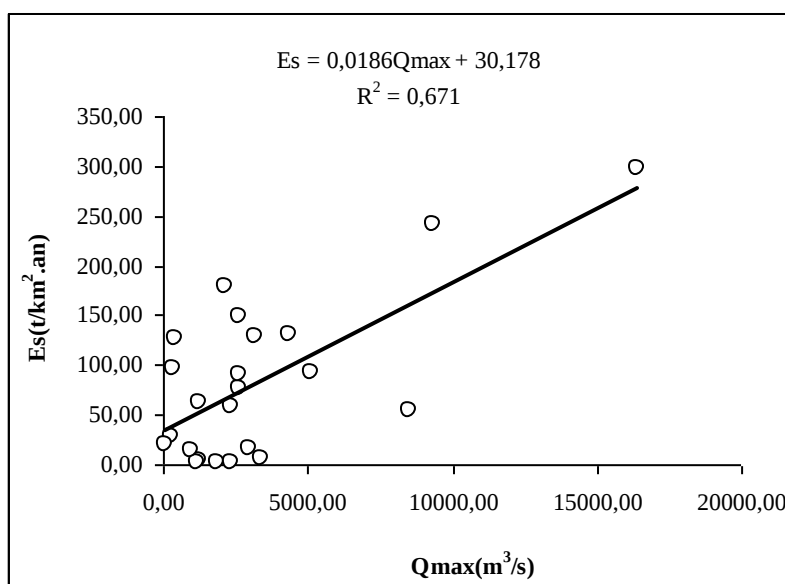


Figure (VI.11) : Relation : Erosion spécifique-débit maximum annuel.

IV.5.3 Relation entre dégradation spécifique et lame d'eau ruisselée

La majorité des événements pluvieux sont entièrement absorbés par le sol et le ruissellement ne débute qu'après un seuil de pluie qui dépend des conditions d'humidité préalable. La lame ruisselée dépend de la pluviométrie et de la température moyenne annuelle du bassin versant.

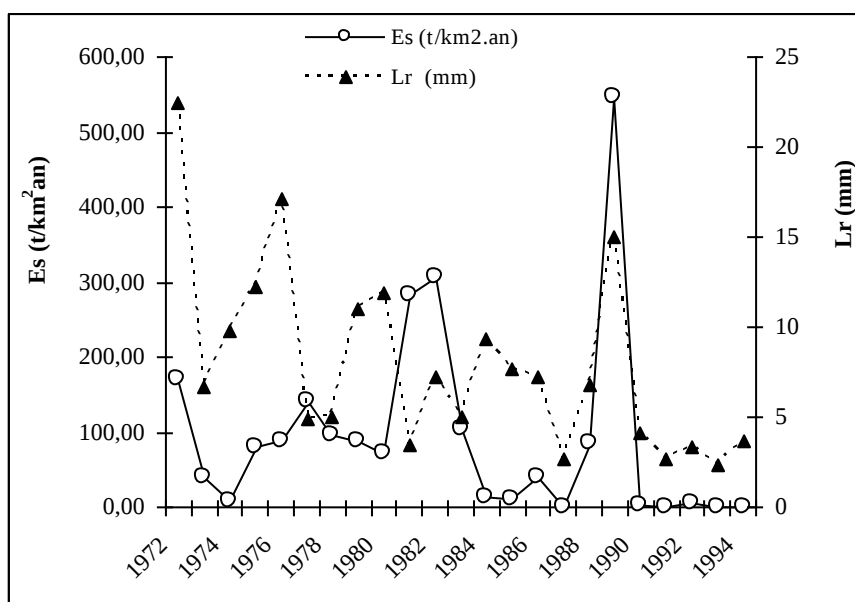


Figure (VI.12) : Evolution temporelle de l'érosion spécifique et la lame d'eau écoulée.

La représentation annuelle de la lame d'eau écoulée et d'érosion spécifique montre de grandeurs élevées des lames d'eau ruisselée et d'érosion dans l'année 1989. Dans l'année 1989 une lame d'eau de 15mm à provoqué une érosion de $16412t/km^2$.

L'analyse graphique de l'érosion spécifique en fonction de la lame d'eau ruisselée calculé au droit de la station de Mchounech met en évidence une moyenne corrélation entre ces deux paramètres. Le coefficient de détermination est de l'ordre de 0,75.

L'érosion spécifique a été exprimée selon une loi linéaire d'équation :

$$Es = 2.664Lr^{2.3123}$$

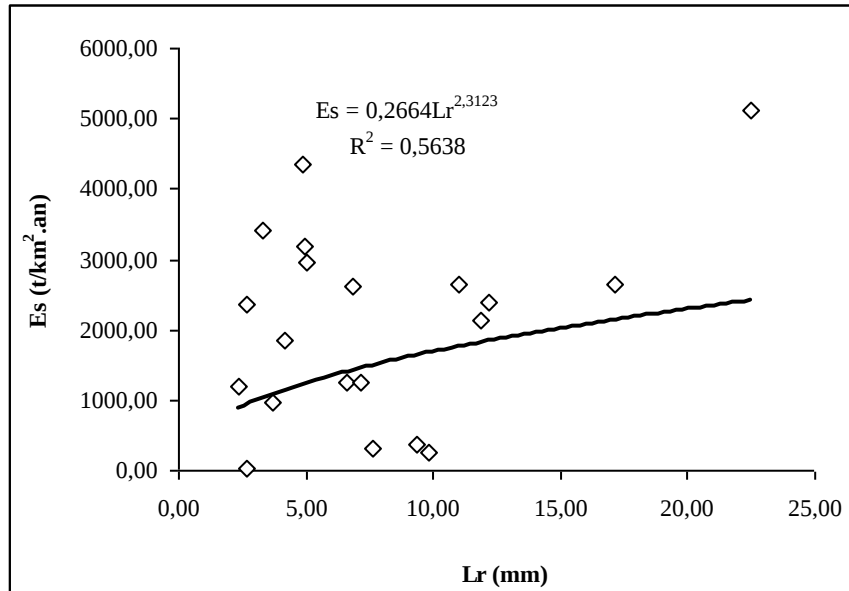


Figure (VI.13) : Relation : Erosion spécifique- la lame d'eau écoulée.

IV.5.4 Variation du taux d'érosion et de la pluie annuelle :

La pluie est l'agent principal de l'érosion. L'énergie des gouttes précipitées désagrège les fines particules du sol qui peuvent ensuite être entraînées par le ruissellement en fonction de sa capacité de transport.

Pour observer l'effet de la pluviométrie sur la quantité des terres érodées au niveau du bassin versant de l'Oued El Abiod, nous avons représenté la dégradation spécifique en fonction de la pluie annuelle.

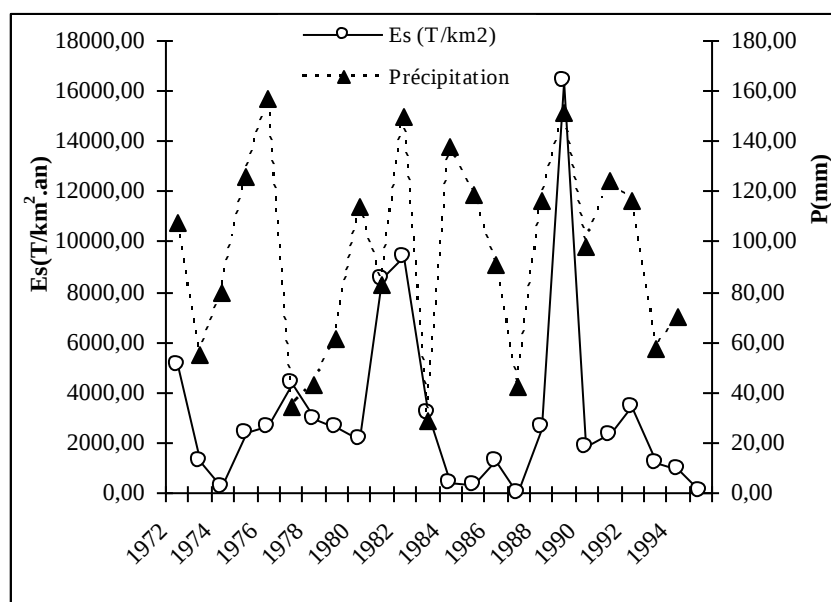


Figure (VI.14) : Evolution temporelle de l'érosion spécifique et la pluie annuelle.

La représentation annuelle des précipitations et d'érosion spécifique montre de grandeurs élevées des précipitations et d'érosion dans les années 1983 et 1989 (figure VI.14).

Dans l'année 1982, une précipitation annuelle de 150 mm a provoqué une érosion de 9377 t/km^2 . A même observation est obtenue en l'année 1989 pour une précipitation de 152 mm, on a trouvé une érosion de l'ordre de 16000 t/km^2 .

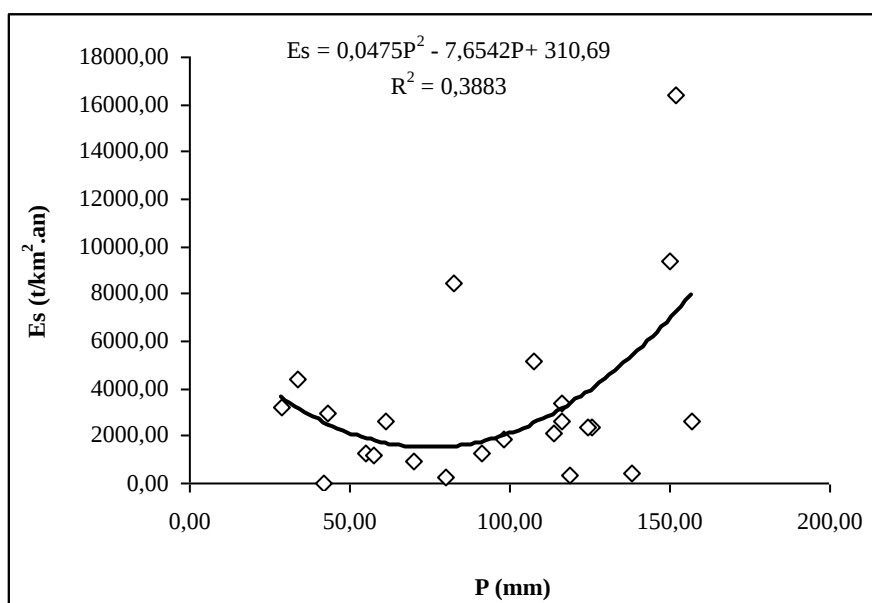


Figure (VI.15) : Relation : Erosion spécifique- la pluie annuelle.

Il est intéressant de constater qu'il existe une faible corrélation de type polynomiale entre les deux paramètres et dont l'équation est :

$$Es = 0.0475P^2 - 7.6542P + 310.69$$

La faible corrélation observée entre le paramètre Es, P peut être du à l'irrégularité de pluie et les caractéristiques morphologiques du bassin.

V- Application à l'envasement au droit du barrage de Foug El Gherza :

V.1- Introduction

L'envasement ou l'alluvionnement est la conséquence naturelle de la dégradation des bassins versants. Il constitue actuellement une préoccupation aux projecteurs et aux exploitants d'un pays caractérisé par un taux d'accroissement démographique élevé, cause nécessaire pour conserver les réserves d'eaux existant.

Devant les difficultés trouvées pour la maîtrise de l'alluvionnement, la définition de l'état d'envasement est obligatoire. Les levées bathymétriques sont la base de cette analyse, les présentes approches de quantification visent à fournir aux responsables de la mobilisation en eau la situation présente et future de notre barrage, tout en développant les facteurs dont dépendent les apports solides, ainsi que leur dépôt. L'analyse statistique est l'une des méthodes efficaces permettant d'aboutir à des résultats satisfaisants.

Pente raides, couvert végétal dégradé et des pluies au moins torrentielles et irrégulières ce qui engendre des pertes de sols de l'amont vers l'aval où on est face à un grand problème qui est l'envasement du barrage.

V.2- Envasement de la retenue

Le barrage est situé dans une région saharienne dont les caractéristiques du régime des cours d'eau sont la torrencialité et la courte durée des crues par ailleurs violentes, et transportant une importante quantité de matériaux solides provenant des versants dénudés. Un exemple de la rapidité de l'envasement a été fourni, par le bâtard d'eau qui, avant d'être noyé dans la retenue, avait fonctionné comme barrage pendant 3 ans, et avait accumulé un volume de vase importante. Des levés bathymétriques ont été établis en 1952, 1967, 1975 et 1986, pour un suivi régulier du toit de la vase et pour l'actualisation des courbes hauteur/capacité. De 1950 jusqu'à 1992, une quantité de 25.10^6 m³ de vase s'est déposée dans la retenue, provoquant un envasement de 54 %.

V.3- Constat de l'envasement actuel de la retenue de Foug El Gherza :

Depuis la mise en eau du barrage 1950, la charge annuelle moyenne en sédiments est de 0.6 hm³. La concentration moyenne des sédiments transportés par les eaux de l'Oued Abiod est très élevée.

En 2004, un constat de l'envasement de la retenue de Foug El Gherza a indiqué que la cuvette est envasée à 65%, ce qui donne un volume de vase de plus 4,22 hm³.

Dans le bassin versant de l'Oued Abiod et au droit de la station de Mchounech, les valeurs du taux d'érosion spécifique ont été estimées à partir de modèles régressif permettant de calculer le volume de vase conséquent.

Par une durée de vie du barrage $T=50$ ans, une érosion spécifique de 2764 tonne/km².an, une densité sèche des matériaux « γ_s » = 2.7 tonne/m³ et une superficie du bassin versant S de 1320 km² au droit du barrage, le volume de sédiments aboutissant dans la cuvette égale à :

$$V_s = \frac{E_s \cdot T \cdot S}{\gamma_s} 1.32$$

Serait : $V_s = 89$ Million m³.

VI. Conclusion :

On doit retenir de cette étude que les transports solides en suspension dans le bassin versant de l'Oued Abiod se font essentiellement lors des périodes de crue. On distingue alors, deux périodes d'érosion actives, une première période en automne, la seconde, à plus faible ampleur, au printemps.

La variation du taux des apports solides et liquides peut être expliquée, d'une part, par le fait que le sous-bassin étudié présente une variabilité dans le régime d'écoulement (variabilité spatio-temporelle des précipitations) et d'autre part, par la variabilité des caractéristiques hydromorphométriques. L'essentiel du transfert des matières en suspension se produit au cours de crues violentes qui surviennent soit d'orages locaux en Été, soit des dépressions sahariennes au Printemps et plus souvent encore en Automne. Les crues exceptionnelles ont un effet direct sur l'apport annuel et les résultats finals du calcul de l'érosion spécifique.

La charge maximale annuelle de sédiments est de l'ordre de 18 Million de tonne, ce qui correspond à une dégradation spécifique relativement élevée de l'ordre 2600 tonne par an. Cette dégradation des sols est très visible sur le terrain. Elle est due aux caractères favorables à l'érosion : pentes raides, qui conduisent à un écoulement très rapide qui favorise l'arrachement des particules du sol après le travail de désagrégation par insolation ; et sans couverture végétal ne protège pas le sol.

La recherche d'une corrélation entre le taux d'érosion spécifique calculé et quelque paramètre hydro climatiques tels que la pluie annuelle, le coefficient d'écoulement, le débit maximum annuel et la lame ruisselé a permis de trouver des relations hautement significatives.

Chapitre VII
Analyse de l'effet d'hystérésis
sur la relation C-Q

VII. ANALYSE DE L'EFFET D'HYSTERESIS SUR LA RELATION CONCENTRATION-DEBIT

I. Méthodologie

Le « clockwise loop » a tendance à se produire plus au début de la saison des pluies qu'après (Sidle et Campbell, 1985). Ceci est lié à la disponibilité des sédiments produits par les crues précédentes, comparés à un manque ou une diminution des réserves en sédiments à la fin de la saison sèche. Selon, Heidel (1956), dans les petits cours d'eau, la concentration maximum des sédiments se produit habituellement avant le débit maximum.

Cette étude est basée sur les travaux de G.P.Williams, 1989. Les relations entre concentration des sédiments en suspension (C) et les débits liquides Ql pour un événement hydrologique telles que les crues, peuvent être étudiées qualitativement par l'analyse des courbes des concentrations et des débits liquides en fonction du temps. A cet effet, l'auteur propose une classification de ces relations basées sur le rapport C/Ql durant les phases de montée de crue et de décrue. Cinq modèles de relations sont ainsi établis (tableau VI.1).

Nous allons présenter, dans ce qui suit, les graphes des relations C-Ql pour les plus importantes crues au niveau du sous bassin. Nous essayons en même temps de caractériser et de classer ces différentes relations pour une meilleure compréhension du phénomène.

Plusieurs facteurs, affectent les relations C-Ql. L'intensité des précipitations et leur distribution spatiale, volume et vitesse d'écoulement, les distances parcourues des eaux des crues dans le cours d'eau principal.

Les sédiments transportés proviennent du lit et des berges par érosion ou glissement et des affluents tributaires. Les sédiments provenant des versants peuvent venir des terres par ruissellement.

La forme des courbes de concentration et celle de la relation C-Ql dépendent en partie de :

- Le temps et le volume des sédiments provenant de différentes sources jusqu'à la station de mesure.
- La proximité de la source des sédiments par rapport à la station.

Tableau (VII.1) : Classes des relations C-Ql

Classe	Modèle	Critère C/Ql	Référence
I	Courbe simple (single line) Ligne droite Courbe, la pente croît quand Ql augmente Courbe, pente décroît quand Ql augmente	$(C/Ql)_m \approx (C/Ql)_d$ Les pentes des deux sections montée et décrue sont égales les pentes des deux sections montée et décrue sont inégales les pentes des deux sections montée et décrue sont inégales	Wood (1977)
II	Boucle dans le sens des aiguilles d'une montre (Clockwise loop)	$(C/Ql)_m > (C/Ql)_d$ pour toutes les valeurs de Ql	Paustian et Beschta (1979)
III	Boucle dans le sens contraire des aiguilles d'une montre (Counterclockwise loop)		
IV	Linéaire simple plus une boucle (single line plus a loop)	$(C/Ql)_m < (C/Ql)_d$ pour toutes les valeurs de Ql	Axelson (1967)
V	Forme en huit (figure eight)	$(C/Ql)_m \approx (C/Ql)_d$ pour une partie Des valeurs de Ql $(C/Ql)_m > (C/Ql)_d$ pour une autre partie des valeurs de Ql $(C/Ql)_m > (C/Ql)_d$ pour une partie des valeurs de Ql $(C/Ql)_m < (C/Ql)_d$ pour l'autre partie des valeurs de Ql	Arnborg et al (1967)

a)- Modèle Classe I.

De la courbe simple (ou single line) : la relation C- Ql la plus simple est du type linéaire (ligne simple ou courbe simple). Son seul caractère est que les rapports C/Ql sont égaux pour les valeurs de Q, que ce soit en montée de crue ou en décrue. Trois sous groupes découlent dans ce type de modèle : la ligne droite, la ligne à concavité vers le haut et la ligne à concavité vers le bas. Dans le premier cas, pourrait être associé un apport continu de sédiments pendant toute la crue (Wood, 1977). Ce modèle indique aussi que les concentrations des sédiments en suspension doivent augmenter ou diminuer en parfaite synchronisation avec le débit liquide. C'est que les courbes doivent avoir des pics simultanément avec des largeurs et des pentes semblables. L'apport continu des sédiments pourrait s'étendre même au de la courbe des débits ou descendre sous celle ci.

On peut concevoir que la même chose peut résulter de facteurs qui influencent l'entraînement des sédiments (taille des particules) (Wood, 1977).

b)- Modèle classe II.

De la boucle dans le sens des aiguilles d'une montre ou « clockwise loop » peut être due à deux causes principales.

- A un épuisement du stock de sédiment disponible avant le maximum du débit (Arnborg et al., 1967 ; Walling, 1974 ; Wood, 1977 ; Wansickel et Beschta, 1983). L'épuisement ou la diminution des sédiments peut s'expliquer soit, par un petit apport disponible, soit par à un débit continu et/ou intense.

- Le deuxième postulat consiste à la formation d'obstacles au passage de la crue maximale (Arnborg et al. 1967).

Le « clockwise loop » a tendance à se produire plus au début de la saison des pluies qu'après (Sidle et Campbell, 1985). Ceci est lié à la disponibilité des sédiments produits par les crues précédentes, comparés à un manque ou une diminution des réserves en sédiments à la fin de la saison sèche. Selon, Heidel (1956), dans les petits cours d'eau, la concentration maximum des sédiments se produit habituellement avant le débit maximum.

c)- modèle classe III,

En boucle dans le sens contraire des aiguilles d'une montre où « counterclockwise loop ». Le maximum de concentration est postérieur au maximum des débits. Les valeurs des concentrations C pendant la montée de crue sont inférieures à celle de la décrue pour des valeurs de QI données alors $(C/QI)_r < (C/QI)_f$.

La disposition chronologique des données se présente comme une boucle dans le sens contraire des aiguilles d'une montre.

Les boucles dans le sens contraire des aiguilles d'une montre sont apparemment bien connues, à partir de la publication de Heidel (1956), cependant, peu exemples semble avoir été édités pour des événements simples.

Les « counterclockwise loop » résultent de l'une des trois causes suivantes :

Une des causes possible, est le temps de parcourt de l'onde de crue et du flux des sédiments, particulièrement en raison de la distance entre la source de la crue et la station de jaugeage (Heidel, 1956). Les variations des débits tendent à suivre les vitesses de l'onde de crue. Cette vitesse est généralement plus rapide que la vitesse moyenne d'écoulement (Milliams G.P., 1989). Puisque les sédiments en suspension tendent à être transportés avec une vitesse proche de celle de l'écoulement moyen, le flux de sédiments te à traîner derrière l'onde de crue. Aussi le temps de retard (latence) augmente avec la distance en aval .

Le retard du pic des sédiments à une station en aval se manifeste au niveau des écoulements dans un cours d'eau caractérisé par des irrégularités qui empêchent le mouvement des sédiments par rapport à celui de l'eau.

La deuxième cause rapportée des boucles dans le sens contraire des aiguilles d'une montre est l'érodabilité importante du sol en même temps que de l'érosion prolongée pendant la crue (Kung et Chiang, 1977).

La troisième cause est la variabilité de la distribution saisonnière des pluies et de la production des sédiments dans le bassin

d)- le modèle classe V,

En forme de huit (8) ou « figure eight ». La diffusion jugée approximativement constante, la distribution des variables indique, qu'avec d'abord un maximum des concentrations en premier, on a souvent la formation d'une boucle dans le sens des aiguilles d'une montre. Toutefois, dans certaines conditions, se développe une boucle en forme de huit indépendamment des pics des variables. Les deux parties du huit sont dirigées séquentiellement dans des directions opposées. Le rapport C/Q pour différentes valeurs de Q explique l'orientation des courbes en fonction du temps

Sous une forme en huit pour les relations C-QL.

Pour les événements hydrologiques simples, les relations en forme de huit, n'ont pas reçu beaucoup d'explication.

La forme en huit de la classe V, combine des parties de la classe II (Clockwise loop) et III (counterclockwise loop). En effet, bien que les maximums des concentrations et des débits arrivent au même moment, l'augmentation de C est plus rapide que celle de QL et le pic de la concentration vient avant celui du débit. Ceci donnera une boucle dans le même sens des aiguilles d'une montre, pendant la montée de la crue. Après, le pic la concentration diminue doucement en fonction du temps, relativement aux débits liquides, pendant la décrue et on obtient une boucle dans le sens contraire des aiguilles d'une montre.

II. Application aux bassins versant d'oued El Abiod

Il est connu que le transport des matières en suspension se fait principalement en période de crue et que les principaux facteurs qui contrôlent la production et le transport en suspension dans les bassins versants sont dus essentiellement à l'effet conjugué de l'intensité des précipitations, la configuration du bassin versant et les caractéristiques hydrauliques du cours d'eau.

Dans ce contexte, on s'intéresse au bassin versant de l'Oued Abiod (1320 km²). On analysera le mode d'évolution de la charge solide C en fonction des débits liquides QL durant les différents événements de crues. Ce genre d'étude a été introduit initialement par Wood (1977) pour étudier les événements des crues dans un bassin versant. Plus tard, Williams et Asselman (1977) présentent une classification détaillée des différents types d'hystérésis représentant l'évolution des crues dans les rivières des Etats-Unis.

Douze crues réparties sur la période d'étude ont été analysées représentant des épisodes ayant différentes caractéristiques (tableau VII.2). Cette sélection permet de fournir le maximum d'informations sur la relation C-Q, en identifiant le modèle d'hystérésis dominant, en insistant en particulier sur l'effet saisonnier.

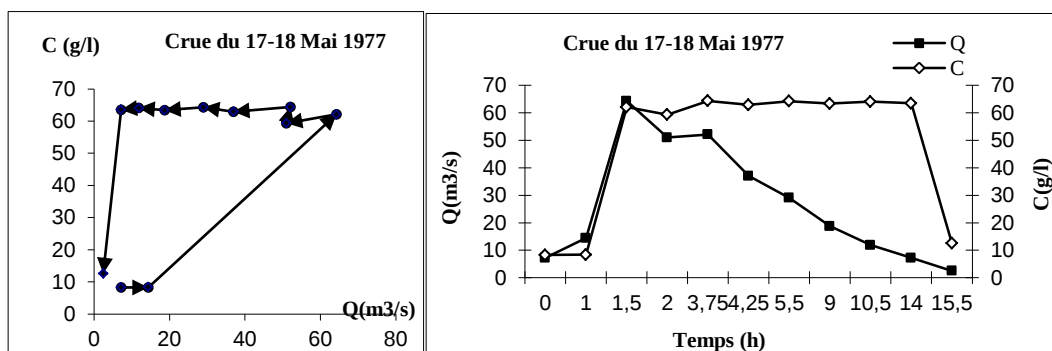
Tableau (VII.2) : Chronologie des crues sélectionnées.

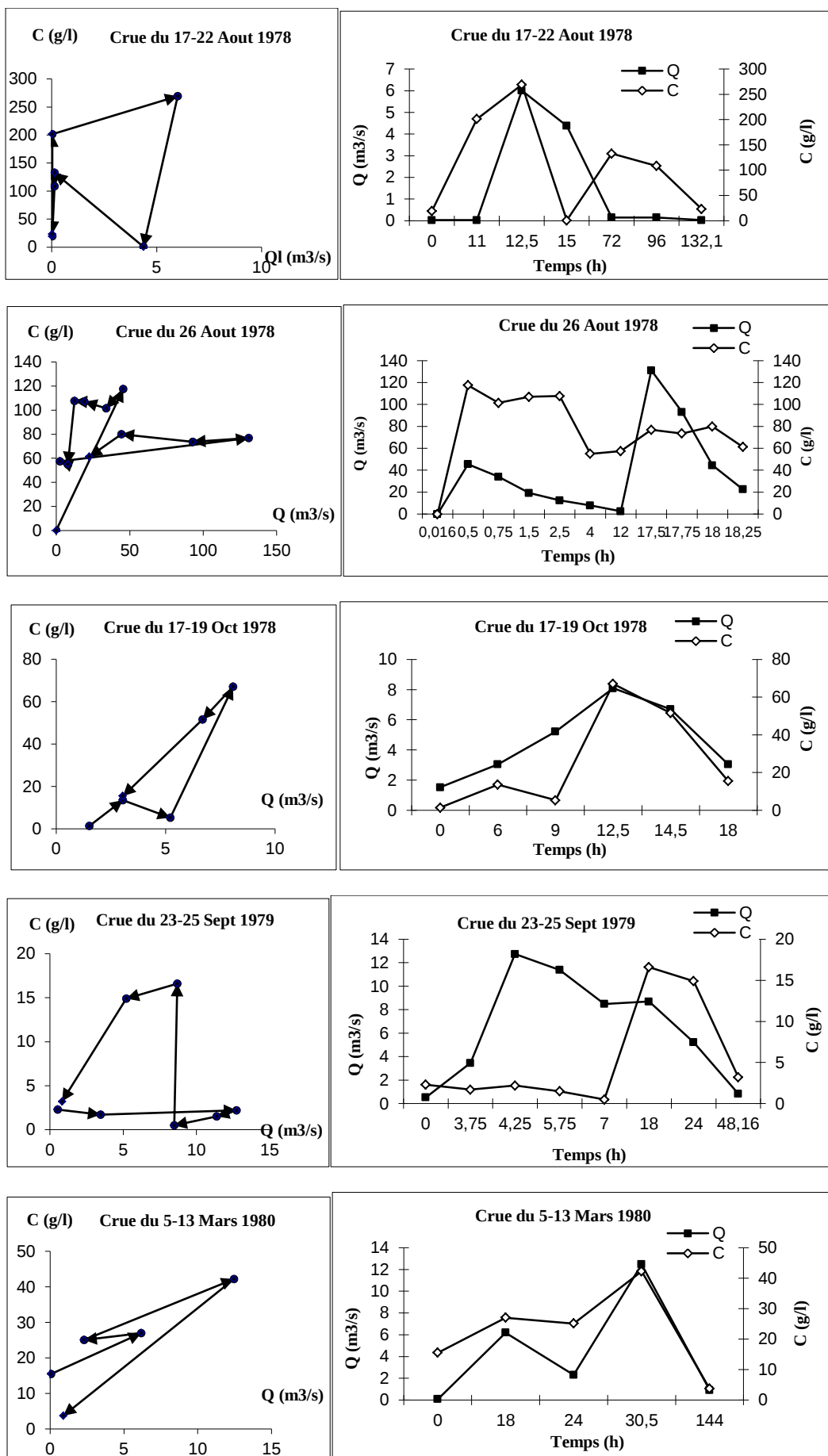
No	Date	Nombre d'observations
1	17-18 Mai 1977	11
2	17-22 Aout 1978	7
3	26 Aout 1978	11
4	17-19 Octobre 1978	6
5	23-25 Septembre 1979	8
6	5-13 Mars 1980	5
7	13-23 Février 1981	6
8	13 Septembre 1982	5
9	30-31 Octobre 1982	15
10	2-9 Octobre 1986	8
11	7-10 juin 1988	6
12	3 Avril 1989	8

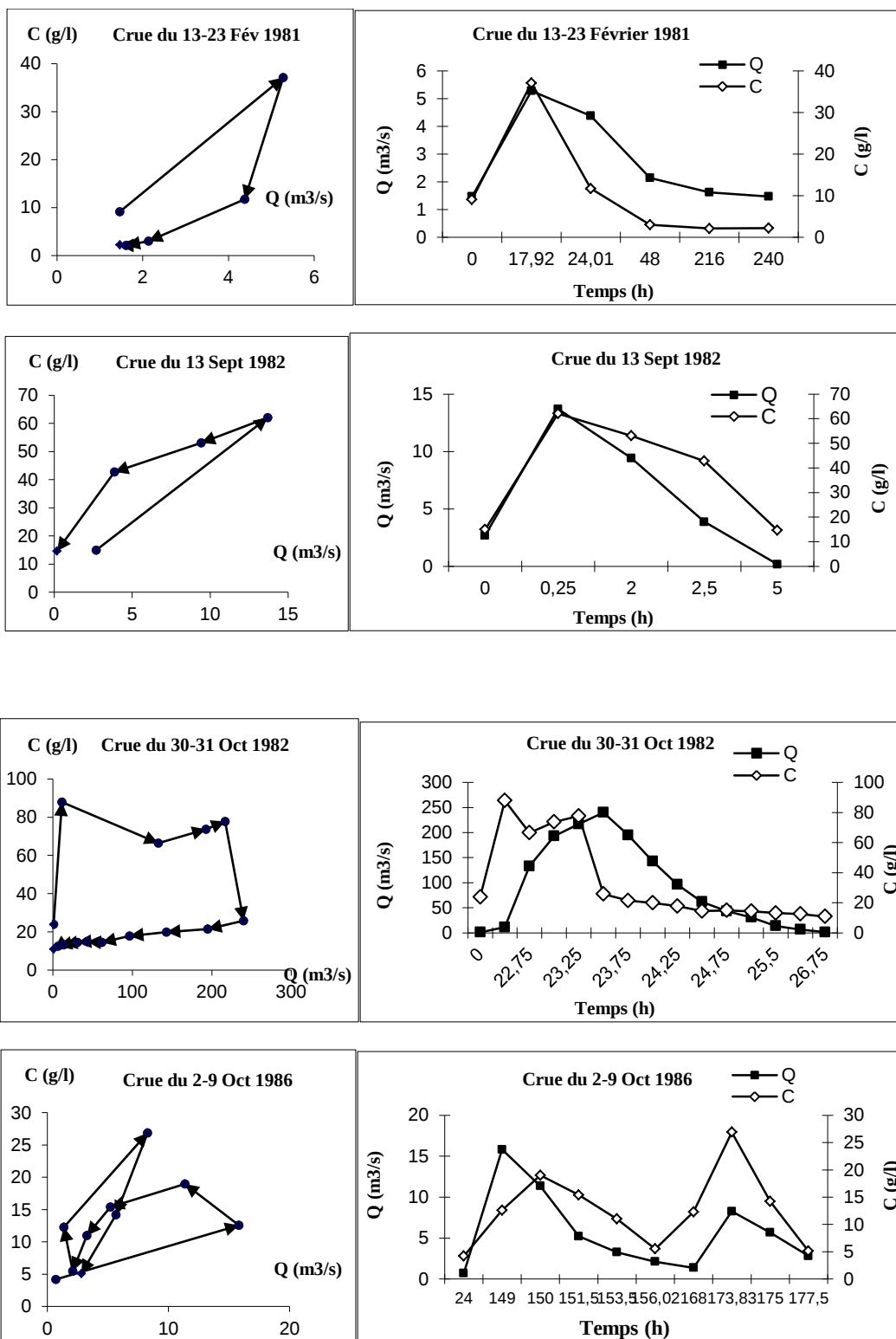
III. Identification des relations C-Q

L'indentification des différentes classes de relations C-Q est élaborée sur la base des résultats graphiques et statistiques des deux variables mises en relation. La figure VI.2 représente les graphes temporels et l'hystérésis des événements sélectionnés.

Le tableau VI.3 présente les grandeurs statistiques des crues retenues dans cette analyse. Ces paramètres fournissent des informations très importantes pour l'identification des classes d'hystérésis.







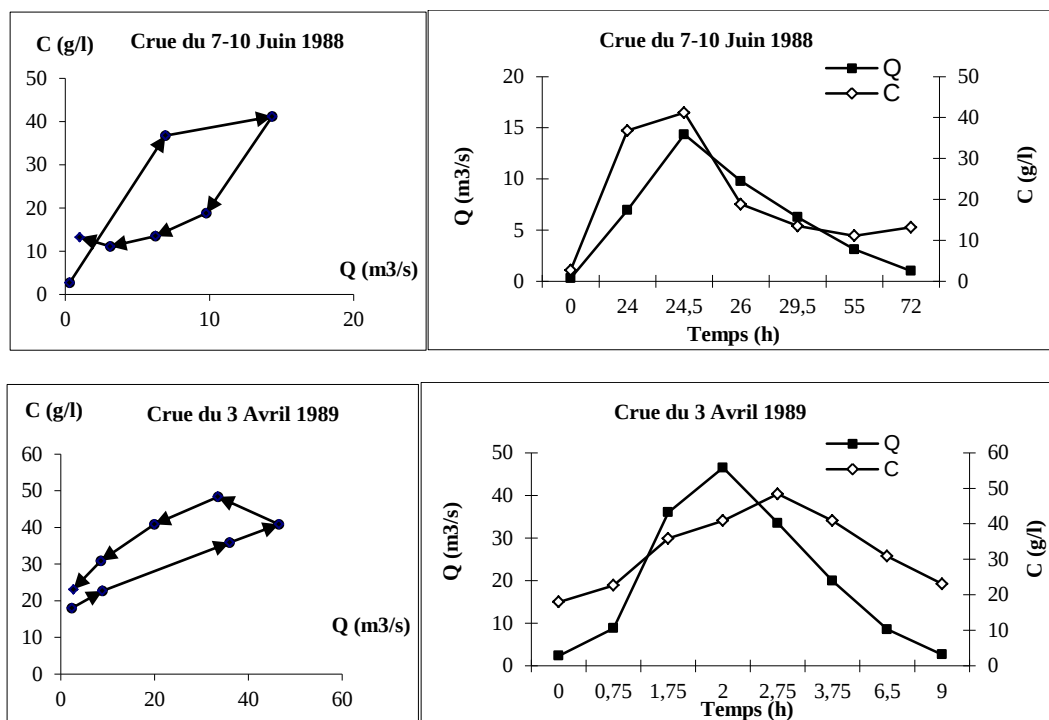


Figure (VII.1) : Evolution de la concentration des sédiments transportés et des débits en fonction du temps durant les crues de l'oued el Abiod (1972/89).

Les paramètres statistiques dans leurs sélectionnes ont été présents dans le tableau suivant :

Tableau (VII.3) : Paramètres statistiques des crues sélectionnées

Crue	Variables	Ecar-type	Moyenne	Coef Variation	Aplatisement	Asymétrie
1	21,31	0,61	-1,1	0,79	26,86	21,31
	24,93	-1,18	-0,74	0,51	48,46	24,93
2	2,54	1,37	0,05	1,64	1,54	2,54
	101,57	0,56	-1,02	0,94	107,82	101,57
3	40,8	1,52	1,84	1,08	37,48	40,8
	33,36	-1,03	1,63	0,44	76,09	33,36
4	2,5	0,28	-1,43	0,54	4,61	2,5
	26,98	0,95	-1,07	1,05	25,75	26,98
5	4,63	-0,02	-1,54	0,72	6,42	4,63
	6,47	1,4	0,06	1,21	5,36	6,47
6	5,08	1,27	0,91	1,16	4,38	5,08
	14,29	0,04	0,32	0,63	22,7	14,29
7	1,67	1	-1,18	0,61	2,73	1,67
	13,46	2	4,18	1,24	10,86	13,46
8	5,47	0,92	-1,14	1,09	4,98	5,47
	19,52	-0,24	-2,73	0,52	37,78	19,52
9	87,03	0,48	-1,41	0,94	92,51	87,03
	27,74	1,17	-0,41	0,84	33,01	27,74
10	4,85	1,17	0,75	0,85	5,7	4,85
	6,96	0,75	0,7	0,55	20,28	6,96
11	5,01	0,59	-0,33	0,84	5,97	5,01
	14,14	0,76	-0,79	0,72	19,61	14,14
12	16,93	0,5	-1,47	0,85	19,8	16,93
	10,71	0,03	-1,37	0,33	19,39	10,71

L'identification du classement et les caractéristiques des crues étudiées dans le bassin d'Oued El Abiod, sont mentionnées selon la bibliographie dans le tableau montrée ci après.

Tableau (VII.4) : Classement et caractéristiques des crues.

Classe	Sous classe	Crue	Caractéristiques	Forme et caractéristiques de la boucle
I	1	2,5 7,11	C/Q (montée) > C/Q (décrue) $C_{\max} = Q_{\max}$ $C_S > 0$. A_P varie pour C et Q	Sens des aiguilles d'une montre La boucle est moins large pour les crues 5,7 et 11 La largeur de la boucle 2 est remarquable
	2	9	C/Q (montée) > C/Q (décrue) $C_{\max}$ avant $Q_{\max}$ $C_S > 0$. $A_P < 0$	Sens des aiguilles d'une montre La largeur de la boucle est remarquable
II	1	1,4 et 8	C/Q (montée) < C/Q (décrue) $C_{\max} = Q_{\max}$ C_S varie pour les crues 1 et 8 $A_P < 0$	Sens contraire des aiguilles d'une montre Les boucles 4,8 très rétrécies et la montée linéaire La largeur de la boucle 1 est remarquable
	2	12	C/Q (montée) < C/Q (décrue) $Q_{\max}$ avant $C_{\max}$ $C_S > 0$ $A_P < 0$	Sens contraire des aiguilles d'une montre La boucle est moins large
III	1	6	C/Q (montée) < C/Q (décrue) Pour des valeurs de Q C/Q (montée) > C/Q (décrue) Pour d'autre valeur de Q $C_S > 0$, $A_P > 0$	Forme de huit incomplet Une convergence de la boucle
	2	3,10	C/Q (montée) < C/Q (décrue) Pour des valeurs de Q C/Q (montée) > C/Q (décrue) Pour d'autre valeur de Q C_S varie pour la crue 3 $A_P > 0$	Forme de huit

La boucle dans le même sens ou dans sens contraire des aiguilles d'une montre pendant les crues d'Automne. Les crues d'Automne surviennent après une saison sèche où le sol est particulièrement fragilisé et facilement érodable et où les pluies peuvent être violentes mais de courte durée. Ceci permettra soit, l'apparition du pic des concentrations avant, le pic des débits, si l'averse est de faible intensité et de longue durée, soit l'apparition du pic des débits avant celui des débits avant celui des concentrations si l'averse est de forte intensité et de courte durée (Bouanani, 2004).

Le modèle « counterclockwise », se présente aussi pour les crues survenues en Printemps, saison caractérisée par des pluies tombant après une saison d'Hiver peu pluvieuse. Aussi, les sédiments accumulés dans le lit de l'oued et laissés pendant l'Automne, seront mobilisés dès les premières crues du Printemps. Ce mode d'évolution se manifeste par un décalage entre l'onde de crue qui affecte les masses d'eau et le transfert plus lent des matériaux fournis à partir des versants (Bouanani, 2004).

Le modèle en boucle dans le sens des aiguilles d'une montre « clockwise », qui se présente particulièrement pour les crues du Printemps. Ceci peut être dû à la disponibilité des sédiments produits par les crues précédentes d'Automne comparé, à un manque ou une diminution des réserves en sédiments à la fin de la saison sèche (Heidel, 1956). Ce type d'hystérésis révèle un accroissement rapide des concentrations par rapport aux débits liquides, dû en bonne partie à la remise en suspension des dépôts fins dans le lit fluvial et sur les banquettes latérales.

La charge solide en Été est plus importante que celle transportée par les crues Printanières, les pluies estivales sont généralement intenses et plus agressives, et le couvert végétal dégradé, qui conduit à un écoulement très rapide qui favorise l'arrachement des particules du sol après le travail de désagrégation par insolation. La source principale de la charge solide en suspension est alimentée par l'érosion en ravines et la dégradation des berges de la cour d'eau.

Une crue Hivernale donne un modèle en boucle dans le sens des aiguilles d'une montre, cela peut s'expliquer par la disponibilité des sédiments produits par des crues précédentes.

Les formes en huit, se présentent souvent pendant les crues d'Automne, survenues après une saison sèche estivale.

L'impact prolongé des gouttes de pluies sur le sol desséché pulvérise les agrégats produisant des matériaux susceptibles d'être amenés au cours d'eau par ruissellement superficiel

IV. Conclusions :

Pour chercher à caractériser la relation C-Q, à travers, une série d'événements chronologiques (crues), les paramètres débit et concentration de sédiments en suspension et leurs phénomènes d'hystérésis dans le bassin de l'Oued Abiod ont été recueillis afin d'examiner leurs distributions temporelles. L'objectif est d'élaborer une classification de cette relation, et de faire ressortir, le modèle de boucle d'hystérésis dominant. Différentes formes de modèle d'hystérésis observé ; formes dans le sens des aiguilles d'une montre, sens contraire des aiguilles d'une montre et la forme huit.

Les crues dans le même sens et dans le sens contraire des aiguilles en Automne surviennent après une saison sèche où le sol est particulièrement fragilisé et facilement érodable et où les pluies peuvent être violentes mais de courte durée. La charge solide de la saison d'Été est plus importante par rapport aux crues printanières, les pluies estivales sont généralement intenses et plus agressives. La source principale de la charge solide en suspension est alimentée par l'érosion en ravines et la dégradation des berges des cours d'eau.

Partie II:

Pollution

Chapitre I

Pollution des eaux de surface

I. Introduction :

La pollution des eaux de surface continue de poser un problème sérieux pour l'homme et son environnement (René, 1968). Les changements climatiques et le développement industriel et agricole, le contrôle et la surveillance de la qualité des eaux de surface et les eaux souterraines devraient susciter un intérêt particulier (El Haiti, 1991). Elles doivent avoir comme objectifs majeurs la préservation de la santé de la population et le dépistage de tous les types de pollution pouvant nuire à la santé humaine.

II. Caractéristiques des eaux de surface :**II.1 Définition des eaux de surface :**

Les eaux du surface sont constituées par toutes les eaux circulent ou stockées à la surface des continents, elles sont pour origine, les eaux de ruissellement, autre nappes profondes dont l'émergence constitue une source de ruisseau, puits, rivière. Ces eaux se rassemblent en cours d'eau caractérisées par une surface contact eau-atmosphère en mouvement et une vitesse de circulation appréciable, elles peuvent se trouve stockées en réserve naturel (étangs, lacs) ou artificiel (retenues, barrages) caractérisée par une surface d'échange eau atmosphère carrément immobile, une profondeur qui peuvent être importante et un temps de séjour souvent élevé, il s'agit d'une ressource facilement accessible mais, malheureusement fragile et vulnérable qui doit être protéger contre les divers facteurs de pollution.

La pollution des eaux de surface continue de poser un problèmes sérieux pour l'homme et son environnement (René, 1968).

II.1.2 Composition des eaux naturelles :

Les particules sont toujours présentes dans les eaux naturelles, en général, et dans les eaux superficielles, en particulier. Ce sont des particules d'origine minérale, organique ou biologique. Leurs tailles sont comprises entre quelques centièmes de micromètres et quelques millimètres (Rodier.J, 2009)

Les substances présentes dans l'eau peuvent être classées selon deux modes différents :

-Suivant leur nature chimique : organique / minérale.

-Suivant leur état physique : matières dissoutes, colloïdales ou suspension.

Ces distinctions sont arbitraires dans la mesure où d'une part, une substance peut se trouver soit à l'état dissous, soit en suspension selon les conditions du milieu, et d'autre part, l'eau est le siège des phénomènes de dégradation biologique qui peuvent transformer les substances organiques en substances minérales (Rejest.F, 2002).

II.1.2.1 Composition chimique :

a- Les matières minérales :

C'est essentiel des composés ioniques, anions et cations qui proviennent de la dissolution des roches dans l'eau qui circule à leur contact (Rejest.F, 2002), leur teneur peut varier du milligramme par litre ou gramme pour les eaux les plus salées, et une moyenne concentration (du microgramme ou milligramme par litre) et d'autres éléments ne sont présents qu'à l'état de trace (de 0.1 à 100 microgrammes par litre (Raymond), (Oulmi. A., Boumaraf.F, 2006).

Tableau (I.1) : les ions susceptibles de retrouver dans l'eau (Raymond)

Ions	Cations		Anions	
	Désignation	Symbole	Désignation	Symbole
Lons dissous	Hydrogène	H ⁺	Hydroxyde	OH ⁺
	Calcium	Ca ²⁺	Carbonate	CO ₃ ⁻²
	Magnésium	Mg ²⁺	Hydrogène-carbonate	HCO ₃ ⁻
	Sodium	Na ⁺	Sulfate	SO ₄ ⁻²
	Potassium	K ⁺	Chlorures	Cl ⁻
	/	/	Nitrate	NO ₃ ⁻
Les éléments nutritifs (nutriments)	Ammonium	NH ₄	Nitrite	NO ₂ ⁻
	Fer ferreux	Fe ²⁺	Phosphate	PO ₄ ³⁻
	Manganèse	Mn ²⁺	Silicate	Si O ₃ ²⁻
Autre éléments	Cuivre	Cu ²⁺	Fluore	F ⁻
	Aluminium	Al ³⁺	/	/
	Cadmium	Cd ⁺	/	/
	Zinc	Zn ²⁺	/	/
	Plomb	Pb ²⁺	/	/

b- Les matières organiques:

Ce sont par définition, des composés du carbone, de l'hydrogène, de l'oxygène et de l'azote. Ces matières proviennent soit de l'érosion des sols, soit de la décomposition de matières animales ou végétales qui se trouvent dans l'eau (Rejest.F, 2002). Peuvent être aussi présents les acides carboxyliques et hydrates de carbone caractérisables par l'oxydabilité au permanganate de potassium (KMnO₄) (Raymond).

II.1.2.2 Composition physique

a- Les matières dissoutes :

Ce sont des matières dispersées de façon homogène dans l'eau, faiblement polarisées ou ionisées. Elles obéissent à des équilibres de dissolution qui sont fonction de la température et de la pression (Rejest.F, 2002).

b- Les matières suspension (MES) :

Ce sont des particules solides dont la taille est supérieure à 10 µm, dispersée dans l'eau sans être liée chimiquement (Rejest.F, 2002). Elles sont hétérogènes de formes, et d'origine variées, dans les eaux de forage se sont le sable fin, le fer oxydé, et quelque fois des algues, dans les eaux de rivière, les matières volumineuses, souvent flottantes ou indécomposables, et les matières fines sont des limons, soles, argiles, débris végétaux et animaux (Raymond), (Oulmi. A., Boumaraf.F, 2006).

La détermination des matières en suspension dans l'eau s'effectue par filtration ou par centrifugation (Rodier.J, 2009).

c- Les matières colloïdales :

L'état colloïdal est un état intermédiaire entre l'état dissous et la suspension. Elles sont constituées d'éléments de petite taille chargés négativement, ce qui explique qu'ils se repoussent et se répartissent de façon dispersée et désordonnée dans la masse liquide (Rejest.F, 2002).

Les matières colloïdales sont en générale les argiles, les poussières atmosphériques et silice.

L'état colloïdal peut estimer en première approche, par la turbidité si non par couleur de l'eau. (Raymond) (Oulmi. A., Boumaraf.F, 2006).

III. Les paramètres de la qualité de l'eau :

On peut divisés les paramètres de qualité comme il suit :

- 1- Paramètres organoleptiques ;
- 2- Paramètres physico-chimiques en relation avec les structures naturelles des eaux ;
- 3- Paramètres organiques ;
- 4- Paramètre concernant des substances indésirables ;
- 5- Paramètres concernant des substances toxiques ;
- 6- Paramètres microbiologique.

III.1. Les paramètres organoleptiques :

Concernant les qualités sensibles de l'eau (la couleur, le gout, l'odeur, la transparence) ; ces critères n'ont pas de valeur sanitaire directe, une eau peut être trouble, colorée, sentir le chlore et être parfaitement consommable d'un point de vue sanitaire (Michard.G).

- **La couleur**

La couleur de l'eau est due à la présence matières organiques colorées (substances humiques) de métaux ou de rejet industriels (industries papetière et textiles,..)

-les métaux qui colorent l'eau sont notamment le fer (couleur rouge), qui provient soit de la composition naturelle des eaux, soit de la dissolution des tuyauteries métalliques des réseaux de distribution, et manganèse (couleur noir). Dans le cas extrême, une coloration bleu clair peut apparaître en présence de cuivre.

Mais la couleur de l'eau résulte essentiellement de particules colloïdaux en suspension, peu ou pas décantables.

La couleur réelle de l'eau est liée aux seules substances dissoutes donc après élimination de la turbidité.

L'importance de la couleur est surtout 'ordre organoleptique, c'est-à-dire capable de produire un effet sensoriel. Elle peut être l'indice d'une pollution par diverses substances chimiques.

La coloration d'une eau peut être préjudiciable pour certains traitements de désinfection (ultraviolets) (Poteloni., Zysman.K).

- **La turbidité**

La turbidité de l'eau a pour origine la présence de matières en suspension (argile, limon, particules fibreuses, particules organiques colloïdales, plancton, organismes microscopiques) qui donnent un aspect trouble à l'eau (Poteloni., Zysman.K).

Elle est définie aussi comme l'inverse de limpidité ou la transparence. Une eau turbide est donc plus ou moins trouble.

La turbidité résulte de la diffusion de la lumière qui est ainsi déviée dans toutes les directions.

Ce sont les particules en suspension dans l'eau qui diffusent la lumière. Leur origine peut être extrêmement variable : érosion des roches, entraînement des matières minérales ou organiques sur sol, déversement d'eau usée domestiques ou industrielles riches en matières en suspension grossières (Oulmi. A., Boumaraf.F, 2006).

La turbidité peut être évaluée par un certain nombre de méthode qui sont pratiquées suivant les nécessités sur le terrain ou au laboratoire.

On peut mesurer la turbidité par l'utilisation des certains instrument :

- Le turbidimètre de JACKSON (méthode visuelle) ;
- Opacimétrie ;
- Le turbidimètre de HELLIGE ;
- Néphélémétrie de HACH (pour faibles turbidité).

Les MES présentées dans l'eau, donnent un aspect trouble qui est désagréable pour les consommateurs. Mais les risques les plus sérieux sont dues aux bactéries, kystes, parasites et surtout les virus qui se fixe sur ces particules (MES) rendront leur destruction difficile, le risque microbiologique est aggravé dans le cas des matières organiques qui neutralisent le désinfectant.

- **L'Odeur**

L'odeur a pour origine principale, la présence des substances organiques volatiles ou de certains gaz : D'origine biologique, les odeurs relèvent la présence de micro-organisme qui peuvent

signifier une augmentation de la concentration en germes pathogènes ; elles peuvent aussi provenir de pollutions issues des activités humaines (effluent industrielles ou agricoles) (Poteloni., Zysman.K).

L'évaluation de l'odeur se fait la dilution de l'eau à examiner jusqu' à ce quelle ne présente plus d'odeurs perceptible, elle s'exprime en taux de dilution naturelle à O₂ à 12 C° (Oulmi. A., Boumaraf. F, 2006).

- **Saveur**

Le goût est l'ensemble des sensations gustatives, olfactives et sensibilité chimique commune perçue lorsque l'aliment ou la boisson est dans la bouche (J.Rodier, 2009), le goût est évalué par dilution avec une eau sans goût (eau de référence).

La dégustation (même du gout) est effectuée en commençant par les dilutions les plus grandes jusqu'à l'apparition du goût (Raymonde).

L'apparition de goût provient souvent d'une croissance des micro-organismes à l'intérieur du système de distribution ou bien contamination occasionnelle par les matériaux utilisés pour la construction ou l'entretien du réseau. Parfois, l'eau naturelle présente une saveur particulière. Enfin, le traitement au chlore de l'eau de distribution produit des substances organochlorées à haut pouvoirs gustatifs dans certaines conditions (Poteloni., Zysman.K).

III.2. Paramètre physico-chimiques en relation avec la structure naturelle des eaux

- **Le PH**

Le PH correspond, pour une solution diluée, à la concentration d'ion hydrogènes. Il mesure l'acidité ou la basicité (alcalinité) d'une eau.

Le PH d'une eau naturelle dépend de l'origine de celle-ci et de la nature des terrains traversés. Des eaux issues de massifs cristallins auront un PH plutôt acide. A l'inverse, des eaux provenant de régions calcaires auront un PH plutôt basique. Certaines eaux superficielles (lacs, rivières, plans d'eau) ont parfois un PH s'élevant brutalement en été, résultant d'une forte production végétale. Généralement, il se situe dans la plupart des eaux brutes entre 6,5 et 8,5 (Poteloni., Zysman.K).

Le PH joue un rôle primordial à la fois dans :

- Les propriétés physico-chimiques (acidité, agressivité) ;
- Les processus biologiques dont certains exigent des limites très étroites de PH.
- L'efficacité de certains traitements (coagulation, adoucissent, contrôle de la corrosion, chloration).
- Les mécanismes de la coagulation.

- **La température**

La température de l'eau est un paramètre de confort pour les usagers. Elle permet également de corriger les paramètres d'analyse dont les valeurs sont liées à la température (conductivité

notamment). De plus, en mettant en évidence des contrastes de température de l'eau sur un milieu, il est possible d'obtenir des indications sur l'origine et l'écoulement de l'eau.

La température des eaux souterraines est relativement constante toute l'année, 12°C à 15°C environ lorsque leur environnement n'est pas modifié, pour les eaux superficielles (rivières, lacs et retenues) est très variable.

Pour l'eau potable, la température maximale acceptable est de 15°C, car on admet que l'eau doit être rafraîchissante. Dans les eaux naturelles elle est au-dessus de 15°C (Poteloni., Zysman.K).

L'OMS donne une valeur guide concernant la température. La limite acceptable est de 25°C°.

L'augmentation de la température favorise aussi l'auto épuration et accroît la vitesse de sédimentation, ce qui peut présenter un intérêt dans les stations d'épuration. Les élévations de température peuvent être nuisibles pour les poissons, favoriser la mortalité de certaines espèces et le développement d'autres.

- **La conductivité**

La conductivité électrique d'eau est, la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm² de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm.

Il existe une relation entre la teneur en sels dissous d'une eau et la résistance qu'elle oppose au passage d'un courant électrique. Cette résistance peut s'exprimer de deux manières : la résistivité ou son inverse, la conductivité. La conductivité est proportionnelle au degré de minéralisation (teneur globale en espèces minérales généralement ionisées) et varie en fonction de la température (Poteloni., Zysman.K).

Leur unité est S/m (siemens par mètre) avec : S/m correspond Ω^{-1}/m

La conductivité de l'eau pure : $5,5 \cdot 10^{-6}$ S/m à 25°C.

La conductivité est un moyen rapide pour évaluer la minéralisation globale de l'eau, une valeur élevée de la conductivité entraîne selon les cas d'un goût salé (selon la nature des sels présents), peut être aussi l'accélération de la corrosion des dépôts.

- **Chlorures**

Très répandus dans la nature, généralement sous forme de sels de sodium (NaCl), de potassium (KCl) et de calcium (CaCl₂), les ions chlorures Cl⁻ dont la plus grande partie se trouve dans les océans, constituent environ 0,05 % de la lithosphère. De façon générale, l'ion chlorure est présent dans toutes les eaux à des concentrations variables.

Dans les eaux souterraines, les teneurs en ions chlorures peuvent atteindre quelques grammes par litre au contact de certaines formations géologiques (Poteloni., Zysman.K).

- **Les Sulfates (SO_4^-)**

Composés naturels des eaux, les ions sulfates (SO_4^-) sont liées aux cations majeurs : calcium, magnésium et sodium. A part ceux du plomb, du baryum et du strontium, la plus part des sulfates sont solubles dans l'eau et peuvent néanmoins être réduits en sulfites, Un léger effet purgatif chez l'adulte pour des doses allant entre 1 à 2g, cependant des concentrations inférieurs peuvent affecter les enfants et les nouveaux consommateurs d'eau (troubles, gastro-intestinaux, et diarrhéique), la consommation régulier d'eau chargée en sulfates fait disparaître de ces effets laxatifs.

Les seuils de détection gustatifs pour les sulfates les plus courants vont de 20 à 500 mg/l pour le sulfate (Rodier.J, 2009).

- **Le Calcium Ca^{2+}**

Le calcium est un alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates (CaCO_3). Ses sels se rencontrent dans presque toutes les eaux naturelles, leur teneur dans l'eau qui peut varier de 1 à 150 mg/l, est directement liée à la nature géologique des terrains traversés. Les sels de calcium sont obtenus, en majorité lors de l'attaque des roches calcaires par anhydride carbonique dissous (CO_2), il constitue l'élément économique dominant des eaux superficielles. Le calcium est l'élément principal de la dureté de l'eau (Poteloni., Zysman.K).

- **Le Magnésium (Mg^{2+})**

C'est élément très répandu dans la nature, dans de nombreux minéraux et dans les calcaires (2,1% de l'écorce terrestre).

Son abondance géologique, sa grande solubilité, sa large utilisation industrielle, font que les teneurs dans l'eau peuvent être importantes. La plupart des eaux naturelles présentant des teneurs comprise entre 5 à 10 mg/l. Cette concentration est en relation directe avec la nature géologique des terrains traversés. Le magnésium dans l'eau provient de l'attaque par l'acide carbonique des roches magnésiennes de la mise en solution de magnésium sous forme de carbonates (Mg CO_3) et de bicarbonate ($\text{Mg}_2 \text{HCO}_3$).

Le magnésium contribue à la dureté de l'eau, le rapport magnésium/calcium et en général inférieur à 1 mg/l. (Djemil A, Mahalaine L, 2003).

- **Le Sodium (Na^+)**

Ce métal, très abondant (environ 26 g/kg de la croûte terrestre soit 2,83%) ne se rencontre pas naturellement à l'état natif mais toujours associé à d'autres éléments chimiques (chlorures, sulfates...). Le principal minéral contenant du sodium est l'un des plus répandus et le sel gemme (chlorure de sodium).

L'omniprésence du sodium et la grande solubilité de ses sels expliquent qu'il se retrouve dans la majorité des eaux (souterraines et de surface). Des teneurs anormalement élevées peuvent provenir d'apports industriels ou domestiques, du lessivage ou de la percolation de terrains salés et d'infiltrations d'eaux saumâtre.

Les concentrations dans l'eau de boisson sont normalement inférieures à 50 mg/l (en moyenne 20 mg/l), mais elles peuvent augmenter au cours des traitements d'adoucissement (par échange d'ions) des eaux calcaires. Des doses de plus de 1000 mg/l ont été signalées dans certaines eaux de boisson (Poteloni., Zysman.K).

- **Le Potassium**

Le potassium est un élément naturel des eaux, où sa concentration, à peu près constante, ne dépasse habituellement pas 10 à 15 mg/l, sauf dans certains contextes géologiques particuliers où elle atteint 20 à 25 mg/l.

Cette substance peut signaler qu'une partie de la radioactivité naturelle des eaux provient de l'isotope 40 du potassium.

La part de l'eau représente généralement moins de 1 % de la quantité totale journalière ingérée par un adulte (2 à 4,5 grammes) fournie essentiellement par l'apport alimentaire (légumes verts, fruit) (Poteloni., Zysman.K).

- **Le Résidu sec**

La détermination des résidus permet d'estimer la teneur en matières dissoutes et en suspension d'une eau. La détermination de résidu sec d'une eau non filtrée permet d'évaluer la teneur en matières dissoutes et en suspension d'une eau, c'est le résidu total.

Si l'eau est filtrée préalablement avant la mesure, le résidu correspond alors aux matières dissoutes. Les résidus secs sont déterminés à 180 °C, le résidu à 525 °C permet d'estimer la teneur en matières organiques (Rodier.J, 2009).

D'après l'OMS, une eau est considérée comme d'excellente qualité pour une teneur de l'extract sec inférieure à 300 mg/l et inacceptable pour une teneur supérieure à 1200 mg/l (Poteloni., Zysman.K).

- **L'oxygène dissous**

L'eau contient toujours de l'oxygène dissous dont les concentrations varient avec la température et la pression partielle dans l'atmosphère. Du fait de l'équilibre entre l'oxygène de l'air et de l'eau, plus les eaux sont superficielles et plus elles sont rongées en oxygène. Les teneurs maximaux atteints dépassent rarement 10 mg/l.

Dans le cas des eaux souterraines, la concentration en oxygène dissous des nappes libres, qui sont à la pression atmosphérique, est proche de la teneur rencontrée dans les eaux superficielles avec lesquelles elles sont en contact. Quant aux nappes captives, elles sont peu chargées en oxygène dissous (Poteloni., Zysman.K).

L'OMS préconise que les niveaux d'oxygène dissous soit souvent aussi près que possible de la saturation (l'eau saturé en oxygène est une eau qui contient 9.1 mg/l O₂ à 20 °C).

• La dureté

La dureté ou titre hydrotimétrique d'une eau correspond à la somme des concentrations en cation métalliques à l'exception de ceux des métaux alcalins et de l'ion hydrogène. Dans la plupart des cas la dureté est surtout due aux ions Calcium et Magnésium aux quels s'ajoutent quelque fois les ions Fer, Aluminium, Manganèse, Strontium.

La dureté est encore appelées dureté calcique et magnésienne ou consommation de savon. Elle exprime en milliéquivalents de concentration en CaCO_3 (Rodier.J, 2009).

- La dureté total = dureté calcique + dureté magnésienne.

$$TH = Tca + Tmg \text{ ou } Tca = [Ca^{2+}], Tmg = [Mg^{2+}]$$

- La dureté carbonatée correspond à la teneur en Hydrogénocarbonate et carbonate de calcium et de magnésium. Elle est égale au TAC si le TH est supérieur au TAC et au TH, si le TAC est supérieur ;
- La dureté permanente ou non carbonatée *P*, correspond à la dureté qui persiste après ébullition de l'eau. Elle représente la teneur en Sulfate et Chlorure de Calcium et de Magnésium. Elle est égale à $TH - TAC$ à condition que l'eau ne renferme pas de bicarbonate de Sodium. Dans le cas contraire, le TAC est majoré de 1° pour 16,8mg/l de NaHCO_3 par litre d'eau.
- La dureté temporaire qui n'est autre que la différence entre la dureté totale et la dureté permanente : $TH - P$

La façon la plus logique d'exprimer la dureté consiste à utiliser la normalité (eq/l) ou plutôt le milliéquivalent par litre (meq/l).

Tableau (I.2) : les ions susceptibles de retrouver dans l'eau

Degré français (F°)	Dureté de l'eau
0 à 6	Très douce
6 à 15	Douce
15 à 30	Moyennement
30 et plus	Dure
1 F° = 4 mg/ de ca ou 10 mg/l de CaCO_3	

III.3. Les paramètres organiques

a – La demande biologique d'oxygène (DBO)

La DBO exprime la consommation naturelle d'oxygène en g/litre des corps contenus dans l'eau, dégradés par les bactéries du milieu par une oxydation.

L'oxydation des composés organiques biodégradables par les microorganismes entraîne une consommation de dioxygène (O_2). La mesure de cette demande en oxygène permet d'évaluer le contenu d'une eau en matière organiques biodégradables, donc son degré de pollution ou sa qualité.

La DBO peut-être caractérisée par les besoins des bactéries épuratrices. Cette valeur est d'autant plus intéressante que beaucoup de stations d'épuration épurent par voie biologique. L'évolution de la DBO permet donc en principe de suivre l'efficacité du traitement.

La dégradation des composés glucidiques, lipidiques et protidiques se traduit dans un premier temps, par une décomposition des chaînes carbonées. Celle-ci commence retenu conventionnellement d'exprimer la DBO en mg de dioxygène (O_2) consommé pendant 5 jours à 20°C (DBO_5). La DBO_5 indique l'influence probable des eaux usées sur les cours d'eau récepteurs, du point de vue de la réduction de leur teneur en oxygène.

b – La demande chimique en oxygène (DCO)

Elle représente la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder dans un certains contexte réactionnel, les substances réductrices ou oxydables contenus dans l'échantillon, elle s'exprime en mg de O_2 par litre, où DCO est mesuré par la consommation de l'oxygène de solution dichromate de potassium à chaud en 2 heure, dans les eaux résiduaires le rapport (**DCO/DBO**) = 2 à 2,6.

La DCO consiste donc un paramètre important, c'est un test rapide, très utile pour surveillance des eaux usées et de rejets industriels (surtout ceux à caractère toxique qui se prête ont mal aux mesures de DCO).

Elle est généralement supérieure, surtout pour les eaux usées domestiques, mais il y a souvent un rapport à peu près constant entre la DBO et la DCO : (**DCO/DBO**) = 1.5 à 2.

c – Le carbone organique total (COT)

Dans l'eau, les teneurs en substances organiques sont souvent mesurées indirectement en termes d'équivalent d'oxygène consommé (demande chimique en oxygène, demande biologique en oxygène à 5 jours ou oxydabilité).

La mesure du carbone organique total (COT) fournit une indication directe de la charge organique d'une eau (composés organiques volatils ou fixés, naturels ou de synthèse car tous contiennent du carbone). Le carbone organique, présent dans l'eau, existe sous forme particulaire ou dissoute.

La valeur du COT dans les eaux d'alimentation est généralement inférieure à 0,2 mg/l (Poteloni., Zysman.K).

Remarque

L'oxydabilité au permanganate de potassium (KMnO_4) et le carbone organique total (COT) sont considérés comme des substances indésirables.

III.4. Les paramètres concernant des substances indésirables**a – Le fer**

Le fer peut se rencontrer dans l'eau sous différentes formes. Dans les conditions habituelles c'est-à-dire pour un PH variant entre 4,5 et 9, le fer soluble présent est généralement à l'état ferreux. Si le milieu est réducteur comme dans beaucoup d'eau souterraine, le fer ferreux peut atteindre des teneurs élevées. En l'absence de complexes, le fer ferrique n'est soluble d'une façon significative qu'à des PH inférieurs à 3 (Rodier, J., 2009).

Il provoque une diminution constante et progressive du débit des puits. Les rôles prépondérants sont dus aux ferreux- bactéries qu'il les utilisant comme source d'énergie ou elle le précipitant en dégradant le liquide. Sans oublier de parler des caractéristiques organoleptiques du goût même de l'odeur provoquée par développement des bactéries ferrugineuses sans oublier l'augmentation de turbidité (jaune-marron du $\text{Fe}(\text{OH})_3$, c'est composé de l'hémoglobine).

Pratiquement, les eaux superficielles n'en contiennent que très peu. Rarement plus de 1 mg/l.

b – Le Manganèse

C'est un élément très répandu dans la nature, dans de nombreux minéraux et dans les calcaires (2,1% de l'écorce terrestre).

Son abondance géologique, sa grande solubilité, sa large utilisation industrielle, font que les teneurs dans l'eau peuvent être importantes.

La plupart des eaux naturelles présentant des teneurs comprises entre 5 et 10 mg/l. cette concentration est en relation directe avec la nature géologique des terrains traversés.

Le magnésium dans l'eau provient de l'attaque par l'acide carbonique des roches magnésiennes de la mise en solution de magnésium sous forme de carbonates (MgCO_3) et de bicarbonates (MgHCO_3). Le Magnésium contribue à la dureté de l'eau, le rapport Magnésium/Calcium est en général inférieur à 1 (Djemil A, Mahalaine L, 2003).

c – Les matières en suspension (MES)

Les matières en suspension (MES) dans l'eau généralement visibles à l'œil nu (dimensions supérieures à 10 μm), déterminent la turbidité.

Les MES sont des particules solides très fines qui se classent en :

- Matières décantables qui se séparent naturellement, sans apport de réactif, quand l'eau est au repos ;

- Matières colloïdales trop fines pour être décantées par gravité, mais éliminables par coagulation.

Elles se composent d'argiles, de limons, de sable, de boues diverses de particules colloïdale organiques, de plancton, de micro-organisme...etc.

La teneur et la composition des matières en suspension sont très variables selon l'origine de l'eau (Poteloni., Zysman.K).

III.5. Les paramètres concernant des substances toxiques

a – Les Nitrates [NO₃]:

Les nitrates (ou azote nitrique) représentent la forme azotée souvent la plus présente dans les eaux naturelles. Les nitrates constituent la composante principale de l'azote inorganique (N_{inorganique}) ou minéral (Rodier.J, 2009).

Les nitrates sont abondamment dans le sol, dans la plupart des eaux et dans les plantes où ils sont nécessaires à la synthèse des végétaux solubles dans l'eau, ils se retrouvent naturellement en faibles concentrations dans les eaux souterraines et superficielles.

Les teneurs en nitrates des eaux se voient augmentées à cause des effluents industriels, agricoles, urbains, les déjections humaines ou animales et les produits des activités humaines, mais la majeure partie est issue de l'utilisation des engrais ; des rejets des eaux usées (Poteloni., Zysman.K). L'OMS préconise une valeur indicatrice de 50 mg/l ne doit pas dépasser.

b – les Nitrites :

Les nitrites (NO₂⁻) proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniaque, soit d'une réduction des nitrates sous l'influence d'une action dénitrifiant.

Ils sont répandus dans le sol, dans les eaux et dans les plantes mais en quantité relativement faible. En général, dans les eaux de surface, leur teneur excède rarement 1 mg/l. Ils sont généralement employés comme conservateurs alimentaires.

Une eau qui renferme des nitrites est à considérer comme suspecte car elle est souvent liée à une détérioration de la qualité microbiologique (Poteloni., Zysman.K).

c – L'azote ammoniacal : (NH₄⁺)

L'azote ammoniacal se présente sous la forme toxique NH₄⁺. Sa présence dans les eaux traduit habituellement un processus de dégradation incomplète de la matière organique NH₄⁺, l'azote ammoniacal se transforme assez rapidement en nitrites et nitrates par oxydation.

L'azote ammoniacal des eaux superficielles peut avoir origine :

- la matière végétale des cours d'eau ;
- la matière organique animale ou humaine ;

- les rejets industriels ;
- les engrais.

Sa présence est rapprochée des autres éléments azotés identifiés dans l'eau :

L'oxydation biologique de l'ammoniaque peut développer des zones aérobies dans certaines parties des réseaux de distribution, provoquant la corrosion des conduites.

L'ammoniaque présente l'inconvénient de nécessiter une augmentation de la consommation en chlore lors de la désinfection.

d – Le phosphore

Le phosphore peut exister dans les eaux en solution ou en suspension à l'état minérale ou organique. Les composés phosphorés qui sont hydrolysés ou minéralisés répondent au test colorimétrique sont considérés comme étant des ortho-phosphates.

Les ions phosphates (PO_4^{-3}) contenus dans les eaux de surface ou de nappe peuvent être d'origine naturelle (produit de décomposition de la matière organique, lessivage des minéraux).

Les eaux de surface ont une teneur naturelle en phosphates de l'ordre de 0,1 à 0,3 mg/l. la présence de phosphore dans les eaux souterraines est généralement un indice de pollution.

La direction des communautés européennes indique comme teneur du phosphore dans l'eau destinée à la consommation humaine un niveau guide de 0,4 mg/l et une concentration maximale admissible de 5 mg/l exprimée en P_2O_5 (Djemil A, Mahalaine L, 2003).

e – Les métaux lourds

Parmi les paramètres des substances toxiques, les métaux lourds sont cités comme des indicateurs de pollution (l'arsenic trivalent, les cyanures, le chrome hexavalent, les composés organo-mercuriels, le nickel, le plomb, l'antimoine, le sélénium).

- **Nickel :**

Le nickel (0,016% de la croûte terrestre) trouve une large gamme d'utilisations dans le domaine industriel (alliage, revêtement, céramique, verre....)

Sa présence est principalement liée aux activités humaines. Les concentrations observées dans les eaux souterraines sont généralement faibles.

D'après l'OMS la teneur de nickel est 20 µg/l (Poteloni., Zysman.K).

- **Plomb :**

La teneur en Plomb dans les eaux de distributions s'explique fréquemment par la présence de ce métal dans les canalisations ou dans les vannes ou autres accessoires que l'on trouve dans les réseaux. Plusieurs facteurs doivent être pris en compte, comme le PH, le TAC, et la température de

l'eau. Le Plomb peut se trouve sous plusieurs formes : soluble, particulaire et dépôt instable (Rodier.J, 2009).

Les eaux de surface peuvent atteindre des concentrations de l'ordre de 600 µg/l. Le Plomb est facilement éliminé par certains traitements classiques.

D'après l'OMS la teneur de Plomb est 10µg/l (Poteloni., Zysman.K).

- **Chrome :**

Sa présence dans l'eau (sous forme de sels solubles, particules insolubles ou complexes chimiques) n'est pas fréquente et est le plus souvent liée à des rejets d'eaux usées ou à des infiltrations des champs d'épandage de boues de station d'épuration.

Les teneurs dans l'eau brute sont généralement basses (10mg/l, rarement plus de 25 mg/l sauf dans les cas de forte pollution.

Le chrome dans l'eau de boisson varie de moins 10 à plus de 40 mg.

D'après l'OMS la teneur de chrome est 50 mg/l (Poteloni., Zysman.K).

III.6.Les classes de qualité d'eau

La qualité des cours d'eau est évaluée à partir d'une grille qui définit, pour chaque paramètre physico-chimique, cinq classes de qualité associées à indices :

Très bonne	Bonne	Passable	Mauvaise	Très mauvaise
100 à 81	80 à 61	60 à 41	40 à 21	20 à 1

III.6.1. La classe très bonne :

Permet la vie aquatique, la production d'eau potable après une simple désinfection et les loisirs et sports aquatiques.

III.6.2. Les classes bonne et passable :

Eau apte à la fabrication d'eau potable-vie piscicole normale mais perturbation de la reproduction.

Ces qualités permettent :

- La fabrication d'eau potable avec traitement poussé ;
- L'irrigation ;
- L'utilisation industrielle.

III.6.3. La classe mauvaise :

Vie piscicole perturbée. Cette qualité permet :

- L'utilisation pour refroidissement ;
- L'irrigation à des limites.

III.6.4 La classe très mauvaise :

Cette qualité ne permet plus de satisfaire ces usages, ni d'assurer les équilibres biologiques.

IV. La pollution des eaux de surface :**IV.1. Définition de la pollution :**

Un milieu aquatique est dit polluer lorsque son équilibre a été modifié de façon durable par l'apport en quantités trop importantes soit de substance plus ou moins toxique d'origine naturelle ou issue d'activités humaines, soit encore d'eaux trop chaudes.

Présence dans l'eau d'agents physiques, chimiques ou biologiques issues des activités humaines, qui la rendent impropre à son utilisation par l'homme et/ou perturbent les écosystèmes aquatiques. (Khalid El Amrani, 2007).

IV.2. L'origine de la pollution des eaux de surfaces :

Chacun d'entre nous est en partie responsable de la pollution de l'eau, quand il utilise directement et quand il consomme des produits agricoles et industriels.

Elle a pour origines principales :

- L'activité humaine ;
- Les industries ;
- L'agriculture.

IV.2.1. L'origine urbaine

La pollution urbaine comprend les rejets domestiques solides et liquides et les déchets industriels non raccordés.

Les familles utilisent l'eau pour la boisson et la cuisine et la polluent par les toilettes, la salle de bain, la lessive et le lavage. Pour ces causes domestiques, l'eau est associée à des savons, la poudre à laver qui ajoute encore à la pollution.

Le développement des villes augmente les eaux utilisées et leurs rejets, à fortement modifier le cycle de l'eau, crée des zones des équilibres pour les réseaux en quantité et provoque une forte perturbation de la qualité des eaux.

IV.2.2. L'origine industrielle :

La pollution industrielle peut avoir des causes variées :

Les plus fréquents, étant les dépôts de déchet ou les bassins d'eau de lavage ou de traitement de l'industrie minière, métallurgique ou chimique ; qui ont été placés sans précautions, à même le sol sur des terrains trop perméable.

Notons que le génie chimique a produit des pollutions organiques naturels ou synthétiques, parmi eux les pesticides, les composés organiques volatils, les solvants industriels jouent un rôle particulièrement important.

IV.2.3. L'origine agricole :

Les agriculteurs utilisent l'eau pour abreuver leur bétail et pour irriguer les terres. Les déjections animales (purin, lisier) sont polluantes pour les rivières, les engrais mal utilisés polluent les eaux souterraines.

Ce type de pollution intéresse les eaux de ruissellement et concerne deux familles de composé : les pesticides et les engrais.

a- Pollution par les pesticides : On regroupe sous cette appellation :

Les herbicides ; les fongicides ; les insecticides ; les rodenticides.

b- Pollution par les engrais : L'utilisation des engrais est actuellement en accroissement très rapide. On distingue alors :

- Des engrais organiques ;
- Des engrais minéraux.

Donc la pollution agricole se développe depuis que l'agriculture est entrée dans un stade d'intensification surtout dans le domaine des cultures labourées (surfertilisation traitement excessifs, érosion des sols).

V. Les types de pollution :

La pollution de l'eau est l'ensemble des nuisances aux quelles peut être exposé son usager. La pollution engendrée peut être d'ordre physique (radioactivité, élévation de la température...), chimique (rejets agricoles, industriels et urbaines) et microbiologique (rejet urbaines, élevage..). Pour mieux évaluer la pollution, il existe des qui permettent d'estimer l'ampleur de celle-ci en fonction de son type.

- La pollution chimique :

La pollution chimique : elle due à l'entrée d'un élément (ou plusieurs) indésirable dans la composition chimique de l'eau initialement destinée à un usage bien précis. Deux types de paramètres permettent d'évaluer l'état de cette pollution.

- Les paramètres globaux : ils résultent de la juxtaposition des effets de plusieurs substances en même temps exemple PH, Conductivité, Turbidité, Demande Chimique en Oxygène (DCO), etc.....la DCO d'une eau représente l'ensemble de toutes les espèces chimiques oxydables, organiques et minérales, dissoutes ou en suspension ;
- Les paramètres spécifiques qui caractérisent un composé particulier ou plusieurs de propriétés particulier ou plusieurs de propriétés chimiques semblables.
- La pollution physique :

La pollution physique est liée aux facteurs influents sur l'état physique de l'eau tels la Température, la présence des particules ou mousses et le changement de l'effet réfracteur de l'eau. Le rejet d'eau chaude des centrales nucléaires dans les cours d'eau constitue la préoccupation de nombreux pays.

- La pollution microbiologique :

La pollution microbiologique résulte de la présence dans l'eau de microorganismes qui sont véhiculés par l'eau et sont responsables de beaucoup de maladies hydrique (Belhadj, 2001). L'eau peut être un milieu favorable aux développements des bactéries et virus nuisibles à la santé humaine des populations qui l'utilisent pour leurs besoins. Les bactéries pathogènes (Vibrionacea, Enterobacteriaceae, etc.....) sont responsables des principales maladies hydriques. Les parasites sont eux aussi la cause de plusieurs autres maladies (hépatite infectieuse, méningite, etc.....)

VI. Les signes caractéristiques de la pollution

VI.1. Les signes Caractéristiques physiques de la pollution

Ces signes sont les particules en suspension, les pellicules flottantes d'huiles et de substances similaires, les dépôts de particules de graisses. On reconnaît les eaux polluées par la turbidité, la température, l'odeur, la saveur, le PH, la teneur en oxygène dissous. Les substances insolubles contiennent quelques fois des substances organiques, celles-ci entrent en état de putréfaction en provoquant la formation de pellicules flottantes de boues. L'eau polluée n'est en général pas claire et est souvent marquée par une odeur nauséabonde.

VI.2. Les signes caractéristiques chimiques de la pollution

Les signes chimiques de la pollution sont la valeur de la demande biochimique en oxygène (DBO), la valeur de la demande chimique en oxygène (DCO), la teneur en azote ammoniacal, la concentration en substances toxiques et en substances radioactives.

VI.3. Les signes caractéristiques biologiques de la pollution

Les signes biologiques sont le fait d'une eutrophisation caractérisée par un « bloom » aussi bien planctonique que les plantes et animaux supérieurs.

VI.4. Les impacts des pollutions de l'eau :

- ❖ Polluants organiques biodégradables (diminution de la teneur en oxygène dissous)
 - Provoquent une surconsommation d'oxygène (nécessaire à leur dégradation par les micro-organismes)
 - Si l'oxygène est presque absent, il y a alors asphyxie de nombreuses espèces d'organismes animaux et végétaux et l'écosystème est profondément modifié.
- ❖ Les nutriments (prolifération d'algues)

L'enrichissement de l'eau en éléments nutritifs, notamment des composés de l'azote et du phosphore provoque un développement accéléré des algues qui entraîne une perturbation de l'équilibre des organismes présents dans l'eau « eutrophisation »

- ❖ Les matières en suspension

Réduction de la transparence de l'eau.

- ❖ Les polluants inorganiques

Présence de substances indésirables qui provoquent de profonds déséquilibres chimiques (acidité, salinité) ayant des effets biologiques.

- ❖ Les micropolluants (présence de produits toxiques)

Ces substances provoquent des effets qui peuvent être de deux formes :

- Effets immédiatement ou à court terme conduisant à la mort de différents organismes.
 - Effets différés ou à long terme, par accumulation au cours du temps, des substances chez certains organismes.
- ❖ Les agents pathogènes (présence de bactéries ou virus dangereux)

La contamination biologique des eaux par des micro-organismes pathogènes, bactéries ou virus, peut causer de graves maladies.

- ❖ La chaleur

Cette pollution thermique modifie la température de l'eau et perturbe, voire anéantit, nombre d'organismes. L'élévation anormale de température engendre aussi une réduction de la quantité d'oxygène dans le milieu aquatique. (Khalid El Amrani, 2007).

VI.5. L'eutrophisation des lacs et des réservoirs

L'eutrophisation des lacs est un processus évolutif naturel dû principalement à un excès de substances telles que l'azote ou le phosphore. Ces excès favorisent le développement d'espèces végétales nuisibles (algues, macrophytes, ...), une forte putridité de l'eau, la prolifération d'insectes, la disparition d'espèces végétales et animales; ceci se traduit globalement par une détérioration générale de la qualité de l'eau. Face à cette situation, les techniques de restauration des lacs ou prévention contre l'eutrophisation sont nombreuses (chimiques, biologiques et mécaniques).

VI.5.1. Définition de l'eutrophisation :

L'eutrophisation est l'enrichissement des eaux en substances nutritives. Ceci a pour effet une série de changements caractéristiques, par exemple une production accrue d'algues et d'autres plantes aquatiques, une influence néfaste sur la pêche, une dégradation générale de la qualité de l'eau et d'autres phénomènes inacceptables ou nuisibles à l'exploitation de l'eau.

Dans sa définition la plus générique s'appliquant aussi bien aux eaux douces qu'aux eaux marines, l'eutrophisation est le processus d'enrichissement des eaux par des éléments nutritifs des végétaux, en premier lieu l'azote et le phosphore, qui stimule la production primaire aquatique. Ses manifestations les plus graves en sont les proliférations d'algues (eaux rouges), l'écume algale, l'augmentation de la croissance des algues benthiques et, par moments, une croissance massive de macrophytes immergés et flottants (Vollenweider, 1968;1981). Parfois, ces manifestations s'accompagnent de proliférations bactériennes visibles – ou alternent avec des cycles de celles-ci - (Aubert, 1988) et de développements de champignons.

Au plan visuel, l'eutrophisation et ses effets secondaires occasionnent une décoloration des eaux, une diminution de la transparence, une altération esthétique et pour les baigneurs un gêne qui nuit aux activités récréatives. Les agglomérations de macrophytes denses et de macroalgues obstruent les canaux, les lagunes et les estuaires, compromettant la pêche et la navigation et réduisant l'écoulement et la contenance des réservoirs d'eau douce, etc. Avec le vieillissement, le matériel organique en décomposition consomme et, dans des cas graves, épuise la réserve d'oxygène de l'eau, entraînant toute une série de problèmes secondaires comme la mortalité du poisson, la formation de substances corrosives et autres indésirables telles que CO_2 , CH_4 , H_2S , NH_3 , des substances organoleptiques (aux propriétés sapides et odorantes), des acides organiques, des toxines, etc.

Le contact de matériel algal visqueux et un pH élevé peuvent provoquer une dermatite et une conjonctivite, et l'ingestion d'algues peut provoquer de la diarrhée chez des sujets sensibles. Le développement d'algues excrétales des toxines dans le milieu marin, quand celles-ci s'accumulent dans le poisson, et notamment les mollusques/crustacés, constitue une menace pour la santé de l'homme. Dans les eaux douces, les algues bleues toxiques (cyanobactéries) sont cause de mortalité parmi le bétail.

VI.5.2. Causes de l'eutrophisation :

La principale cause d'eutrophisation est l'apport massif de nutriments dans une masse d'eau. Le résultat principal est un déséquilibre dans la chaîne alimentaire qui conduit des concentrations élevées en phytoplancton dans des eaux stratifiées. Elle peut entraîner des proliférations algales. La conséquence directe est une consommation excessive d'oxygène près du fond de l'eau. Les facteurs favorisant ce processus peuvent être divisés en deux catégories selon qu'ils soient liés la disposition des nutriments et la croissance du phytoplancton, ou aux variations de la teneur en oxygène près du fond de l'eau, liée au confinement de certaines masses d'eau, à la pénétration de la lumière ou aux mouvements de l'eau.

Nous pouvons différencier deux types de causes d'eutrophisation les causes naturelles et les causes artificielles (dont l'homme est responsable).

Les causes artificielles :

- La dystrophisation est un phénomène très proche de l'eutrophisation (on l'emploie aussi sous le nom d'hypereutrophisation). Contrairement à cette dernière la dystrophisation est beaucoup plus rapide car le milieu reçoit beaucoup plus de nutriments et de matières organiques biodégradables. Ils proviennent souvent des phosphates contenus dans les détergents et les engrais agricoles. Elle se développe de la même manière que l'eutrophisation.
- Les eaux ménagères sont responsables elle aussi comme les eaux de cuisine et de lessive qui contiennent du savon gras et du détergent.
- Les eaux agricoles dans les élevages, tel le fumier qui est riche en matières organiques azotées et dont certains composés peuvent être entraînés, à cause de leurs solubilités dans l'eau, par la pluie.

Les causes naturelles :

Certaines des causes naturelles de l'eutrophisation sont en fait complémentaires, c'est-à-dire que s'il y a l'une il y a l'autre qui va avec.

- Le milieu aquatique est eutrophique quand il y a désoxygénation des eaux profondes. Ce la est due au non brassage des eaux et donc au non renouvellement de l'oxygène dans ce milieu, c'est le confinement.
- Ce dernier facteur associé à un autre peut être plus désastreux. En effet la température joue un rôle important dans l'eutrophisation car plus il fait chaud moins il y a d'oxygène et donc il y a plus rapidement un dépôt d'algues qui se forme.
- On peut ajouter à cela l'éclairement que subit le plan d'eau car les algues (comme toutes les plantes) sous l'effet d'un éclairage plus important se développent plus rapidement.
- Dans les plans d'eau qui ont subi une eutrophisation, les algues prolifèrent puis sédimentent, leurs dégradations entraînent une perte d'oxygène et le

milieu devient alors réducteur et certains éléments comme le phosphore peuvent être relargué et le phénomène d'eutrophisation s'accélère de lui-même puisque le phosphore libéré favorise la croissance des algues.

VI.5.3. Eutrophisation naturelle et eutrophisation anthropique

L'eutrophisation, en tant que problème de la qualité de l'eau, diffère avant tout de problèmes énumérés ci-dessus en ce qu'il est plus difficile d'opérer la distinction entre le processus d'eutrophisation causé par l'homme et les processus et phénomènes qui peuvent également survenir naturellement. Cette difficulté a inévitablement suscité des controverses au sein de la communauté scientifique quant à la réalité et à l'importance de l'eutrophisation comme problème de la qualité de l'eau. Les lacs et les systèmes marins confinés peuvent ou non subir une eutrophisation naturelle au cours du processus de vieillissement. Certains systèmes aquatiques sont situés dans des bassins hydrographiques ou présentent des conditions morphométriques et hydrauliques qui favorisent des niveaux trophiques élevés. Les variations climatiques provoquant des modifications de la végétation et des conditions pédologiques des bassins versants respectifs peuvent conduire à des transformations des conditions trophiques des masses d'eau. Dans le milieu marin, les modifications des modalités des courants et de la remontée des eaux profondes (upwelling) dues aux variations climatiques peuvent aussi entraîner des modifications de l'état trophique local et régional des eaux.

Cependant, ces variations peuvent agir dans l'un ou l'autre sens, autrement dit en entraînant une eutrophisation ou une oligotrophisation.

Il y a encore lieu de noter que l'échelle de temps à laquelle les processus naturels opèrent est foncièrement différente de celle des processus induits par l'homme. L'échelle de temps des processus naturels est au moins de l'ordre de plusieurs siècles, et le plus souvent bien au-delà, alors que l'eutrophisation anthropique se produit à des échelles de temps de l'ordre de la décennie ou en deçà. Même en retenant ce critère de caractérisation, la distinction entre causes naturelles et causes anthropiques de l'eutrophisation n'est pas toujours nettement tranchée.

VI.5.4. Délimitation du problème de l'eutrophisation par rapport aux autres formes de pollution :

L'eutrophisation n'est qu'un des problèmes de la qualité des eaux. D'autres problèmes résultent de la pollution de celles-ci par des métaux lourds, des polluants inorganiques, organiques et microbiologiques présents dans les eaux usées urbaines, agricoles et industrielles, du ruissellement agricole contenant également des herbicides et pesticides, des effluents et rejets industriels et autres pertes telles que les résidus d'hydrocarbures et de pétrole, de la radioactivité et des effluents thermiques, des précipitations acides et - non les moindres en importance - des simples détritiques (Waldichuk, 1987; Coté, 1989).

La pollution de cette sorte, bien que n'en étant pas la cause principale, peut directement ou indirectement aggraver ou neutraliser l'eutrophisation. Toutes les interactions et interconnexions respectives ne sont pas encore pleinement comprises, mais elle ne devrait pas être ignorées comme cause potentielle, encore que mineure, d'eutrophisation.

VI.5.5. Impact potentiel de l'eutrophisation sur la santé de l'homme et la salubrité des écosystèmes

Parmi les problèmes peut-être plus fortement préoccupants concernant le milieu marin, il y a l'extension manifeste et l'augmentation de fréquence des proliférations d'algues toxiques mises en cause dans la survenue de l'intoxication paralytique et diarrhéique par les fruits de mer (PSP et DSP des auteurs anglo-saxons, respectivement dues à la saxitoxine et d'autres toxines présentes dans des dinoflagellés et des chrysophycées), ces deux affections étant déjà connues depuis un certain temps, et l'apparition de nouvelles formes jusqu'ici inconnues ou méconnues comme l'intoxication amnésique par les fruits de mer (ASP) due à l'acide domoïque de certaines diatomées (cf. par ex. les synthèses d'Aubert, 1992; de Viviani, 1992).

De nombreuses questions concernant la toxicité d'origine marine chez l'homme restent cependant ouvertes. Par exemple, il est désormais admis que la ciguatera est synthétisée par une espèce de dinoflagellé et transmise le long de la chaîne alimentaire jusqu'au poisson pour provoquer l'intoxication dite ciguatera. On ne sait toutefois pas avec certitude si l'eutrophisation a un rapport quelconque avec ces phénomènes. De même, les mécanismes en jeu et les conditions nécessaires à la formation de toxines plongent les scientifiques dans la perplexité, tout comme le fait que, ces dernières années, des espèces d'algues moins connues ont été, semble-t-il, responsables d'eaux rouges toxiques (Okaichi et al., 1988), et/ou que la toxicité puisse avoir des effets assez graves à des concentrations algales relativement faibles, ce qui a été confirmé avec des incidents dus à *Chrysochromulina*, survenus dans le Skagerrak et le Kattegat en 1988/89, qui ont entraîné une mortalité parmi le poisson et la faune du fond (Rosenberg et al., 1988).

Si cet exemple, associé à d'autres, donne à penser qu'une toxine algale est responsable de la mortalité du poisson et de la faune du fond - bien que cette mortalité soit habituellement provoquée par l'anoxie -, le point de savoir dans quelle mesure l'eutrophisation, et la présence d'algues toxiques en particulier, sont responsables de la mortalité massive de mammifères marins, reste controversé. Il s'avère toutefois que les mortalités de dauphins au large de la côte Est de l'Amérique en 1987/88 étaient liées à la prolifération de l'algue *Ptychodiscus brevis* produisant la brevetoxine, et que cette dernière était transmise aux dauphins le long de la chaîne alimentaire.

Ces incertitudes mises à part, il est indéniable que l'eutrophisation qui porte atteinte à la conchyliculture, à la pisciculture et à l'aquaculture est devenue un grave sujet de préoccupation au plan mondial (cf., par ex., "Red Tide Newsletter", vol. 1 et 4).

L'anoxie localisée aux régions marines continentales, aux estuaires, aux lagunes et aux fjords est habituellement la conséquence de l'eutrophisation, mais elle peut aussi être

provoquée par les rejets d'eaux usées urbaines et industrielles non traitées riches en substances organiques. Par contre, la relation entre l'eutrophisation et le phénomène de production massive de mucilage ("neige marine"), qui a recouvert une partie importante du nord de la mer Adriatique lors des étés 1988 et 1989 (Cognetti, 1989), reste à établir.

Des concentrations de nitrates et de phosphates trop importantes induisent le phénomène d'eutrophisation (étouffement de la vie aquatique). Ces substances sont normalement générées par la minéralisation de la matière organique. Toutefois, présentes en trop grande quantité suite à des rejets intempestifs, elles favorisent la prolifération d'algues et de micro-organismes photosynthétiques qui réduisent la pénétration de la lumière dans les couches d'eaux profondes. Si ces algues et micro-organismes photosynthétiques produisent de l'oxygène le jour, ils en consomment la nuit et ces variations en concentration d'oxygène peuvent être fatales aux poissons. Par ailleurs, la décomposition des algues mortes induit également une consommation d'oxygène. Lorsque l'eau est trop peu oxygénée, les conditions d'anaérobiose risquent également de se traduire par une accumulation de composés ammoniacaux et de nitrites susceptibles d'intoxiquer la faune et la flore.

Chapitre II

Etude expérimentale

I. Introduction :

Le but de notre travail est la détermination de quelques analyses physico-chimiques des eaux de surface dans la retenue du barrage de Foug El Gherza.

Ces analyses déterminent, la composition qualitative et quantitative de certains éléments chimiques contenus dans l'eau.

II. Prélèvement d'un échantillon d'eau :

En dehors des études des contrôles et des recherches scientifiques, la plus part des prélèvements d'eau résultent de l'application des textes législatifs et réglementaires ayant pour objet l'hygiène publique, la lutte contre la pollution, la police des eaux...etc.

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à la quelle le plus grand soin doit être apporté, il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau (Rodier ,1996)).

Voici les lignes directrices générales qui s'appliquent au prélèvement des échantillons d'eau.

- 1- Au point échantillonnage, rincer toutes les bouteilles de prélèvement et tous les bouchons à trois avant de prélever l'échantillon d'eau.
- 2- Placer l'échantillonneur ou la bouteille de prélèvement face aux eaux d'amont afin d'éviter toutes contamination.
- 3- Prélever un volume suffisant d'eau pour permettre au laboratoire tous les paramètres présents un intérêt.

Le mode de prélèvement variera suivant l'origine de l'eau.

Dans le cas d'un lac ou d'une retenue d'eau il y a lieu de choisir plusieurs points de prélèvement et en chacun d'eux, de prélever plusieurs échantillons à différentes profondeurs pour tenir compte de l'hétérogénéité verticale et horizontale.

En pratique le préleveur évitera de constituer un échantillon moyen l'étalant sur plus de 24h, parce que avec le temps on peut craindre une diminution relativement important des éléments dissous en faibles teneurs, et on peut observer certains échange entre les flacons plastiques et l'eau analysée.

III. Les paramètres physico-chimiques :

III.1- Mesure de pH

La mesure du PH est effectuée par une électrode en verre en utilisant un pH-mètre, cette méthode est surtout utilisée pour les mesures précises. Dans notre cas, nous avons utilisé un pH-mètre de type pHM240, pH /10N METER, où l'appareil est étalonné à l'aide de solution étalon.

Expression des résultats :

Echantillon 1	Echantillon 2
8	8.45

III.2- Détermination de la conductivité électrique :

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1cm^2 de surface et séparées l'une de l'autre de 1cm. Elle est l'inverse de la résistivité électrique.

L'unité de la conductivité est le Siemens par mètre (S/m). la conductivité électrique d'une eau s'exprime généralement en micro Siemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

❖ Principe :

La mesure est basée sur le principe du pont de Wheastone, en utilisant comme appareil de zéro un galvanomètre ou image cathodique. (Rodier J, 1996)

❖ Mode opératoire :

Pour la mesure de la conductivité, on utilisé un conductimètre de type YEW Model SC 51 pocket.

Nous avons introduit l'électrode dans l'eau à analyser, ensuite après stabilisation de la valeur, on lit la conductivité en micro siemens par centimètre (Rodier J, 1996)

❖ Expression des résultats

Echantillon 1	Echantillon 2
1226 μS	1248 μS

Échantillon 1 : près de la digue.

Echantillon 2 : intersection entre le barrage et l'Oued.

III.3- Détermination des titres hydrométriques TH :

❖ Titre hydrométrique totale TH_T

La recherche des ions responsables de la dureté revient à rechercher les ions calcium et magnésium. La concentration totale en ions calcium et magnésium, s'effectue par un dosage par L'EDTA à pH=10 en utilisant le NET comme indicateur (Abdi S, Houria H, 2004) (AlexeeveV).

- Méthode par complexométrie :

Cette méthode permet de doser rapidement des ions calcium et magnésium avec certaines précautions, elle est appropriée à la plupart des types d'eaux.

❖ Principe :

Les alcalinoterreux présents dans l'eau sont amenés à former un complexe du type chélate par le sel di sodique de l'acide éthylène diamine tétra étique à pH =10. La disparition des dernières traces d'éléments libres à doser est à déceler par le virage d'un indicateur spécifique, le noir eriochrome en milieu convenablement tamponné pour empêcher la précipitation du magnésium. La méthode permet de doser la somme des ions calcium et magnésium.

❖ Les réactifs :

- Solution de noir eriochrome T à 0.5% :

- Sel de sodium de l'acide (hydroxy-1-naphtylazo-2) nitro-6-naphtol-2-sulfonique-4).....0,5g
- Triéthanolamine.....q.s.p.....100ml

- Solution tampon pH=10 :

- Chlorure d'ammonium (NH₄Cl).....67,5g
- Ammoniaque (d=0.925).....570ml
- Sel disodique de magnésium de l'EDTA.....5g
- Eau permutée.....q.s.p.....1000ml

- Solution d'EDTA :

- Sel disodique de l'acide éthylène diamine tétracétique.....3,725g
- Eau permutée.....q.s.p.....1000ml

❖ Mode opératoire :

- Introduire 50ml d'eau à analyser dans une fiole conique de 250ml.
- Ajouter 4ml de solution tampon et 3 gouttes de solution de NET. La solution se colore en rouge foncé ou violet. Le pH doit être égale à 10. En maintenant une agitation.

- Verser la solution d'ECTA rapidement au début, puis goutte à goutte lorsque la solution commence à virer au bleu.
- Vérifier que la coloration ne change plus par l'addition d'une goutte supplémentaire d'EDTA.
- Soit V le volume de l'EDTA versé (Rodier J, 2009).

❖ **Expression des résultats:**

La concentration totale de Mg^{2+} et Ca^{2+} en $mmol.L^{-1}$ est donnée par la formule suivante :

$$THT (mmLL^{-1}) = 1000. C. V/V_p$$

V : volume, en millilitre de l'EDTA.

C : concentration, en mol par litre de l'EDTA.

V_p : volume, en millilitre de la prise d'essai.

III.4- Détermination de l'alcalinité T_A et T_{AC} :

L'alcalinité de l'eau correspond à la présence des hydrogénocarbonates, carbonates et hydroxydes. Le titre alcalimétrique T_A mesure la teneur de l'eau en alcalis libres. Le titre alcalimétrique complet T_{AC} correspond à la teneur de l'eau en alcalis libres, carbonates et hydrogénocarbonates (Rodier J, 2009)

❖ **Principe :**

La détermination de ces titres est basée sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral dilué, en présence d'un indicateur coloré (Rodier. J, 1996).

❖ **Réactifs :**

- Acide chlorhydrique HCl à 0.1N ;
- Solution de phénophtaléine ;
- Solution de méthylorange ;
- Eau distillée.

❖ **Mode opératoire :**

❖ **Détermination du titre alcalimétrique simple T_A :**

- On introduit dans une fiole conique 100ml d'eau à analyser puis on ajoute 3 gouttes de phénol phtaléine. Une coloration rose doit alors se développer.

Dans le cas contraire le T_A est nul, ce qui se produit en général, pour les eaux naturelles dont le pH est inférieur à 8,3.

- On verse ensuite doucement l'acide HCl à l'aide d'une burette en agitant constamment, et ceci jusqu'à décoloration complète de la solution.

Soit V le volume en ml de HCl utiliser pour obtenir le virage (Rodier. J,1996).

❖ **Détermination du titre alcalimétrique complet T_{AC} :**

- On utilise l'échantillon traité précédemment ou le prélèvement primitif s'il n'y a pas coloration.

- On ajoute 2 gouttes de solution de méthylorange, on titre de nouveau avec le même acide jusqu'au virage de jaune au jaune orange (PH = 4,3). S'assurez qu'une goutte d'acide en excès provoque le passage de la coloration du jaune orangé au rose orangé.

- soit V' le volume de HCl verser depuis le début du dosage.

- On retranche de ce volume 0.5 ml, quantité d'acide nécessaire pour le virage de l'indicateur, qui est un peu plus faible que le pH de neutralisation exacte de l'hydrogénocarbonate (Rodier .J,1996).

III.5- Détermination de la turbidité :

La turbidité est un indice de la présence de particules en suspension dans l'eau souvent composés d'argile, de limon, de particules organiques de plancton et divers autres organismes microscopiques.

Elle est déterminée à l'aide d'un néphélémètre, cet appareil mesure la lumière dispersée par les particules en suspension avec un angle de 90° par rapport au faisceau de lumière indicateur.

❖ **Mode opératoire :**

La turbidité a été mesurée sur un turbidimètre type 2100N. Les mesures ont été faites le plus rapidement après prélèvement des échantillons, introduits au niveau de la cellule optique de l'appareil.

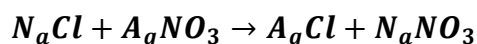
Les valeurs de la turbidité ainsi obtenues sont données par l'unité NTU (nephelometry turbidity unit) (Alexeev)

III.6- Détermination des chlorures par la méthode de Mohr :

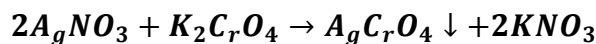
❖ **Principe :**

Les chlorures sont dosés en milieu neutre par une solution titrée de nitrate d'argent en présence de chromate de potassium. La fin de la réaction est indiquée par l'apparition de teinte rouge caractéristique du chromate d'argent Ag₂CrO₄.

Précis de quantité d'ion de chlorure Cl⁻ dans l'eau à la réaction :



Après la transformation de tous les ions de AgCl chaque point s'ajoute d'AgNO₃ fait une réaction avec K₂CrO₄:



Rouge brique

❖ Réactifs :

- Acide nitrique pur HNO_3 ;
- Carbonate de calcium pur $CaCO_3$;
- Solution de chromate de potassium K_2CrO_4 à 10% ;
- Solution de nitrate d'argent $AgNO_3$ (1N/10).

❖ Mode opératoire :

- On introduit 100ml d'eau à analyser préalablement, filtrée, dans une fiole conique de 250ml.
- On ajoute 2 à 3 gouttes d'acide nitrique pur puis une pincée de carbonate de calcium et 3 goutte de solution de chromate de potassium à 10%.
- On verse alors au moyen d'une burette la solution de nitrate d'argent jusqu'à apparition d'une teinte rougeâtre, qui doit persister 1 à 3 minutes (Rodier J, 1996).

❖ Expression des résultats :

Soit V le nombre de millilitre de nitrate d'argent 0,1N utilisée pour une prise d'essai de 100ml.

- La teneur en chlorure exprimée en mg de Cl^- par litre d'eau par la relation :

$$[Cl^-] = V. 35,5$$

- la teneur en chlorure exprimée en mg de NaCl par litre d'eau par la relation :

$$[N_aCl] = V. 58,5$$

III.7- Détermination des sulfates (SO_4^{2-}) :

❖ Principe :

Les ions SO_4^{2-} sont précipités à l'état de sulfate de baryum.

❖ Réactif :

- Solution d'acide chlorhydrique HCl à 10%.
- Solution de chlorure de baryum $BaCl_2$ à 10%.
- Solution de nitrate d'argent $AgNO_3$ à 10%.
- Alcool éthylique pur C_2H_5OH .
- Ether.

❖ Mode opératoire :

- Introduire 100 ml d'eau analysé dans un bécher.
- Ajouter 2 ml d'acide chlorhydrique à 10% ; le PH doit être inférieur à 4.
- Chauffer jusqu'à ébullition modérée en agitant constamment pour éviter les projections.
- Faire tomber goutte à goutte 20ml de solution de chlorure de baryum à 10%.
- Prolonger l'ébullition pendant 10 min et interrompre l'agitation. Laisser reposer.
- S'assurer que la précipitation est complète par l'addition d'une petite quantité de chlorure de baryum.
- Décanter le liquide surnageant encore chaud en le laissant s'écouler le long d'un agitateur au-dessus du filtre sans cendre, lisse, placé sur un entonnoir.
- Laver le précipité resté dans le bécher avec de l'eau bouillante avec agitation, on laisse déposée 5 min.
- Décanter à nouveau sur le filtre pour finir, entraîner le précipité sur le filtre, en le détachant, avec un agitateur muni d'un bout de caoutchouc, les parcelles de sulfate adhérant aux parois du bécher.
- Laver le précipité à l'eau distillée bouillante jusqu'à ce que les eaux de lavage ne précipitent plus par le nitrate d'argent (élimination de l'excès de chlorure de baryum).
- Laver une dernière fois à l'alcool puis à l'éther.
- Porter le filtre et l'entonnoir à l'étuve à 110°C jusqu'à dessiccation complète.
- Calciner et laisser refroidir dans un dessiccateur et peser (Rodier J,1996).

III.8- Détermination du DBO :**❖ Principe :**

La teneur en oxygène de l'eau est déterminée immédiatement après le prélèvement, puis à nouveau après un temps d'incubation de n jours à 20°C. la différence entre les deux mesures correspond à la consommation d'oxygène, correspond à la consommation d'oxygène, considérée dans ces conditions comme la demande biochimique en oxygène.

Aucun apport de nutriments ou ensemencement par des micro-organismes n'est apporté à l'échantillon lors de cet essai (Rodier J,1996).

❖ Mode opératoire :

La solubilité de l'oxygène dissous variant avec la température, la totalité de la détermination est réalisée à 20°C. Toutes précautions utiles devront également être prises lors des opérations de remplissage pour éviter une modification de la teneur en oxygène de milieu.

Porter la température de l'échantillon, jusqu'à débordement, en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air.

Déterminer la concentration en oxygène dissous (C_0) en mg/l.

Boucher les flacons sans emprisonner de bulles d'air.

Mettre à incuber à 20°C à l'obscurité pendant n jours.

Déterminer après incubation de n jours la concentration en oxygène dissous (C_n) en mg/l.

❖ **Expression des résultats :**

La demande biochimique en oxygène après n jours, exprimée en mg d'oxygène par litre correspond à

$$DBO_n = C_0 - C_n$$

n : nombre de jours d'incubation (5 ou 7).

C_0 : concentration en oxygène dissous dans l'échantillon au temps 0.

C_n : concentration en oxygène dissous dans l'échantillon après incubation de n jours.

III.9- Mesure d'oxygène dissous :

- La solubilité d'oxygène dissous est en fonction de la température, de pression partielle dans l'atmosphère et de la salinité.
- L'oxygène dissous conserve ses propriétés oxydantes, soit par une réaction purement chimique sur le fer, soit par des phénomènes de corrosion.
- Dans notre étude nous avons mesuré l'oxygène dissous par un multi paramètre de type CONSORT C535.

III.10- Détermination des matières en suspension (MES) par centrifugation :

❖ **Principe :**

La séparation des MES de l'eau par centrifugation consiste à soumettre l'échantillon à une rotation à grande vitesse et sous l'action de la force centrifuge sur les particules solides se rassemblent dans le fond des tubes sous forme de culot, lavé puis récupéré et séché à 105°C.

Le résidu sec est ensuite pesé, ce qui correspond aux MES contenues dans l'échantillon.

❖ **Mode opératoire :**

Les flacons doivent être transparents. L'eau doit être analysée rapidement après prélèvement, ne pas dépasser 4 heures (Rodier J, 2009).

❖ **Centrifugation :**

- On introduit l'échantillon ;
- On homogénéise dans la centrifugeuse ;
- On centrifuge 20 minutes $V_E = 200$ à 500 ml ;
- On élimine l'eau surnageant et remettre en suspension le culot dans l'eau distillée jusqu'au niveau initial et centrifuger 20 minutes ;
- On recueille le dépôt dans une capsule préalablement séchée à 105° et peser à 0.1 mg prise : M_1 .

- On rince le pot de centrifugation deux fois à l'eau distillée 20 ml ;
- On recueille l'eau d'entraînement dans la capsule ;
- On sèche à 105°C ;
- On laisse refroidir dans le dessiccateur et peser à 0.5 mg près.

❖ **Expression des résultats :**

Le teneur en MES (mg/l) est donné par l'expression :

$$[MES](\text{mg/l}) = 1000 \cdot M_2 - M_1 / V$$

M1 : masse des tubes avant centrifugation ;

M2 : masse des tubes après centrifugation ;

V : volume, en ml d'eau utilisé.

Chapitre III

Résultats et discussion

Résultats et discussion

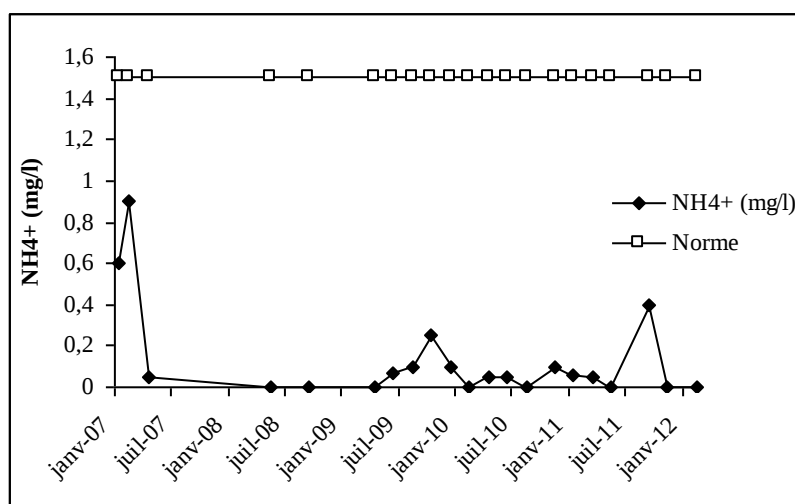
I. Paramètres indicateurs de pollution

L'analyse des paramètres indicateurs de pollution a été effectuée en se basant sur des données mesurées dans la station hydrométrique de Foug el Gherza (W.Biskra), élaborés par l'Agence Nationale des ressources hydrique durant la période (2007-2011).

I.1. Etude du Paramètre NH_4^+

Nous avons représenté sur la figure (VIII.1), les variations mensuelles du paramètre NH_4^+ durant la période (2008-2011).

Durant la période 2008-09 les concentrations de NH_4^+ sont nul, signifié par l'absence des rejets industrie chimique (fabrication des engrais), à l'étendues 2009-2011 en observe les plus élevées teneurs dans la station de Foug El Gherza et qui ne dépasse pas la norme. Ces teneurs proviennent essentiellement des rejets domestiques.

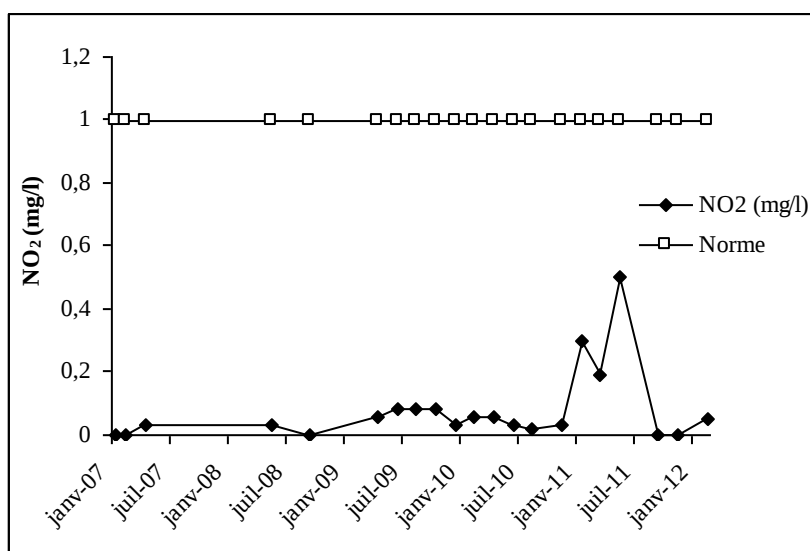


Figure(III.1) : Variation moyenne mensuelle du paramètre NH_4^+ durant la période (2008-2012)

I.2. Variation de paramètre NO_2^-

La figure représente la variation du paramètre NO_2^- , dans la station Foug El Gherza.

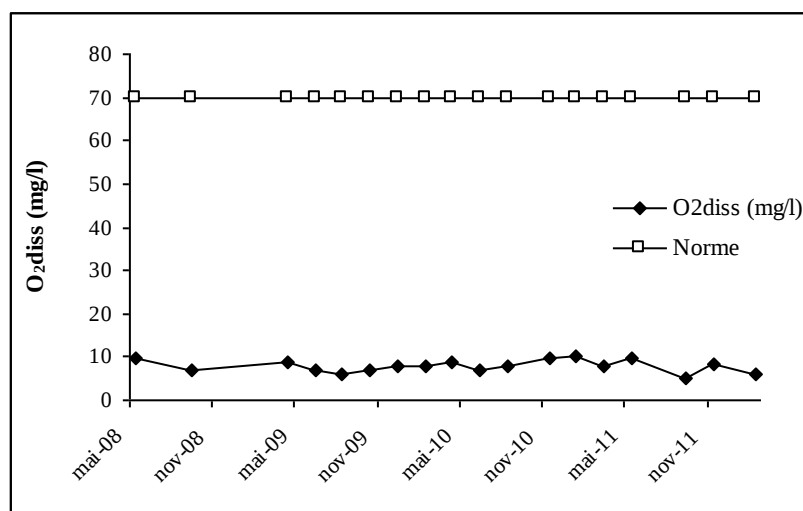
On obtient des valeurs minimal ne dépasse pas la norme (1mg/l), elle varient entre 0.03 à 0.19 mg/l, sauf une concentration atteinte la moyenne (0.5 mg/l). Une concentration de NO_2^- , supérieur à (1 mg/l), est mortelle, puisque les nitrates empêchent l'oxygène de se lier à l'hémoglobine du sang. (F.Rejest, 2002).



Figure(III.2): Variation moyenne mensuelle du paramètre NO_2 durant la période (2008-2012)

I.3. Variation de paramètre $\text{O}_{2\text{dissous}}$

Les résultats d'analyse de l'Oxygène dissous obtenus pour la station Foum El Gherza montre que la majorité des valeurs obtenue sont faibles et inférieures à la norme (70 mg/l), elles varient entre 5,2 à 10,1 mg/l O_2 . Cette diminution de la concentration en O_2 dissous est due essentiellement à leur consommation par les micro-organismes qui oxydent les matières organiques ou minérales (phénomène de l'eutrophisation), donc on peut dire que les eaux drainées par le barrage sont considérées comme polluées.



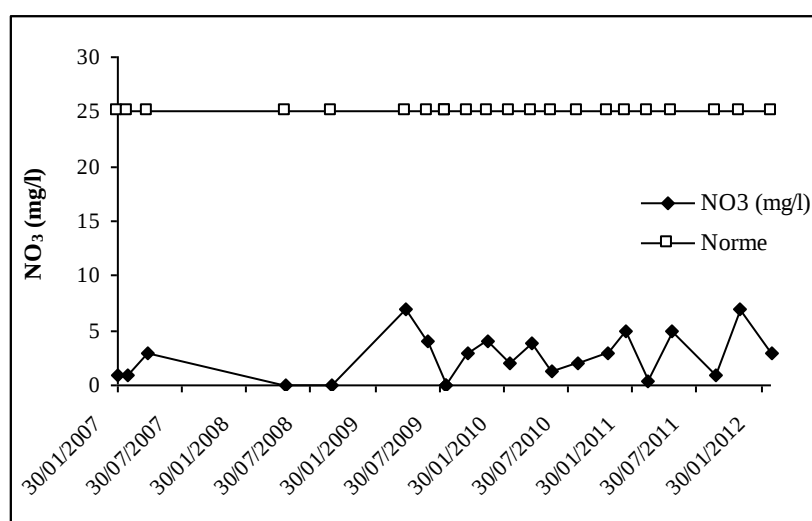
Figure(III.3) : Variation moyenne mensuelle du paramètre $\text{O}_{2\text{dissous}}$ durant la période (2008-2012)

I.4. Variation de paramètre NO_3

Dans l'ensemble de la période d'analyse, des teneurs observées sont inférieures à la norme (25mg/l), elles varient entre 0.4 à 7 mg/l.

Ces concentrations sont à l'origine culturale ou domestique et par transformation des nitrates en nitrites, ces nitrites formés sont moins dangereux, mais à des concentrations supérieures à 100 mg/l peuvent entraîner des troubles, tels le stress ou le développement des maladies (cancer, digestif, maladies bleues...) (Atelier scientifique, MARTIAL).

Les résultats montrent qu'il n'y a pas une pollution azotique.

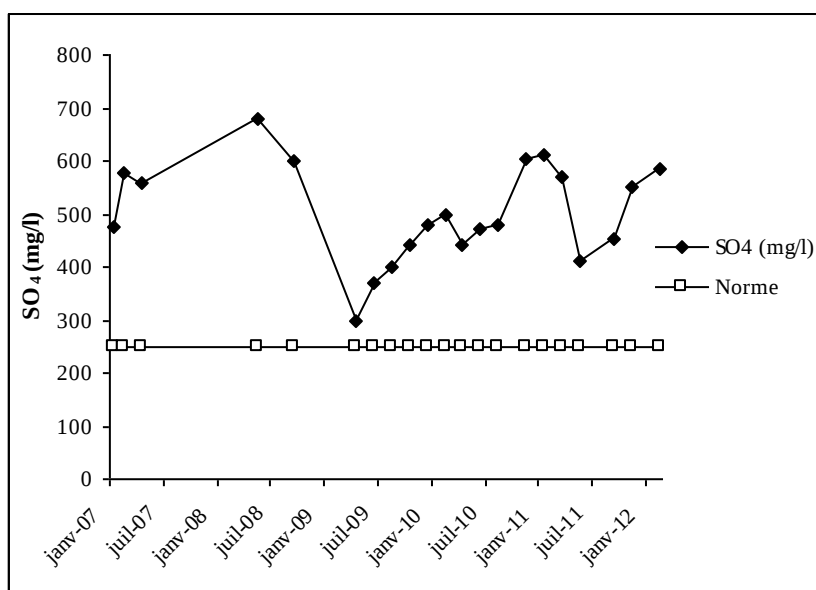


Figure(III.4) : Variation moyenne mensuelle du paramètre NO_3 durant la période (2008-2012)

I.5. Variation de paramètre SO_4

Les valeurs de SO_4 de la station sont élevées et dépassent la norme (250 mg/l) avec des concentrations variant entre (440-680 mg/l). Les principales sources de pollution sont les rejets industriels et l'anhydride sulfureux atmosphérique (SO_2). Cette présence des sulfates peut être liée à la nature des terrains traversés et des rejets industriels.

Les concentrations de SO_4 observées (≥ 250 mg/l) ne sont pas dangereuses mais comportant un risque de troubles diarrhéiques notamment chez les enfants.

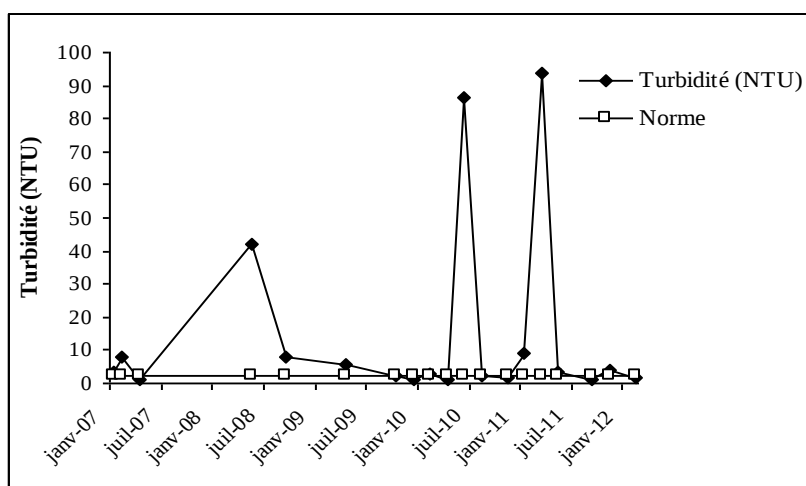


Figure(III.5) : Variation moyenne mensuelle du paramètre SO_4 durant la période (2008-2012)

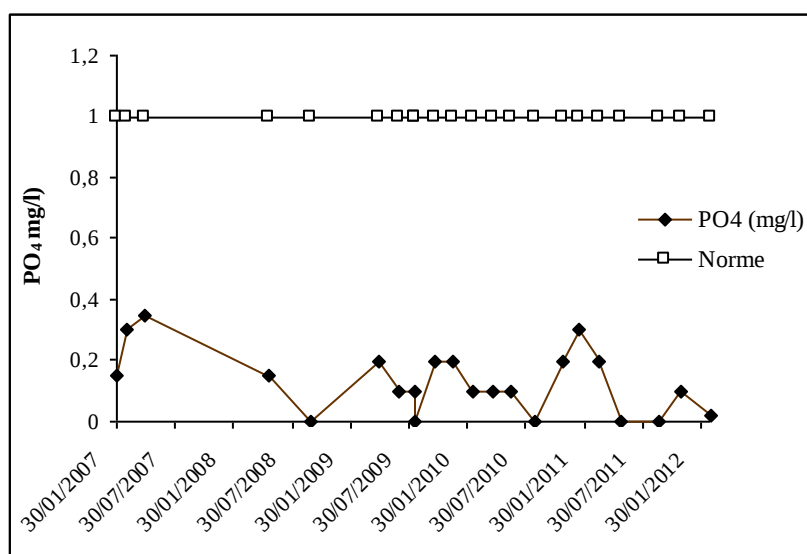
I.6.Variation de la turbidité

La figure indique que presque toutes les valeurs de turbidité obtenues dépassent la norme (2 NTU). Les concentrations élevées obtenues dans cette station sont données respectivement (42.2, 86.4, 94 NTU) pendant les mois Mai, Juin et Mars. Cette augmentation est due à la présence d'une quantité importante des matières en suspension dans le cours d'eau enregistrée en période des crues (à cause d'érosion des sols).

Ce paramètre présente un risque sanitaire, puisqu'il peut diminuer l'efficacité des traitements de désinfections (la turbidité accroît la consommation de chlore) et générer des risques microbiologiques.



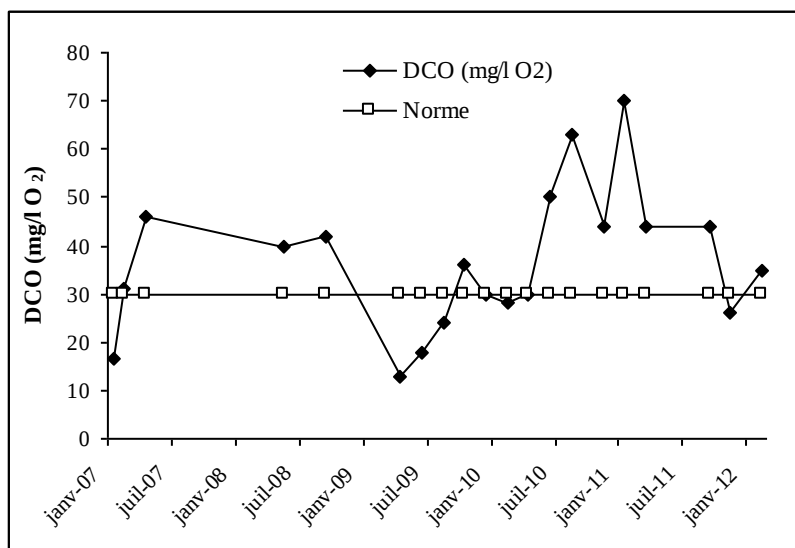
Figure(III.6) : Variation moyenne mensuelle du paramètre turbidité durant la période (2008-2012)

I.7.Variation de paramètre PO_4 

Figure(III.7) : Variation moyenne mensuelle du paramètre PO_4 durant la période (2008-2012)

La figure indique que les teneurs de PO_4 observées dans la station du barrage sont généralement inférieure à la norme (1 mg/l). Ces résultats indiquent de la contamination modérée par le paramètre dans cette station.

I.8.Variation de paramètre DCO



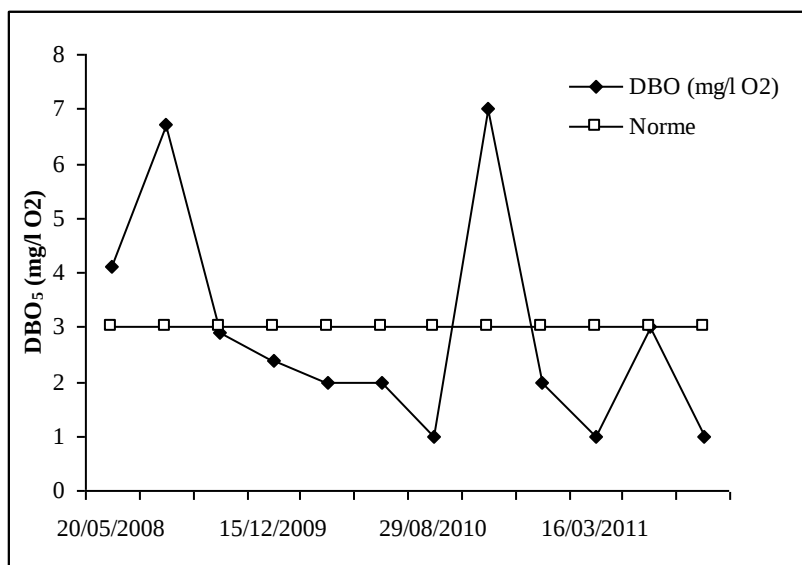
Figure(III.8) : Variation moyenne mensuelle du paramètre DCO durant la période (2008-2012)

La figure représente la variation mensuelle du paramètre DCO durant la période (2008-2012).

La majorité des valeurs de DCO dans la station hydrométrique dépassent la norme (30mg/l), cette augmentation de la demande chimique en oxygène indique la grande consommation d'oxygène dans les cours d'eau du bassin Oued Abiod, ce qui traduit la dégradation naturelle des matières organiques contenus dans l'eau (développement des micro-organismes aquatiques, qui sont caractérisés le phénomène d'eutrophisation, ces micro-organismes ne sont pas dangereux mais comportent un risque sanitaire).

Les teneurs les plus élevées enregistrées en saison chaude (le cours d'eau comporte les rejets).

I.9. Variation de paramètre DBO₅



Figure(III.9) : Variation moyenne mensuelle du paramètre DBO₅ durant la période (2008-2011)

Les valeurs mesurées dans la station ne dépassent pas largement 3 mg/l, les valeurs élevées sont obtenues seulement durant les mois de Septembre et Novembre. Il s'agit donc d'une consommation potentielle de l'oxygène par voie biologique (toutes matières organiques biodégradables polluantes vont entraîner une consommation d'eau), ce qui indique la contamination modérée par le paramètre.

I.10. La qualité des cours d'eau du bassin Foug El Gherza (2008-2011)

D'après l'analyse des paramètres indicateurs de pollution dans la station de Foug El Gherza, on peut dire, que l'ensemble des eaux dans le bassin versant sont de bonne qualité par rapport aux nitrates (NO₃⁻), et des concentrations acceptables en nitrites (NO₂⁻).

La turbidité montre une qualité polluée.

Les concentrations des eaux en sulfates (SO₄) sont très remarquables, ce qui confère à l'eau la qualité mauvaise en sulfates.

Pour les paramètres indicateurs de pollution, on remarque une qualité médiocre de DBO₅, DCO et l'oxygène dissous pour la station étudiée.

II. Résultats organoleptiques et physico-chimiques des eaux du barrage de Foum El Gherza

❖ PH :

Les valeurs mesurées pour les eaux analyses (près de la digue du barrage et au niveau d'intersection entre barrage et l'oued) varient entre 8 et 8.45 et comprennent dans la gamme des eaux superficielles. Le pH des eaux naturelles représente leurs acidités ou leurs alcalinités, il est lié à la nature des terrains traversés et à la dégradation de la matière organique (végétaux, selles des animaux).

❖ Conductivité :

Les teneurs mesurées pour la conductivité atteignent respectivement des valeurs maximales de 1226 et 1248 μ S dans les eaux près de la digue du barrage et l'intersection entre le barrage et l'oued. Cette augmentation (>1000 μ S) indique l'évolution de la quantité globale des sels contenus dans ces eaux.

Nous avons enregistré également une augmentation de la conductivité électrique avec la température, cela est liée à la concentration des sels dans l'eau (Bontoux, 1993).

❖ Les Chlorures :

La concentration, en chlorures obtenue près de la digue du barrage atteint une valeur de 115 mg/L (les concentrations observées sont toujours inférieures à < 200 mg/l). Les chlorures n'ont pas de conséquences toxiques pour l'homme, les ions chlorures Cl⁻ dont la plus grande partie se trouve dans les Océans. Cette teneur montre la possibilité d'une pollution par les eaux usées ou par l'industrie.

III. Interprétation des paramètres de pollution :

❖ Turbidité :

Les valeurs de turbidité varient entre 4.44 et 5.97 FTU, l'augmentation de la turbidité est liée à l'accroissement des matières en suspension (MES), la diminution des teneurs due essentiellement à la pluviométrie importante durant la période d'analyse ce qui provoque la dilution de ces eaux. Par contre l'augmentation provient de la température (temps ensoleillé) ce qui facilite la pénétration des rayons lumineux favorisant le phénomène d'eutrophisation, et cela, explique la couleur verte des eaux.

❖ Les sulfates :

Les concentrations en ions sulfates obtenus sont supérieures à 250 mg/l. Le fait que les eaux analysées contiennent des sulfates pourrait signifier que les terrains avoisinants contiennent une proportion importante de sulfate réductrice qui peut former des sulfates de fer. Pour notre région d'étude cet élément a une origine géologique comme les argiles, les marnes et le gypse.

Les seuils de détection gustatifs pour les sulfates les plus courants vont de 200 à 500 mg/l pour le sulfate de sodium, de 250 à 900 mg/l pour le sulfate de calcium et de 400 à 600 mg/l pour le sulfate de magnésium (19).

❖ **L'ammonium (NH₄), Nitrates (NO₃) :**

Les nitrates ont des origines agricoles (épandage d'engrais ou élevage du bétail) après lessivage des terres agricoles. Ils proviennent aussi de la minéralisation de l'azote organique et l'oxydation de l'ammonium.

La majorité des valeurs de NO₃ observés sont inférieurs à 25 mg/l permettant de classer ces eaux dans la classe bonne.

L'ammonium provient des activités humaines, rejets agricoles (notamment le lisier) ou bien des rejets et déchets industriels. La diminution de NH₄ observée est expliquée par la dilution des eaux à cause d'augmentation d'apport (temps pluvieux) et en plus à la transformation de NH₄ en NO₂ par les bactéries.

Les nitrites (NO₂) sont employés comme conservateurs alimentaires.

❖ **L'oxygène dissous :**

Les teneurs d'oxygène dissous atteindront des valeurs minimales (> 10 mg/l), la diminution d'oxygène est due à leur consommation par les micro-organismes pendant les réactions d'oxygène atmosphérique dans l'eau, ce qui favorise le phénomène d'eutrophisation.

La retenue du Barrage est bien oxygénée quand la température est basse, et sont pauvres en oxygène avec l'augmentation de celle-ci.

L'OMS préconise que les niveaux d'oxygène dissous soit souvent maintenus aussi près que possible de la saturation (l'eau saturée en oxygène c'est une eau qui contient 9,1 mg/l O₂ à 20°C).

❖ **La demande biologique et chimique en oxygène (DBO₅ et DCO) :**

Les valeurs mesurées de DBO₅ sont inférieures à 8 mg/l d'O₂. Cela explique la dégradation des charges organiques polluantes dans ces eaux, sous l'action des micro-organismes.

Les teneurs obtenues de DCO dépassent 30mg/l O₂, cette augmentation explique vraiment, la contamination de ces eaux par les rejets domestiques et industriels, en particulier dans la région au voisinage de la retenue du barrage

❖ **Les métaux lourds et les substances indésirables :**

Les valeurs mesurées pour Zinc, Plomb et Cuivre sont nuls, qui signifient l'absence des rejets industriels (des additifs antidétonants de l'essence rejetés dans l'atmosphère).

Les concentrations, en fer obtenues (1.073 mg/l, 1.565 mg/l) près de la digue du barrage et au niveau de la retenue sont importantes (>0.3 mg/l). La présence de Fer est généralement un indice de pollution.

Pour le Manganèse, les valeurs mesurées s'accroissent progressivement d'un prélèvement à l'autre (0,507 mg/l à 0,843 mg/l). Cette concentration est en relation directe avec la nature géologique des terrains traversés, le magnésium dans l'eau provient de l'attaque par l'acide carbonique des roches (4).

Les valeurs mesurées de Chrome varient de 0.109 mg/l à 0.143 mg/l, les teneurs dans l'eau brute sont généralement basses 10mg/l (19). Sa présence dans l'eau n'est pas fréquente et est le plus souvent liée à des rejets d'eaux usées ou à des infiltrations des champs d'épandage de boues de station d'épuration (19).

L'usage excessif et non-raisonnable des pesticides dans l'agriculture est un facteur de pollution principale des eaux de surfaces comme il a été également rapportée par plusieurs auteurs (Fathi, 1995 ; Sag et al., 1997 ; Azzaoui, 1999).

IV. Analyse en composantes principales (ACP) des paramètres de pollutions:

L'analyse en composantes principales permet de visualiser l'information contenue dans de données quantitatives et de concentrer l'information dans un nombre réduit de nouvelles variables.

IV.1. Analyse des résultats de l'ACP :

On a procédé à une analyse en composantes principales sur les 23 variables (les paramètres des pollutions) et ces observations (les périodes d'analyses).

Tableau (III.1) : Les paramètres de pollution de la station de Mchounech

	Turb	Ca	Cl	Cod	DBO5	DCO	HCO3	K	Mg	MES	MO	Na	NH4	NO2	NO3	Ph	PO4	O2dis	Rs105	O2r%	SO4	T	ALC
20/05/2008	42,2	260,9	150	2040	4,1	40	122	1	33	130	10,7	106,2	0	0,03	0	7,9	0,15	9,6	1342	110,3	680	23	100
27/09/2008	8,1	186,9	65	1550	6,7	42	134,2	1	50	48	9,3	62,6	0	0	0	7,7	0	7	970	83,3	600	23	110
28/04/2009	5,8	140,6	55	1080	2,9	13	176,9	3	39	76	6	30,9	0	0,06	7	7,9	0,2	8,6	684	86,65	298	17	145
15/12/2009	1,3	186,4	95	1480	2,4	30	146,4	7	42	62	6,1	55	0,1	0,03	4	7,8	0,2	8	1176	74,07	480	12	120
19/04/2009	1	181,3	105	1490	2	30	176,9	5	45	30	7,9	65	0,05	0,06	3,8	7,8	0,1	8,6	1222	91,48	440	19	145
16/06/2010	86,4	201,3	125	1600	2	50	176,9	3	60	36	2,5	75	0,05	0,03	1,3	7,8	0,1	6,8	1328	82,9	472	26	145
29/08/2010	2,2	201,6	210	1760	1	63	128,1	7	60	34	7,1	70	0	0,02	2	7,8	0	7,9	1392	110,4	478	29	104,9
22/11/2010	1,8	217,6	115	1670	7	44	128,1	7	60	26	7,8	75	0,1	0,03	3	7,8	0,2	9,5	1074	91,34	604	14	105
11/01/2011	8,9	241,3	125	1850	2	70	140,3	5	67	36	11,2	23	0,06	0,3	5	7,8	0,3	10,1	1210	93,51	610	12	115
16/03/2011	94	201,3	130	1740	1	44	115,9	6	53	24	8,3	90	0,05	0,19	0,4	7,8	0,2	7,7	1198	75,49	568	15	95
21/09/2011	1,1	139,4	110	1390	3	44	109,8	4	52	18	5,8	63	0,4	0	1	7,6	0	5,2	980	63,4	452	26	90
28/11/2011	4,2	210,1	110	1560	1	26	134,2	5	37	26	7,8	70	0	0	7	7,6	0,1	8,5	1056	81,7	550	14	110

Tableau (III.2) : Moyenne, Ecart des variables initiales :

Moyenne des observations actives	21,42	197,39	116,25	1600,83	2,93	41,33	140,81	4,50	49,83	45,50	7,54	65,48	0,07	0,06	2,88	7,78	0,13	8,12	1136,00	87,05	519,33	19,17	115,41
Ecart types des observations	34,09	35,24	39,66	243,33	2,05	15,62	23,90	2,15	10,74	31,45	2,34	22,58	0,11	0,09	2,52	0,10	0,10	1,36	197,62	13,77	102,84	6,01	19,60

Tableau (III.3) : Matrice des coefficients de corrélation entre les variables :

	Turb	Ca	Cl	Cod	DBO5	DCO	HCO3	K	Mg	MES	MO	Na	NH4	NO2	NO3	Ph	PO4	O2dis	Rs105	O2t%	SO4	T	ALC
Turb	1,00	0,25	0,20	0,33	-0,25	0,17	0,01	-0,19	0,13	0,06	-0,22	0,50	-0,17	0,26	-0,48	0,26	0,15	-0,16	0,38	-0,09	0,19	0,13	0,01
Ca	0,25	1,00	0,50	0,92	0,06	0,48	-0,26	-0,02	0,11	0,33	0,59	0,39	-0,46	0,34	-0,18	0,29	0,38	0,67	0,66	0,62	0,84	-0,18	0,25
Cl	0,20	0,50	1,00	0,69	-0,39	0,66	-0,38	0,36	0,34	-0,04	0,10	0,44	-0,08	0,08	-0,33	0,12	-0,17	0,12	0,81	0,57	0,31	0,41	0,20
Cod	0,33	0,92	0,69	1,00	0,01	0,67	-0,49	0,01	0,24	0,22	0,57	0,53	-0,25	0,32	-0,48	0,18	0,15	0,42	0,79	0,57	0,86	0,07	0,33
DBO5	-0,25	0,06	-0,39	0,01	1,00	-0,06	-0,16	-0,34	0,02	0,21	0,23	0,09	0,06	-0,31	-0,31	0,05	-0,07	0,08	-0,32	0,05	0,35	0,01	-0,25
DCO	0,17	0,48	0,66	0,67	-0,06	1,00	-0,37	0,18	0,82	-0,27	0,24	0,01	0,10	0,46	-0,43	-0,03	-0,02	0,04	0,62	0,31	0,48	0,27	0,17
HCO3	0,01	-0,26	-0,38	-0,49	-0,16	-0,37	1,00	-0,13	-0,09	0,07	-0,44	-0,41	-0,37	-0,02	0,46	0,39	0,17	0,14	-0,14	0,06	-0,60	-0,07	0,01
K	-0,19	-0,02	0,36	0,01	-0,34	0,18	-0,13	1,00	0,37	-0,55	-0,13	-0,13	0,13	0,20	0,30	-0,07	0,25	0,15	0,22	-0,08	-0,12	-0,39	-0,19
Mg	0,13	0,11	0,34	0,24	0,02	0,82	-0,09	0,37	1,00	-0,61	-0,08	-0,26	0,19	0,46	-0,21	-0,06	0,07	-0,07	0,29	0,01	0,13	0,11	0,13
MES	0,06	0,33	-0,04	0,22	0,21	-0,27	0,07	-0,55	-0,61	1,00	0,29	0,22	-0,37	-0,13	-0,11	0,62	0,20	0,38	0,04	0,48	0,18	0,07	0,06
MO	-0,22	0,59	0,10	0,57	0,23	0,24	-0,44	-0,13	-0,08	0,29	1,00	0,02	-0,28	0,46	-0,05	0,11	0,30	0,61	0,10	0,43	0,68	-0,32	-0,22
Na	0,50	0,39	0,44	0,53	0,09	0,01	-0,41	-0,13	-0,26	0,22	0,02	1,00	-0,07	-0,38	-0,65	0,02	-0,31	-0,11	0,51	0,20	0,48	0,35	0,50
NH4	-0,17	-0,46	-0,08	-0,25	0,06	0,10	-0,37	0,13	0,19	-0,37	-0,28	-0,07	1,00	-0,11	-0,21	-0,50	-0,23	-0,59	-0,18	-0,62	-0,17	0,16	-0,17
NO2	0,26	0,34	0,08	0,32	-0,31	0,46	-0,02	0,20	0,46	-0,13	0,46	-0,38	-0,11	1,00	0,14	0,29	0,71	0,45	0,14	0,06	0,22	-0,49	0,26
NO3	-0,48	-0,18	-0,33	-0,48	-0,31	-0,43	0,46	0,30	-0,21	-0,11	-0,05	-0,65	-0,21	0,14	1,00	-0,01	0,42	0,42	-0,44	-0,04	-0,45	-0,59	-0,48

Les résultats obtenus par l'analyse en composantes principales des paramètres de pollution sont résumés dans les tableaux (III.2, III.3, III.4, III.5, III.6). Seules les cinq premières composantes principales ont été calculées, ou la C_i = nombre des variables, alors $C_i=23$.

Dans une analyse en composantes principales, on travaille sur la matrice des coefficients de corrélations et les différents résultats sont absolument indépendant des systèmes d'unité choisis.

Tableau (III.4) : Valeur propre, Variances expliquées et Variances cumulées :

Axes	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
Valeurs propre	6,50	4,62	3,29	2,72	1,64
Variances expliquées	28%	20%	14%	12%	7%
Variances cumulées	28%	48%	63%	74%	82%

Tableau (III.5) : Projection des variables actives :

ST	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
Turb	0,32	-0,13	-0,11	0,40	0,79
Ca	0,90	0,29	-0,05	-0,05	0,01
Cl	0,71	-0,28	0,14	0,44	-0,34
Cod	0,99	-0,04	0,00	-0,01	0,02
DBO5	0,03	-0,05	-0,34	-0,55	0,02
DCO	0,68	-0,28	0,47	0,22	-0,05
HCO3	-0,49	0,53	-0,17	0,57	0,05
K	0,04	0,04	0,71	0,15	-0,29
Mg	0,27	-0,21	0,68	0,29	0,06
MES105	0,24	0,38	-0,75	-0,10	0,05
MOAcide	0,60	0,33	0,02	-0,57	-0,15
Na	0,50	-0,43	-0,49	0,03	0,17
NH4	-0,29	-0,61	0,35	-0,25	0,11
NO2	0,35	0,46	0,61	0,02	0,37
NO3	-0,47	0,66	0,29	-0,03	-0,35
Ph	0,27	0,62	-0,31	0,37	0,16
PO4	0,18	0,79	0,34	-0,12	0,37
O2diss	0,46	0,84	0,02	-0,13	-0,20
Rs105	0,76	-0,17	0,04	0,49	-0,06
Saturat%	0,63	0,35	-0,34	0,27	-0,48
SO4	0,83	-0,06	-0,03	-0,44	0,12
T	0,07	-0,67	-0,42	0,43	-0,20
ALC	-0,49	0,53	-0,17	0,57	0,05

Tableau (III.6) : Projection des observation actives :

ST	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
20/05/2008	1,77	0,32	-2,14	-0,50	0,17
27/09/2008	-0,20	-0,68	-0,97	-1,15	0,15
28/04/2009	-1,89	1,53	-0,72	0,19	0,05
15/12/2009	-0,58	0,45	0,26	-0,19	0,07
19/04/2010	-0,53	0,54	-0,18	0,76	-0,56
16/06/2010	-0,18	-0,53	-0,34	2,13	1,32
29/08/2010	0,87	-0,81	0,26	1,47	-2,07
22/11/2010	0,42	0,21	0,50	-0,92	-0,35
11/01/2011	1,01	1,32	1,87	-0,28	0,12
16/03/2011	0,69	-0,31	0,76	0,02	1,92
21/09/2011	-1,01	-2,18	0,57	-0,80	0,04
28/11/2011	-0,37	0,15	0,14	-0,73	-0,87

IV.2. Ajustement des vecteur C1 à une loi de probabilité:

Le vecteur C1 s'ajuste bien à la loi normale comme l'indique la figure ci-après.

Tableau (III.7) : Ajustement à la loi normale du vecteur régional (C1) :

Taille n=12 ; Moyenne= 1,4167E-07 ; Ecart-type =0,999, I.C.à(en %)=95,Gauss=1,9604

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
1,77	-1,89	1	0,0417	-1,732	-1,89	-1,73	-3,13	-1,00
-0,20	-1,01	2	0,1250	-1,15	-1,01	-1,15	-2,24	-0,50
-1,89	-0,58	3	0,2083	-0,812	-0,58	-0,81	-1,74	-0,19
-0,58	-0,53	4	0,2917	-0,548	-0,53	-0,55	-1,38	0,07
-0,53	-0,37	5	0,3750	-0,318	-0,37	-0,32	-1,07	0,31
-0,18	-0,20	6	0,4583	-0,104	-0,20	-0,10	-0,80	0,55
0,87	-0,18	7	0,5417	0,104	0,18	0,10	-0,55	0,80
0,42	0,42	8	0,6250	0,318	0,42	0,32	-0,31	1,07
1,01	0,69	9	0,7083	0,548	0,69	0,55	-0,07	1,38
0,69	0,87	10	0,7917	0,812	0,87	0,81	0,19	1,74
-1,01	1,01	11	0,8750	1,150	1,01	1,15	0,50	2,24
-0,37	1,37	12	0,9583	1,732	1,77	1,73	1,00	3,13

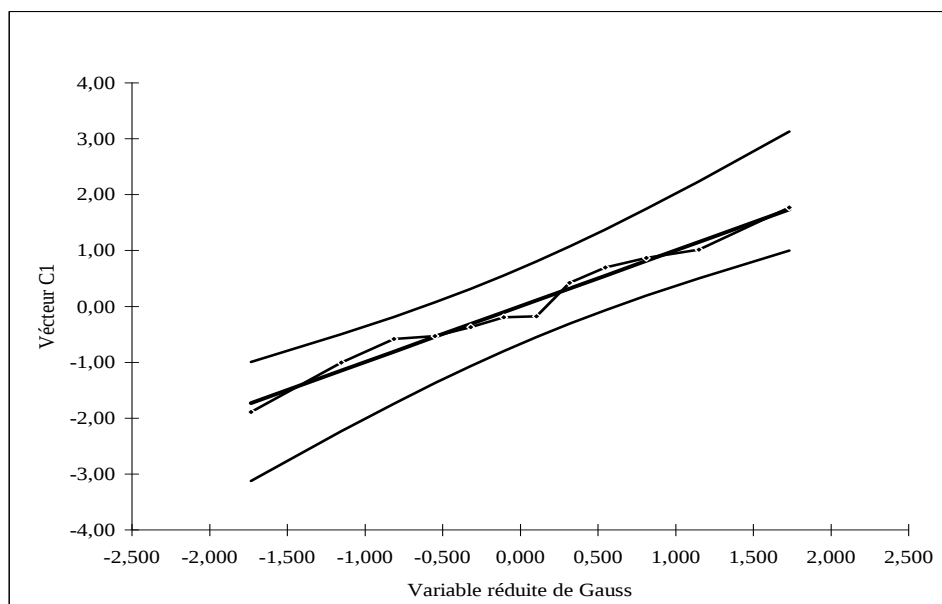
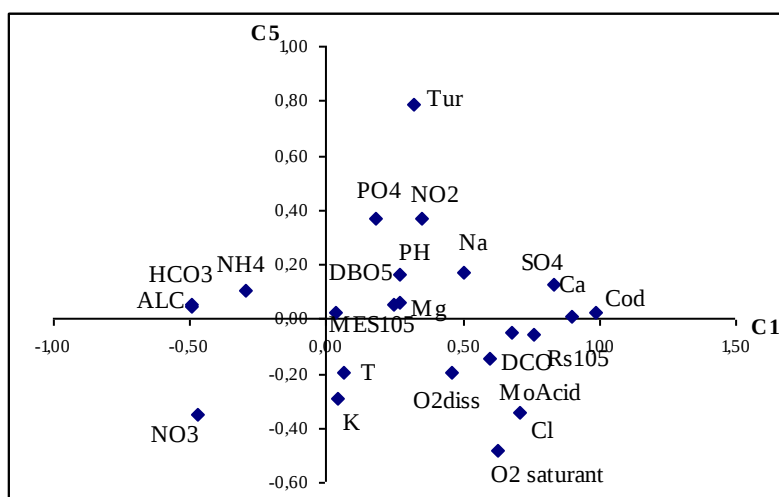
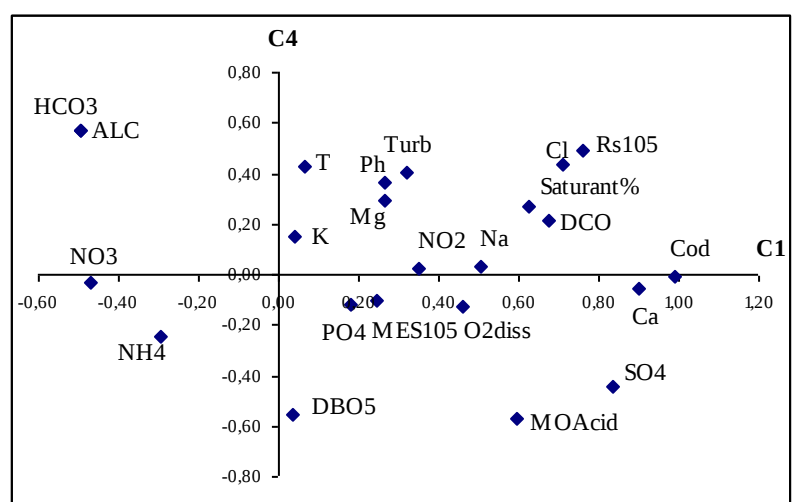
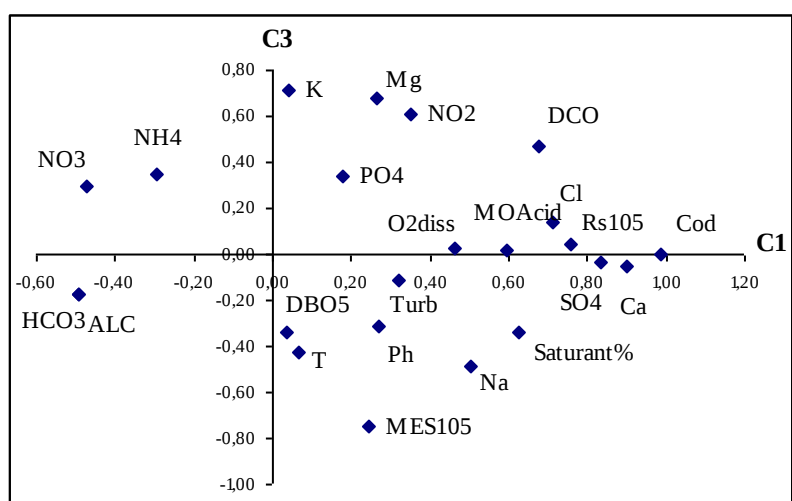
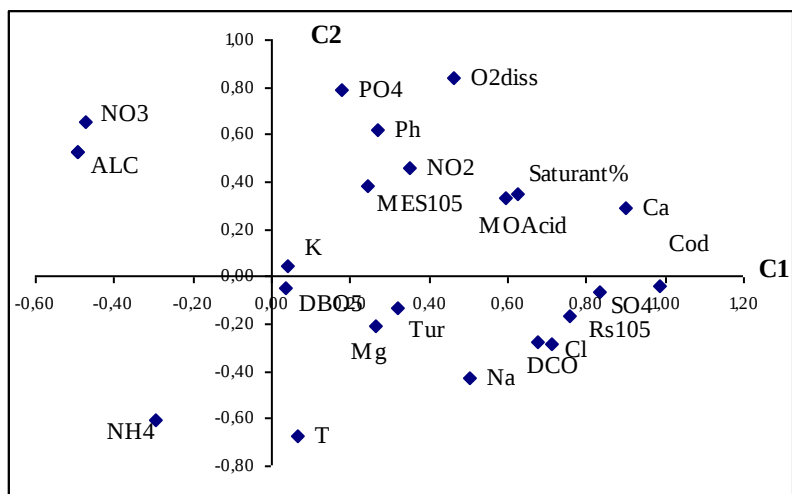
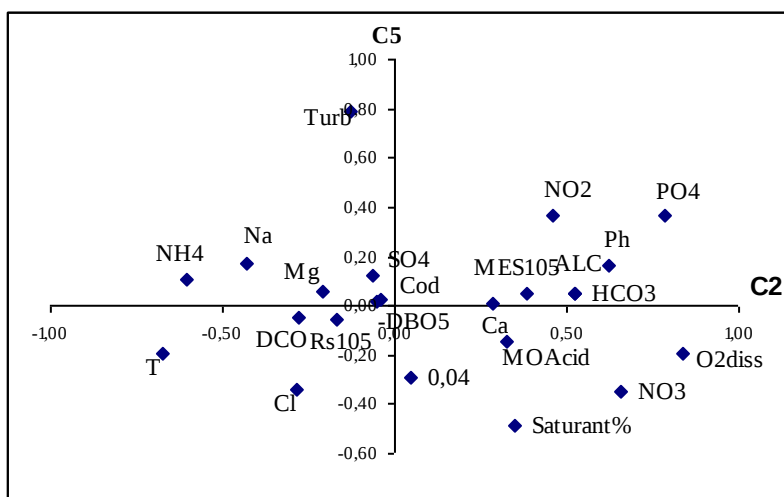
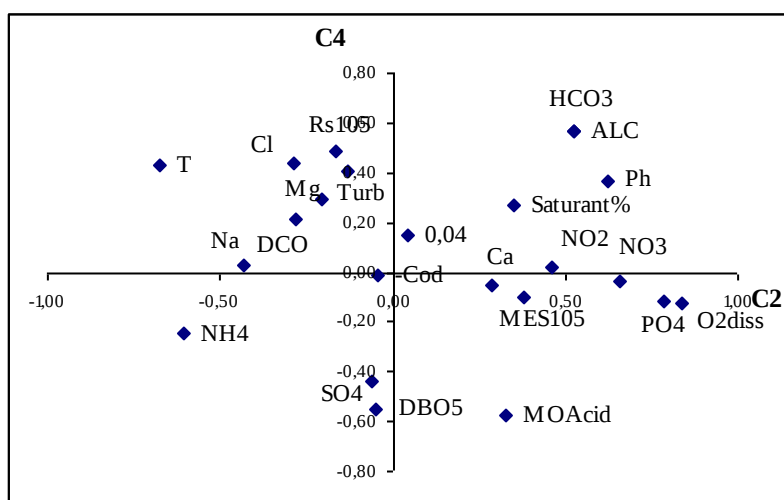
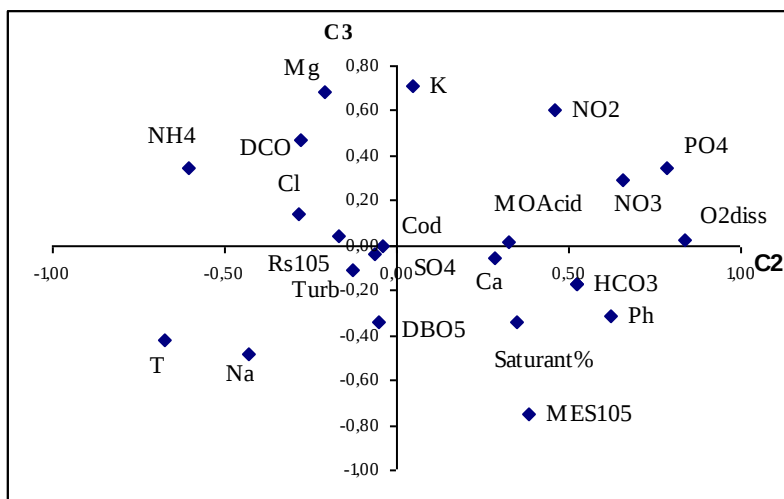


Figure (III.10) : Ajustement de vecteur régional C1.







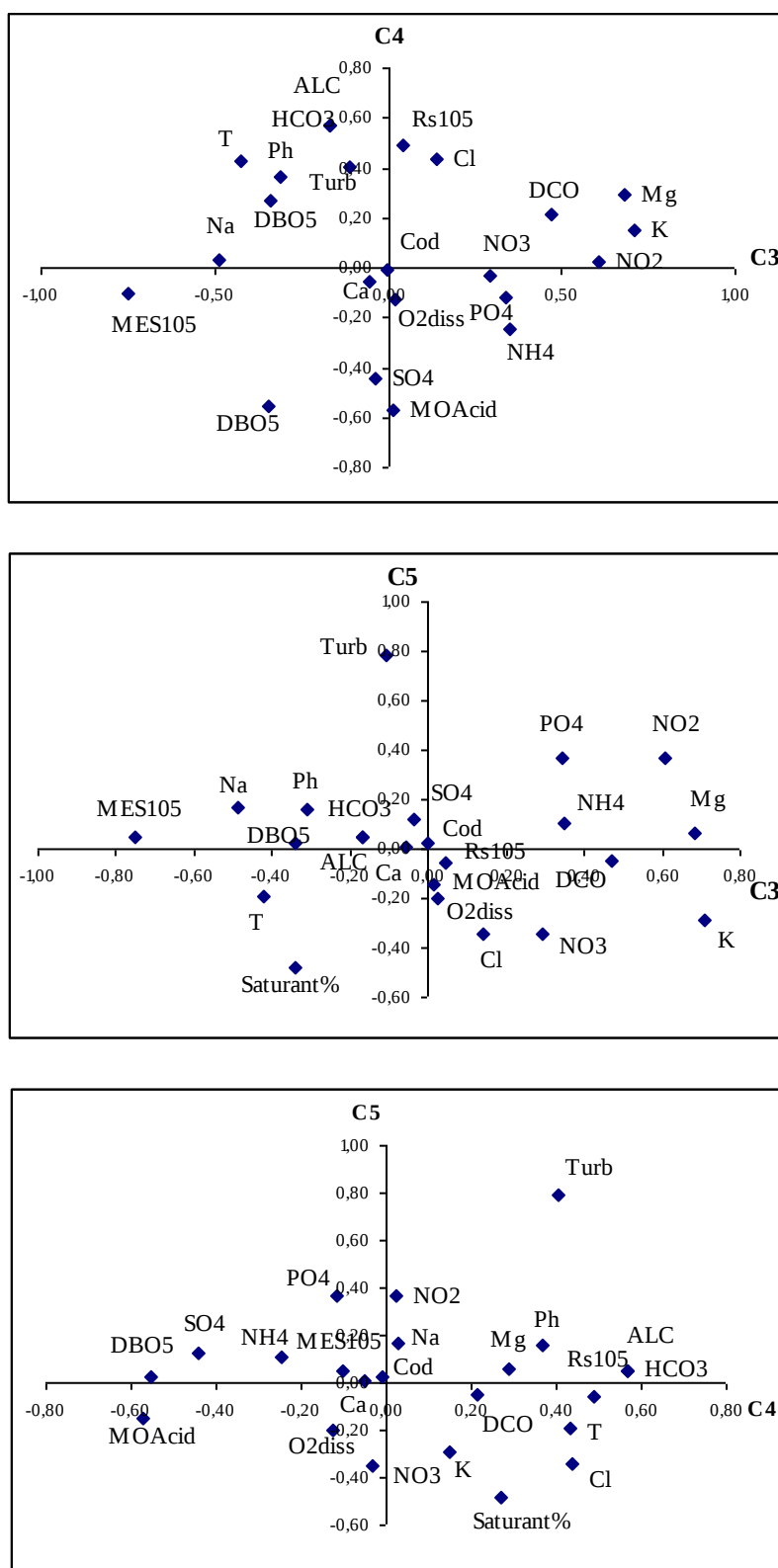


Figure (III.11) : projection des variables sur le plant 1-2,1-3, 1-4, 1-5, 2-3, 2-4, 2-5, 3-4, 3-5,4-5

V. L'Analyse par régression multiple des paramètres de pollution :

❖ Régression multiple entre les paramètres (PO₄, MES105, NO₂, PH)

Les caractéristiques statiques Moyenne et écart-type des variables sont mentionnées ci-dessous.

Tableau (III.8) : Moyenne, Ecart des variables initiales

Les paramètres des pollutions	PO ₄	MES105	NO ₂	O _{2diss}	Ph
Moyenne des observations actives	0,13	45,50	0,06	8,12	7,78
Ecart-Type des observations actives	0,10	31,45	0,09	1,36	0,10

Les résultats de coefficient de corrélation sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau (III.9) : Matrice des coefficients de corrélation entre les variables

Paramètres	PO ₄	MES105	NO ₂	O _{2diss}	Ph
PO ₄	1,00	0,20	0,71	0,71	0,52
MES105	0,20	1,00	-0,13	0,38	0,62
NO ₂	0,71	-0,13	1,00	0,45	0,29
O _{2diss}	0,71	0,38	0,45	1,00	0,57
Ph	0,52	0,62	0,29	0,57	1,00

Tableau (III.10) : Régression linéaire avec 3 variables explicatives

Variables	Coef de reg	Coef .cor.partielle
NO ₂	0,31	0,66
T	-0,01	-0,89
Ph	0,39	0,80
Terme constant	-2,69	
Coef.de cor. multiple	0,96	

La régression montre seulement la relation entre les paramètres PO₄, NO₂, T et PH

$$\text{PO}_4 = 0,31 \text{ NO}_2 - 0,01 \text{ T} + 0,39 \text{ Ph}$$

❖ **Régression multiple entre les paramètres (NO₂, DCO, O_{2diss}, PO₄, NH₄)**

Les caractéristiques statiques Moyenne et écart-type des variables sont mentionnées ci-dessous.

Tableau (III.11) : Moyenne, Ecart des variables initiales

Les paramètres des pollutions	NO ₂	DCO	O _{2diss}	PO ₄	NH ₄
Moyenne des observations actives	0,07	0,13	8,12	41,33	0,06
Ecart-Type des observations actives	0,11	0,10	1,36	15,62	0,09

Les résultats de coefficient de corrélation sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau (III.12) : Matrice des coefficients de corrélation entre les variables

Paramètres	NO ₂	DCO	O _{2diss}	PO ₄	NH ₄
NO ₂	1,00	0,46	0,45	0,71	-0,11
DCO	0,46	1,00	0,04	-0,02	0,10
O _{2diss}	0,45	0,04	1,00	0,71	-0,59
PO ₄	0,71	-0,02	0,71	1,00	-0,23
NH ₄	-0,11	0,10	-0,59	-0,23	1,00

Tableau (III.13) : Régression linéaire avec 2 variables explicatives

Variables	Coef de reg	Coef .cor.partielle
DCO	0,00	0,67
PO ₄	0,68	0,81
Terme constant	-0,14	
Coef.de cor. multiple	0,85	

On remarquera la relation entre les paramètres NO₂, DCO et PO₄.

$$\text{NO}_2 = 0,00 \text{ DCO} + 0,68 \text{ PO}_4$$

❖ **Régression multiple entre les paramètres (Ca, Cod, SO₄, O_{2diss}, Saturat, Rs105, MOAcid)**

Les caractéristiques statiques Moyenne et écart-type des variables sont mentionnées ci-dessous.

Tableau (III.14) : Moyenne, Ecart des variables initiales

Les paramètres des pollutions	Ca	Cod	SO ₄	O _{2diss}	Saturat	Rs105	MOAcid
Moyenne des observations actives	7,54	1136,00	87,05	8,12	519,33	1600,83	197,39
Ecart-Type des observations actives	2,34	197,62	13,77	1,36	102,84	243,33	35,24

Les résultats de coefficient de corrélation sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau (III.15) : Matrice des coefficients de corrélation entre les variables

Paramètres	Ca	Cod	SO ₄	O _{2diss}	Saturat	Rs105	MOAcid
Ca	1,00	0,92	0,84	0,67	0,62	0,66	0,59
Cod	0,92	1,00	0,86	0,42	0,57	0,79	0,57
SO ₄	0,84	0,86	1,00	0,37	0,30	0,47	0,68
O _{2diss}	0,67	0,42	0,37	1,00	0,65	0,16	0,61
Saturat	0,62	0,57	0,30	0,65	1,00	0,48	0,43
Rs105	0,66	0,79	0,47	0,16	0,48	1,00	0,10
MOAcid	0,59	0,57		0,61	0,43	0,10	1,00

Tableau (III.16) : Régression linéaire avec 4 variables explicatives

Variables	Coef de reg	Coef .cor.partielle
Cod	0,08	0,87
SO ₄	0,13	0,73
O _{2diss}	12,12	0,92
MOAcid	-4,04	-0,73
Terme constant	-65,04	
Coef.de cor. multiple	0,99	

La régression montre la relation entre les paramètres Ca, Cod, SO₄, O_{2diss} et MOAcid.

$$\text{Ca} = 0,08 \text{ Cod} + 0,13 \text{ SO}_4 + 12,12 \text{ O}_{2\text{diss}} - 4,04 \text{ MOAcid}.$$

❖ Régression multiple entre les paramètres (Cod, Ca, SO₄, Rs105, Cl, DCO)

Les caractéristiques statiques Moyenne et écart-type des variables sont mentionnées ci-dessous.

Tableau (III.17) : Moyenne, Ecart des variables initiales

Les paramètres des pollutions	Cod	Ca	SO ₄	Rs105	Cl	DCO
Moyenne des observations actives	41,33	116,25	1136,00	519,33	197,39	1600,83
Ecart-Type des observations actives	15,62	39,66	197,62	102,84	35,24	243,33

Les résultats de coefficient de corrélation sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau (III.18) : Matrice des coefficients de corrélation entre les variables

Paramètres	Cod	Ca	SO ₄	Rs105	Cl	DCO
Cod	1,00	0,92	0,86	0,79	0,69	0,67
Ca	0,92	1,00	0,84	0,66	0,50	0,48
SO ₄	0,86	0,84	1,00	0,47	0,31	0,48
Rs105	0,79	0,66	0,47	1,00	0,81	0,62

Cl	0,69	0,50	0,31	0,81	1,00	0,66
DCO	0,67	0,48	0,48	0,62	0,66	1,00

Tableau (III.19) : Régression linéaire avec 3 variables explicatives

Variables	Coef de reg	Coef .cor.partielle
Ca	2,37	0,69
SO4	1,08	0,81
Cl	2,34	0,88
Terme constant	302,31	
Coef.de cor. multiple	0,98	

On remarquera la relation entre les paramètres Cod, Ca, SO4 et Cl.

$$\text{Cod} = 2,37\text{Ca} + 1,08 \text{ SO}_4 + 2,34\text{Cl}$$

❖ **Régression multiple entre les paramètres (Cod, Ca, SO4, Rs105, Cl, DCO, MOAcid, Saturat, Na).**

Les caractéristiques statiques Moyenne et écart-type des variables sont mentionnées ci-dessous.

Tableau (III.20) : Moyenne, Ecart des variables initiales

Les paramètres des pollutions	Cod	Ca	SO4	Rs105	Cl	DCO	MOAcid	Saturat	Na
Moyenne des observations actives	65,48	87,05	7,54	41,33	116,25	1136,00	519,33	197,39	1600,83
Ecart-Type des observations actives	22,58	13,77	2,34	15,62	39,66	197,62	102,84	35,24	243,33

Les résultats de coefficient de corrélation sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau (III.21) : Matrice des coefficients de corrélation entre les variables

Paramètres	Cod	Ca	SO4	Rs105	Cl	DCO	MOAcid	Saturant	Na
Cod	1,00	0,92	0,86	0,79	0,69	0,67	0,57	0,57	0,53
Ca	0,92	1,00	0,84	0,66	0,50	0,48	0,59	0,62	0,39
SO4	0,86	0,84	1,00	0,47	0,31	0,48	0,68	0,30	0,48
Rs105	0,79	0,66	0,47	1,00	0,81	0,62	0,10	0,48	0,51
Cl	0,69	0,50	0,31	0,81	1,00	0,66	0,10	0,57	0,44
DCO	0,67	0,48	0,48	0,62	0,66	1,00	0,24	0,31	0,01
MOAcid	0,57	0,59	0,68	0,10	0,10	0,24	1,00	0,43	0,02
Saturant	0,57	0,62	0,30	0,48	0,57	0,31	0,43	1,00	0,20
Na	0,53	0,39	0,48	0,51	0,44	0,01	0,02	0,20	1,00

Tableau (III.22) : Régression linéaire avec 4 variables explicatives

Variables	Coef de reg	Coef .cor.partielle
Ca	3,49	0,94
DCO	5,93	0,94
MO Acid	17,80	0,76
Na	3,51	0,93
Terme constant	302,13	
Coef.de cor. multiple	0,99	

$$\text{Cod} = 3,49\text{Ca} + 5,93 \text{ DCO} + 17,80\text{MO Acid} + 3,51 \text{ Na}$$

La régression montre seulement la relation entre les paramètres Cod, Ca, DCO, MOA cid, Na.

❖ **Régression multiple entre les paramètres (DCO, Mg, Cod, Cl, Rs105)**

Les caractéristiques statiques Moyenne et écart-type des variables sont motionnes ci-dessous.

Tableau (III.23) : Moyenne, Ecart des variables initiales

Les parameters des pollutions	DCO	Mg	Cod	Cl	Rs105
Moyenne des observation actives	1136,00	116,25	1600,83	49,83	41,33
Ecart-Type des observations actives	197,62	39,66	243,33	10,74	15,62

Les résultats de coefficient de corrélation sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau (III.24) : Matrice des coefficients de corrélation entre les variables

Paramètres	DCO	Mg	Cod	Cl	Rs105
DCO	1,00	0,82	0,67	0,66	0,62
Mg	0,82	1,00	0,24	0,34	0,29
Cod	0,67	0,24	1,00	0,69	0,79
Cl	0,66	0,34	0,69	1,00	0,81
Rs105	0,62	0,29	0,79	0,81	1,00

Tableau (III.25) : Régression linéaire avec 2 variables explicatives

Variables	Coef de reg	Coef .cor.partielle
Mg	1,02	0,91
Cod	0,03	0,85
Terme constant	-61,04	
Coef.de cor. multiple	0,95	

$$\text{DCO} = 1,02 \text{ Mg} + 0,03\text{Cod}.$$

❖ **Régression multiple entre les paramètres (Cl, Rs105, Cod, DCO)**

Les caractéristiques statiques Moyenne et écart-type des variables sont mentionnées ci-dessous.

Tableau (III.26) : Moyenne, Ecart des variables initiales

Les paramètres des pollutions	Cl	Rs105	Cod	DCO
Moyenne des observations actives	41,33	1600,83	1136,00	116,25
Ecart-Type des observations actives	15,62	243,33	197,62	39,66

Les résultats de coefficient de corrélation sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau (III.27) : Matrice des coefficients de corrélation entre les variables

Paramètres	Cl	Rs105	Cod	DCO
Cl	1,00	0,82	0,67	0,66
Rs105	0,82	1,00	0,24	0,34
Cod	0,67	0,24	1,00	0,69
DCO	0,66	0,34	0,69	1,00

Tableau (III.28) : Régression linéaire avec 1 variables explicatives

Variables	Coef de reg	Coef .cor.partielle
Rs105	0,16	0,81
Terme constant	-69,01	
Coef.de cor. multiple	0,81	

Cl = 0,16 Mg

Seulement la relation entre Cl et Mg.

❖ **Régression multiple entre les paramètres (O2diss, NH4, NO2, PO4, DBO5, DCO, MOAcid, HCO3).**

Les caractéristiques statiques Moyenne et écart-type des variables sont mentionnées ci-dessous.

Tableau (III.29) : Moyenne, Ecart des variables initiales

Les paramètres des pollutions	O2diss	NH4	NO2	PO4	DBO5	DCO	MOAcid	HCO3
Moyenne des observations actives	140,81	7,54	41,33	2,93	0,13	0,06	0,07	8,12
Ecart-Type des observations actives	23,90	2,34	15,62	2,05	0,10	0,09	0,11	1,36

Les résultats de coefficient de corrélation sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau (III.30) : Matrice des coefficients de corrélation entre les variables

Paramètres	O2diss	NH4	NO2	PO4	DBO5	DCO	MOAcid	HCO3
O2diss	1,00	-0,59	0,45	0,71	0,08	0,04	0,61	0,14
NH4	-0,59	1,00	-0,11	-0,23	0,06	0,10	-0,28	-0,37
NO2	0,45	-0,11	1,00	0,71	-0,31	0,46	0,46	-0,02
PO4	0,71	-0,23	0,71	1,00	-0,07	-0,02	0,30	0,17
DBO5	0,08	0,06	-0,31	-0,07	1,00	-0,06	0,23	-0,16
DCO	0,04	0,10	0,46	-0,02	-0,06	1,00	0,24	-0,37
MOAcid	0,61	-0,28	0,46	0,30	0,23	0,24	1,00	-0,44
HCO3	0,14	-0,37	-0,02	0,17	-0,16	-0,37	-0,44	1,00

Tableau (III.31) : Régression linéaire avec 2 variables explicatives

Variables	Coef de reg	Coef .cor.partielle
PO ₄	8,19	0,70
MOAcid	0,26	0,60
Terme constant	5,13	
Coef.de cor. multiple	0,83	

$$\text{O2diss} = 8,19 \text{ PO}_4 + 0,26 \text{ MOAcid}$$

❖ Régression multiple entre les paramètres (O2diss, PO₄, Ca, Saturat%, MOAcid, Ph)

Les caractéristiques statiques Moyenne et écart-type des variables sont mentionnées ci-dessous.

Tableau (III.32) : Moyenne, Ecart des variables initiales

Les paramètres des pollutions	O2diss	PO4	Ca	Saturat%	MOAcid	Ph
Moyenne des observations actives	7,78	7,54	87,05	197,39	0,13	8,12
Ecart-Type des observations actives	0,10	2,34	13,77	35,24	0,10	1,36

Les résultats de coefficient de corrélation sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau (III.33) : Matrice des coefficients de corrélation entre les variables

Paramètres	O2diss	PO4	Ca	Saturat%	MOAcid	Ph
O2diss	1,00	0,71	0,67	0,65	0,61	0,57
PO4	0,71	1,00	0,38	0,05	0,30	0,52
Ca	0,67	0,38	1,00	0,62	0,59	0,29
Saturat%	0,65	0,05	0,62	1,00	0,43	0,58
MOAcid	0,61	0,30	0,59	0,43	1,00	0,11
Ph	0,57	0,52	0,29	0,58	0,11	1,00

Tableau (III.34) : Régression linéaire avec 2 variables explicatives

Variables	Coef de reg	Coef .cor.partielle
PO4	9,56	0,89
Saturant%	0,06	0,86
Terme constant	1,66	
Coef.de cor. multiple	0,93	

$$O_{2diss} = 9,56 PO_4 + 0,06 \text{Saturant}\%$$

❖ **Régression multiple entre les paramètres (O_{2diss}, NH₄, PO₄, MOAcid, NO₂)**

Les caractéristiques statiques Moyenne et écart-type des variables sont mentionnées ci-dessous.

Tableau (III.35) : Moyenne, Ecart des variables initiales

Les parameters des pollutions	O _{2diss}	NH ₄	PO ₄	MOAcid	NO ₂
Moyenne des observation actives	0,06	7,54	0,13	0,07	8,12
Ecart-Type des observations actives	0,09	2,34	0,10	0,11	1,36

Les résultats de coefficient de corrélation sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau (III.36) : Matrice des coefficients de corrélation entre les variables

Paramètres	O _{2diss}	NH ₄	PO ₄	MOAcid	NO ₂
O _{2diss}	1,00	-0,59	0,71	0,61	0,45
NH ₄	-0,59	1,00	-0,23	-0,28	-0,11
PO ₄	0,71	-0,23	1,00	0,30	0,71
MOAcid	0,61	-0,28	0,30	1,00	0,46
NO ₂	0,45	-0,11	0,71	0,46	1,00

Tableau (III.37) : Régression linéaire avec 2 variables explicatives

Variables	Coef de reg	Coef .cor.partielle
NH4	-5,58	-0,63
PO4	8,58	0,74
Terme constant	7,39	
Coef.de cor. multiple	0,84	

$$O_{2diss} = -5,58 NH_4 + 8,58 PO_4$$

on remarquera la bonne régression multiple entre les paramètres O_{2diss} et NH₄ et PO₄.

❖ **Régression multiple entre les paramètres (SO₄, Rs105, MOAcid, Cl, DCO, Cod)**

Les caractéristiques statiques Moyenne et écart-type des variables sont mentionnées ci-dessous.

Tableau (III.38) : Moyenne, Ecart des variables initiales

Les paramètres des pollutions	SO ₄	Rs105	MOAcid	Cl	DCO	Cod
Moyenne des observations actives	1600,83	41,33	116,25	7,54	1136,00	519,33
Ecart-Type des observations actives	243,33	15,62	39,66	2,34	197,62	102,84

Les résultats de coefficient de corrélation sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau (III.39) : Matrice des coefficients de corrélation entre les variables

Paramètres	SO ₄	Rs105	MOAcid	Cl	DCO	Cod
SO ₄	1,00	0,47	0,68	0,31	0,48	0,86
Rs105	0,47	1,00	0,10	0,81	0,62	0,79
MOAcid	0,68	0,10	1,00	0,10	0,24	0,57
Cl	0,31	0,81	0,10	1,00	0,66	0,69
DCO	0,48	0,62	0,24	0,66	1,00	0,67
Cod	0,86	0,79	0,57	0,69	0,67	1,00

Tableau (III.40) : Régression linéaire avec 2 variables explicatives

Variables	Coef de reg	Coef .cor.partielle
Cl	-1,44	-0,78
Cod	0,53	0,94
Terme constant	-156,09	
Coef.de cor. multiple	0,95	

$$SO_4 = -1,44 Cl + 0,53 Cod.$$

on remarquera la bonne corrélation entre les paramètres SO₄ et Cl et Cod.

❖ **Régression multiple entre les paramètres (SO₄, MOAcid, PO₄, O₂diss, NO₂)**

Les caractéristiques statiques Moyenne et écart-type des variables sont mentionnées ci-dessous.

Tableau (III.41) : Moyenne, Ecart des variables initiales

Les paramètres des pollutions	SO ₄	MOAcid	PO ₄	O ₂ diss	NO ₂
Moyenne des observations actives	0,06	8,12	0,13	7,54	519,33
Ecart-Type des observations actives	0,09	1,36	0,10	2,34	102,84

Les résultats de coefficient de corrélation sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau (III.42) : Matrice des coefficients de corrélation entre les variables

Paramètres	SO ₄	MOAcid	PO ₄	O ₂ diss	NO ₂
SO ₄	1,00	0,68	0,15	0,37	0,22
MOAcid	0,68	1,00	0,30	0,61	0,46
PO ₄	0,15	0,30	1,00	0,71	0,71
O ₂ diss	0,37	0,61	0,71	1,00	0,45
NO ₂	0,22	0,46	0,71	0,45	1,00

Tableau (III.43) : Régression linéaire avec 1 variables explicatives

Variables	Coef de reg	Coef .cor.partielle
MOAcid	29,66	0,68
Terme constant	295,62	
Coef.de cor. multiple	0,68	

$$O_2diss = -5,58 NH_4 + 8,58 PO_4.$$

❖ **Régression multiple entre les paramètres (NH₄, O₂ Saturant%, O₂diss)**

Les caractéristiques statiques Moyenne et écart-type des variables sont motionnes ci-dessous.

Tableau (III.44) : Moyenne, Ecart des variables initiales

Les parameters des pollutions	NH ₄	O ₂ Saturant%	O ₂ diss
Moyenne des observation actives	8,12	87,05	0,07
Ecart-Type des observations actives	1,36	13,77	0,11

Les résultats de coefficient de corrélation sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau (III.45) : Matrice des coefficients de corrélation entre les variables

Paramètres	NH ₄	O ₂ Saturant%	O ₂ diss
NH ₄	1,00	-0,62	-0,59
O ₂ Saturant%	-0,62	1,00	0,65
O ₂ diss	-0,59	0,65	1,00

Tableau (III.46) : Régression linéaire avec 1 variables explicatives

Variables	Coef de reg	Coef .cor.partielle
O ₂ Saturant%	-0,01	-0,62
Terme constant	0,51	
Coef.de cor. multiple	0,62	

$$NH_4 = -0,01O_2diss$$

❖ **Régression multiple entre les paramètres (O₂ Saturant%, O₂diss, Ca, ph, Cl, Cod)**

Les caractéristiques statiques Moyenne et écart-type des variables sont motionnées ci-dessous.

Tableau (III.47) : Moyenne, Ecart des variables initiales

Les parameters des pollutions	O ₂ Saturant%	O ₂ diss	Ca	ph	Cl	Cod
Moyenne des observation actives	1600,83	116,25	7,78	197,39	8,12	87,05
Ecart-Type des observations actives	243,33	39,66	0,10	35,24	1,36	13,77

Les résultats de coefficient de corrélation sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau (III.48) : Matrice des coefficients de corrélation entre les variables

Paramètres	O ₂ Saturant%	O ₂ dissous	Ca	ph	Cl	Cod
O ₂ Saturant%	1,00	0,65	0,62	0,58	0,57	0,57
O ₂ dissous	0,65	1,00	0,67	0,57	0,12	0,42
Ca	0,62	0,67	1,00	0,29	0,50	0,92
ph	0,58	0,57	0,29	1,00	0,12	0,18
Cl	0,57	0,12	0,50	0,12	1,00	0,69
Cod	0,57	0,42	0,92	0,18	0,69	1,00

Tableau (III.49) : Régression linéaire avec 2 variables explicatives

Variables	Coef de reg	Coef .cor.partielle
O ₂ diss	5,93	0,71
Cl	0,18	0,66
Terme constant	18,37	
Coef.de cor. multiple	0,82	

$$O_2 \text{ Saturant\%} = 5,93 O_2diss + 0,18 Cl.$$

On remarquera la bonne corrélation entre les paramètres O₂saturant et O₂diss et Cl.

❖ **Régression multiple entre les paramètres (MES105, T, DBO₅, ph)**

Les caractéristiques statiques Moyenne et écart-type des variables sont motionnées ci-dessous.

Tableau (III.50) : Moyenne, Ecart des variables initiales

Les parameters des pollutions	MES105	T	DBO ₅	ph
Moyenne des observation actives	7,78	2,93	19,17	45,50
Ecart-Type des observations actives	0,10	2,05	6,01	31,45

Les résultats de coefficient de corrélation sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau (III.51) : Matrice des coefficients de corrélation entre les variables

Paramètres	MES105	T	DBO ₅	ph
MES105	1,00	0,07	0,21	0,62
T	0,07	1,00	0,01	-0,09
DBO ₅	0,21	0,01	1,00	0,05
ph	0,62	-0,09	0,05	1,00

Tableau (III.52) : Régression linéaire avec 1 variables explicatives

Variables	Coef de reg	Coef .cor.partielle
ph	201,19	0,62
Terme constant	-1518,75	
Coef.de cor. multiple	0,62	

$$\text{MES105} = 5,93 \text{ ph.}$$

❖ **Régression multiple entre les paramètres (Mn, Fe, Zn, Cu)**

Les caractéristiques statiques Moyenne et écart-type des variables sont mentionnées ci-dessous.

Tableau (III.53) : Moyenne, Ecart des variables initiales

Les paramètres des pollutions	Mn	Fe	Zn	Cu
Moyenne des observations actives	0,00	0,01	0,12	0,05
Ecart-Type des observations actives	0,01	0,03	0,21	0,07

Les résultats de coefficient de corrélation sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau (III.54) : Matrice des coefficients de corrélation entre les variables

Paramètres	Mn	Fe	Zn	Cu
Mn	1,00	0,82	0,73	-0,23
Fe	0,82	1,00	0,88	-0,22
Zn	0,73	0,88	1,00	-0,22
Cu	-0,23	-0,22	-0,22	1,00

Tableau (III.55) : Régression linéaire avec 1 variables explicatives

Variables	Coef de reg	Coef .cor.partielle
Mn	0,29	0,82
Terme constant	0,02	
Coef.de cor. multiple	0,82	

$$\text{Mn} = 0,29 \text{ Fe.}$$

Seulement la régression entre le paramètre Mn et Fe.

❖ **Régression multiple entre les paramètres (Zn, Cu, Mn, Fe)**

Les caractéristiques statiques Moyenne et écart-type des variables sont mentionnées ci-dessous.

Tableau (III.56) : Moyenne, Ecart des variables initiales

Les paramètres des pollutions	Zn	Cu	Mn	Fe
Moyenne des observations actives	0,12	0,05	0,00	0,01
Ecart-Type des observations actives	0,21	0,07	0,01	0,03

Les résultats de coefficient de corrélation sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau (III.57) : Matrice des coefficients de corrélation entre les variables

Paramètres	Zn	Cu	Mn	Fe
Zn	1,00	-0,22	0,73	0,88
Cu	-0,22	1,00	-0,23	-0,22
Mn	0,73	-0,23	1,00	0,82
Fe	0,88	-0,22	0,82	1,00

Tableau (III.58) : Régression linéaire avec 1 variables explicatives

Variables	Coef de reg	Coef .cor.partielle
Fe	0,11	0,88
Terme constant	0,00	
Coef.de cor. multiple	0,88	

$$\text{Zn} = 0,29 \text{ Fe}$$

Seulement la régression entre le paramètre Zn et Fe.

❖ **Régression multiple entre les paramètres (Fe, MES105, MOAcid, SO₄, PO₄, NH₄, NO₂, O₂diss).**

Les caractéristiques statiques Moyenne et écart-type des variables sont mentionnées ci-dessous.

Tableau (III.59) : Moyenne, Ecart des variables initiales

Les paramètres des pollutions	Fe	MES105	MOAcid	SO ₄	PO ₄	NH ₄	NO ₂	O ₂ diss
Moyenne des observations actives	8,12	0,07	0,04	0,13	551,60	7,76	44,80	0,10
Ecart-Type des observations actives	1,33	0,10	0,04	0,10	78,63	2,48	32,25	0,20

Les résultats de coefficient de corrélation sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau (III.60) : Matrice des coefficients de corrélation entre les variables

Paramètres	Fe	MES105	MOAcid	SO ₄	PO ₄	NH ₄	NO ₂	O ₂ diss
Fe	1,00	0,85	0,46	0,65	0,14	-0,35	-0,05	0,39
MES105	0,85	1,00	0,36	0,46	0,10	-0,25	-0,24	0,36
MOAcid	0,46	0,36	1,00	0,69	0,32	-0,21	0,45	0,64
SO ₄	0,65	0,46	0,69	1,00	0,25	-0,25	0,22	0,34
PO ₄	0,14	0,10	0,32	0,25	1,00	0,72	0,70	0,71
NH ₄	-0,35	-0,25	-0,21	-0,25	0,72	1,00	0,22	0,38
NO ₂	-0,05	-0,24	0,45	0,22	0,70	0,22	1,00	0,42
O ₂ diss	0,39	0,36	0,64	0,34	0,71	0,38	0,42	1,00

Tableau (III.61) : Régression linéaire avec 2 variables explicatives

Variables	Coef de reg	Coef .cor.partielle
MES105	-0,01	-0,99
MOAcid	0,06	0,98
SO ₄	0,00	-0,99
PO ₄	14,81	0,99
NH ₄	-25,10	-0,99
NO ₂	-9,35	-0,99
O ₂ diss	-0,10	-0,98
Terme constant	2,08	
Coef.de cor. multiple	1,00	

D'après l'analyse de la régression multi linéaire entre les paramètres de pollution, on peut dire la bonne corrélation multiple entre les paramètres.

$$\text{Fe} = -0,01\text{MES105} + 0,06\text{MOAcid} + 0,00\text{SO}_4 + 14,81 \text{ PO}_4 - 25,10 \text{ NH}_4 - 9,35\text{NO}_2 - 0,10 \text{ O}_2\text{diss} .$$

VI. Conclusion:

L'étude de la pollution des eaux de surface, dans le bassin de l'Oued Abiod et la retenue de barrage Foum El Gherzaà pris aussi, de l'importance, dans ce travail, les paramètres de pollution ont été analysés d'après les différentes analyses élaborées, l'ensemble des eaux dans le bassin montre la qualité moyenne de nitrates et de phosphates, les concentrations des eaux en sulfates (SO₄⁻) et de la turbidité sont très remarquables. Les paramètres indicateurs de pollution tels que ; l'oxygène dissous, la demande biologique et chimique en oxygène (DBO₅ et DCO) présentent des concentrations inquiétantes et montrent la qualité médiocre des eaux du bassin et par conséquent leur effet sur la qualité des eaux du barrage de Foum El Gherza.

CONCLUSION GENERALE

L'envasement et le transport solide constituent, par leurs importances, un problème majeur dans les pays du Maghreb. L'érosion, le transport solide et la sédimentation sont la cause de la dégradation des sols agricoles, l'alluvionnement des retenues et de nombreux dégâts dont les coûts sont considérables. En Algérie, par exemple, les études d'aménagement hydromécaniques butent sur le problème de manque de données sur le transport solide afin d'évaluer son importance. Cela conduit l'Ingénieur à utiliser les méthodes empiriques disponibles pour évaluer les quantités solides transportées annuellement par le cours d'eau étudié.

Ce travail a fait pour l'objet d'une estimation quantitative du transport solide au droit du barrage de Foug El Gherza destiné au transfert des eaux de l'Oued Abiod vers le barrage.

Dans ce travail nous avons procédé à l'analyse détaillée des paramètres suivants :

- Les paramètres hydrologiques de bases du bassin versant d'Oued Abiod

Les paramètres physiographiques, montrent que le bassin versant d'Oued Abiod présentent une forme allongé dans l'ensemble ($K_C = 1.55$). La densité de drainage est assez importante ($D_d = 3.80$), le bassin bien hiérarchisé et drainé. Le bassin présentent en général un relief très fort ($I_g > 0.1$). Selon la taille, le relief des bassins et la densité de drainage, le coefficient de torrentialité ($C_t = 26.03$) ceci est due certainement au nombre considérable de talwegs de premier ordre. On en déduit que cet écoulement est assez fort et il peut s'expliquer par les fortes pentes caractérisent le bassin versant. Le temps de concentration ($T_C = 6 \text{ heure}$), il semble important puisque le temps qu'a mis une goutte d'eau pour arriver au point le plus éloigné de l'exutoire.

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

A l'issue de l'étude géologique, nous avons pu individualiser les formations selon leur perméabilité. Les terrains à dominante imperméable (roches marneuses) favorisent largement le ruissellement superficiel. Par contre, la présence notable de formations perméables (calcaires) contribue, de paire avec les facteurs morphologiques défavorables, à limiter les possibilités de l'écoulement de surface.

La répartition lithologique du bassin versant montre des zones à érodibilité moyenne à faible au nord et une érodibilité forte au sud, L'absence du couvert végétal dans certaines zones a favorisé un ruissellement violent et donc l'érosion sera plus ou moins importante. Pour une meilleure évaluation des risques qui menacent notre bassin versant, on a opté pour la division de ce dernier suivant les caractéristiques dominantes et leur influence sur le comportement du bassin versant.

Le bassin versant oued El Abiod est caractérisé par un climat semi-aride à aride vers l'exutoire dont les caractéristiques se manifestent par un Hiver froid à frais et un Eté très chaud et sec. L'irrégularité et la diminution des précipitations s'affirment en allant de plus en plus vers le Sud ce qui influe surtout sur l'évapotranspiration.

Conclusion générale

Durant la période de 1970-2010, la variabilité interannuelle des modules pluviométriques est bien exprimé par le coefficient de variation traduisant la dispersion relative des pluies ($0,33 < C_v < 0,77$) ce qui implique une variabilité assez faible.

Les séries pluviométriques des stations d'Ouad Abiod s'ajustent en général à une loi normale de Gauss ou log normale. Ces variabilités spatio-temporelles conditionnent l'écoulement et les transports solides dans le bassin.

Une variation remarquable de la projection des observations sur la 1^{ère} composant C_1 pendant les années de mesure, elle peut être expliquée par la variation des précipitations durant (1970/71 à 2009/10), les plus grandes valeurs correspondant aux années humides (1976, 1991, 1995, 2003 et 2009). Par contre les faibles valeurs de C_1 correspondent aux années sèches (1973, 1993, 1996 et 2000).

- Les paramètres de l'écoulement du bassin d'Oued Abiod

L'insuffisance de l'équipement hydrométrique et le manque de données précises ont été largement ressentis dans la compréhension de certains phénomènes hydrologiques, particulièrement liés aux formes de l'écoulement extrême.

L'analyse de l'écoulement est consacrée à l'étude des débits dans le cours d'eau de l'Oued Abiod. L'écoulement annuel qui s'effectue au niveau de cette station est de plus irrégulier. Il est très variable d'une année à l'autre.

L'interprétation statistique et graphique des données nous a permis de saisir les variations spatiales de l'écoulement superficiel en liaison avec les données climatiques et physiographiques des sous bassins de même sa forte variabilité temporelle, annuelle et surtout saisonnières et journalières.

Le calcul des bilans inter annuels ont fait ressortir la faiblesse du coefficient d'écoulement ($C_e = 9.06\%$). Ces résultats peuvent être expliqués par la nature semi-perméable du sous bassin (le système souterrain) et les hautes températures favorisant l'évapotranspiration.

L'étude des écoulements montrent que la période de haute eau est observée dans période (Février, Mars et Avril) avec des débits maximaux enregistrés en mois de Septembre. Les pluies de débits de l'année climatique interviennent donc efficacement au soutien de l'écoulement superficiel, puisque les précipitations provenant soit d'orage locaux en Eté, soit des dépressions Sahariennes. Par ailleurs, la période des basses eaux est également retardée, elle ne fréquence limitée des crues en saison chaude. Ainsi que par le rôle des souterraines alimentant les cours d'eau en période d'étiage.

D'une manière générale, le déficit annuel moyen de l'écoulement augmente avec l'accroissement du total pluviométrique moyen annuel.

L'étude des formes extrêmes de l'écoulement, axée tout d'abord sur les crues, a mis successivement en évidence : le caractère torrentiel des crues principalement à la forte intensité des précipitations, leur mécanisme de propagation.

Conclusion générale

Les crues de l'Oued El Abiod sont très violentes et soudaines et de courte durée, puisque provenant soit d'orages locaux en Été, soit des dépressions sahariennes au printemps et plus souvent encore en Automne.

- Erosion et transport solide

En se basant, sur les mesures continues de concentration des sédiments en suspension, au droit de la station de Mchounech. Nous disposons d'une série de mesure, d'environ de 975 valeurs de débits liquides instantanés (QI), et de concentrations de sédiments en suspension (C), allant de Septembre 1971 jusqu'à Janvier 1994. Cette banque de donnée a été sélectionnée pour la recherche des modèles mathématiques entre le débit liquide à différents échelles temporels.

Le choix de la fonction de puissance est justifié par l'adéquation de ce modèle qui a donné les meilleures valeurs du coefficient de détermination, en particulier, pour la série de données mensuelles ($R^2 = 0.60-0.89$).

Sur la base du modèle puissance nous avons calculé le débit solide en suspension journalier à partir des relations retenue après avoir comblé toutes les lacunes. Le calcul du débit solide et sa transformation en tonnage annuel de matériaux en suspension ont été effectués pour toutes la série du fichier de base.

Le bassin versant de l'Oued Abiod présente une charge maximale annuelle de sédiments est de l'ordre de 21 Million de tonne, ce qui correspond à une dégradation spécifique relativement élevée de l'ordre de 2700 tonne/km².an. Ces taux de dégradation se situent dans la fourchette des valeurs proposées par Walling (1984). En se fondant sur les travaux réalisés au Maghreb, cet auteur estime que les dégradations spécifiques varient entre 1000 et 5000 t/km².an. Elle est due aux caractères favorables à l'érosion : pentes raides, qui conduisent à un écoulement très rapide qui favorise l'arrachement des particules du sol après le travail de désagrégation par insolation ; et l'absence du couvert végétale ne protège pas le sol.

La variation du taux des apports solides et liquides peut être expliquée, d'une part, par le fait que le sous-bassin étudié présente une variabilité dans le régime d'écoulement (variabilité spatio-temporelle des précipitations) et d'autre part, par la variabilité des caractéristiques hydromorphométriques. L'essentiel du transfert des matières en suspension se produit au cours de crues violentes qui surviennent soit d'orages locaux en Été, soit des dépressions sahariennes au Printemps et plus souvent encore en Automne. Les crues exceptionnelles ont un effet direct sur l'apport annuel et les résultats finals du calcul de l'érosion spécifique

La recherche d'une corrélation entre le taux d'érosion spécifique calculé et quelque paramètre hydro climatique tels que la pluie annuelle, le coefficient d'écoulement, le débit maximum annuel et la lame ruisselé a permis de trouver des relations hautement significatives.

L'application du modèle (Touibia, 2000), consistant en la recherche d'un modèle mathématique reliant le débit solide au débit liquide à différentes échelles spatiales pour définir les différentes formes d'érosion nous a permis de dégager une relation fonctionnelle très significative entre le débit solide et le débit liquide.

Pour chercher à caractériser la relation C-Q, à travers, une série d'événements chronologiques (crues), les paramètres débit et concentration de sédiments en suspension et leurs phénomènes

Conclusion générale

d'hystérésis dans le bassin de l'Oued Abiod ont été recueillis afin d'examiner leurs distributions temporelles. L'objectif est d'élaborer une classification de cette relation, et de faire ressortir, le modèle de boucle d'hystérésis dominant. Différentes formes de modèle d'hystérésis observé ; formes dans le sens des aiguilles d'une montre, sens contraire des aiguilles d'une montre et la forme huit.

Les crues dans le même sens et dans le sens contraire des aiguilles en Automne surviennent après une saison sèche où le sol est particulièrement fragilisé et facilement érodable et où les pluies peuvent être violentes mais de courte durée. La charge solide de la saison d'Eté est plus importante par rapport aux crues printanières, les pluies estivales sont généralement intenses et plus agressives. La source principale de la charge solide en suspension est alimentée par l'érosion en ravines et la dégradation des berges des cours d'eau.

L'étude des processus de l'érosion, du transport solide et de la sédimentation est un préalable à toute tentative de dévasement. Que se soit à l'aide de dragage ou de soutirage (par les ouvrages de vidange), la récupération des volumes de stockage et la remise du barrage à ses fonctions initiales nécessitent la connaissance des phénomènes de sédimentation ayant abouti au comblement de la retenue.

- Caractéristique physico-chimique des eaux de surface du barrage de Foul El Gherza

Cette partie de notre étude prospective portera sur les eaux de surface du bassin d'Oued Abiod et la retenue du barrage de Foul El Gherza : caractéristiques physico-chimiques, et l'impact sur l'environnement de la région.

Les analyses ont été réalisées sur deux échantillons d'eau prélevés de deux sites dans le barrage de Foul El Gherza (près de la digue du barrage et au niveau de l'intersection entre le barrage et l'Oued).

Notre travail élaboré à nous permet de tirer les conclusions suivantes :

-la turbidité et les matières en suspension sont en concentrations élevées et indiquent la dégradation de la qualité des eaux du barrage de Foul El Gherza .

- les eaux du barrage sont de bonne qualité par rapport aux nitrates (NO_3), (NH_4), et aux phosphates (PO_4), ce qui montre que les teneurs de l'azote (N) et de phosphores (P) ne sont pas significatifs, mais représentent un véritable risque de pollution (déclanchant l'eutrophisation).

- les concentrations des eaux en sulfates (SO_4), sont remarquablement.

- le DBO_5 , le DCO, l'oxygène dissous et l'oxygène saturé indique la contamination chimique et microbiologique, favorise la prolifération des algues et accélère le phénomène d'eutrophisation (la couleur verdâtre des eaux).

Tableau (I.1) : Coefficient correctif régional Kr

Nom	Kr-cor	Kr	Cor	Nom	Kr-cor	Kr	Cor	Nom	Kr-cor	Kr	Cor
AïnSefra	1.21	1.11	9%	DellysAfir	0.87	0.87	0%	Mostaganem	0.87	0.87	0%
Annaba	0.91	0.91	0%	Djelfa	1.10	1.04	5%	Msila	1.12	1.12	0%
Arzew	0.97	0.97	0%	El Keiter	1.15	1.24	-7%	Naama	1.11	1.11	0%
Barika	1.24	1.24	0%	El Bayadh	1.23	1.23	0%	Oran	0.99	0.99	0%
Batna	1.12	1.12	0%	ElMilia	0.79	0.79	0%	Oum El	0.92	0.92	0%
Bordj	1.07	1.07	0%	Ghazaouet	0.81	0.81	0%	Bouaghi	1.01	1.01	0%
BouArreridj	1.32	1.32	0%	Guelma	0.83	0.83	0%	Saida	1.04	1.04	0%
Béchar	0.92	0.92	0%	Jijel Aer	0.79	0.79	0%	Setif	0.94	0.94	0%
Bejaia	0.88	0.88	0%	Jijel Port	0.79	0.79	0%	Sidi Bel Abbes	0.86	0.86	0%
Benisaf	1.26	1.26	0%	Ksar	1.09	1.09	0%	Skikda	0.99	0.99	0%
Biskra	1.10	0.93	18%	Chellala	0.93	0.93	0%	Souk Ahras	1.00	1.00	0%
Bou saada	1.04	1.04	0%	Maghnia	0.95	0.95	0%	Tebessa	0.95	0.95	0%
Bouira	0.93	0.93	0%	Mechrea	1.14	1.14	0%	Tenes	1.08	1.14	-6%
Chlef	0.91	0.91	0%	Medea	1.05	1.05	0%	Tiaret	0.83	0.83	0%
Constantine	0.89	0.89	0%	Miliana	0.97	0.97	0%	Tlemcen	0.93	0.93	0%

ANNEX II : Ajustement des Précipitation Annuelles, Mensuelles, Journalières

Tableau (III.1) :précipitation annuelles et leurs fréquences expérimentales station de Medina

Taille n=40 Moy.log(x-x₀)=2.618 E.T. log(x-x₀)=0.151 .I.C. à (en 95%).U Gauss=1.96

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
244,60	225,10	1	0,013	-2,242	225,10	189,90	147,58	225,83
482,90	236,40	2	0,038	-1,781	236,40	223,00	180,07	259,39
658,70	244,60	3	0,063	-1,534	244,60	243,00	200,06	279,64
331,70	251,30	4	0,088	-1,357	251,30	258,54	215,71	295,43
388,60	251,60	5	0,113	-1,213	251,60	271,76	229,07	308,92
546,40	252,00	6	0,138	-1,092	252,00	283,54	241,00	321,02
521,30	254,40	7	0,163	-0,984	254,40	294,36	251,96	332,21
309,20	280,40	8	0,188	-0,887	280,40	304,50	262,21	342,76
280,40	309,20	9	0,213	-0,798	309,20	314,15	271,93	352,87
373,60	316,60	10	0,238	-0,714	316,60	323,42	281,26	362,68
517,20	318,70	11	0,263	-0,635	318,70	332,42	290,27	372,27
465,30	331,70	12	0,288	-0,560	331,70	341,22	299,05	381,74
380,10	347,10	13	0,313	-0,488	347,10	349,89	307,65	391,15
236,40	348,70	14	0,338	-0,419	348,70	358,47	316,12	400,55
401,70	360,90	15	0,363	-0,351	360,90	367,01	324,49	409,99
512,40	373,60	16	0,388	-0,285	373,60	375,54	332,81	419,52
420,00	380,10	17	0,413	-0,221	380,10	384,10	341,09	429,18
251,30	388,60	18	0,438	-0,157	388,60	392,73	349,38	439,01
537,10	401,70	19	0,463	-0,094	401,70	401,45	357,71	449,07
527,20	420,00	20	0,488	-0,031	420,00	410,32	366,09	459,39
318,70	465,30	21	0,513	0,031	465,30	419,35	374,56	470,02
483,30	482,90	22	0,538	0,094	482,90	428,61	383,17	481,03
360,90	483,30	23	0,563	0,157	483,30	438,14	391,94	492,49
251,60	487,70	24	0,588	0,221	487,70	447,98	400,93	504,46
347,10	492,70	25	0,613	0,285	492,70	458,19	410,16	517,02
487,70	512,40	26	0,638	0,351	512,40	468,84	419,69	530,27
225,10	517,20	27	0,663	0,419	517,20	480,01	429,58	544,31
540,70	521,30	28	0,688	0,488	521,30	491,78	439,91	559,29
316,60	527,20	29	0,713	0,560	527,20	504,27	450,74	575,38
348,70	527,40	30	0,738	0,635	527,40	517,62	462,21	592,78
252,00	537,10	31	0,763	0,714	537,10	532,03	474,44	611,79
254,40	540,70	32	0,788	0,798	540,70	547,74	487,62	632,77
527,40	546,40	33	0,813	0,887	546,40	565,08	502,01	656,24
896,40	558,80	34	0,838	0,984	558,80	584,54	517,95	682,93
558,80	581,40	35	0,863	1,092	581,40	606,85	536,00	713,97
581,40	585,90	36	0,888	1,213	585,90	633,17	556,99	751,15
492,70	604,40	37	0,913	1,357	604,40	665,54	582,43	797,68
585,90	658,70	38	0,938	1,534	658,70	708,11	615,32	860,09
769,50	769,50	39	0,963	1,781	769,50	771,61	663,37	955,55
604,40	896,40	40	0,988	2,242	896,40	906,10	761,95	1165,92
450,40	896,40	41	0,988	2,251	896,40	902,48	761,51	1154,27

fréquence	U de Gaus	Valeur théorique	Borne inf	Borne sup	Valeur	Fréqthéo	Pér.Ret
0,8	0,841	556,18	494,64	644,15	556,18	0,800	5
0,9	1,282	648,41	569,02	772,96	648,41	0,900	10
0,95	1,645	735,98	636,55	901,65	735,98	0,950	20
0,98	2,054	848,73	720,36	1074,91	848,73	0,980	50
0,99	2,327	933,32	781,47	1209,74	933,32	0,990	99,9
0,999	3,091	1217,95	979,02	1689,18	1217,95	0,999	820

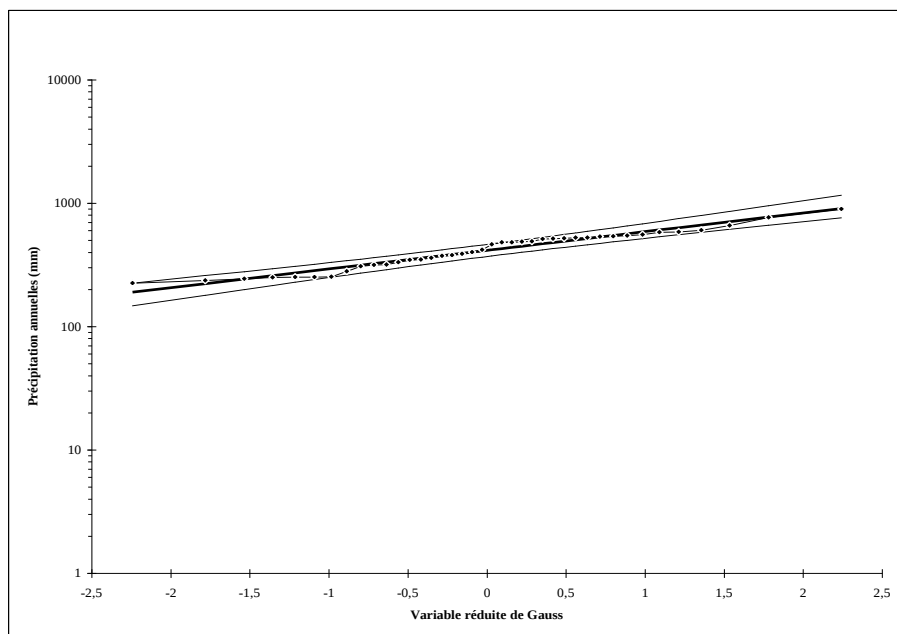


Figure (III.1) :*Ajustement précipitations annuelles à la loi Log normale (Medina)*

Tableau (III.2): précipitation annuelles et leurs fréquences expérimentales station de T'akoutTaille n=40 Moy.log(x-x₀)=2.378et log(x-x₀)=0.224 .IC. à (en 95%).U Gauss=1.96

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
98,60	42,50	1	0,013	-2,242	42,50	73,86	50,65	95,71
114,80	97,10	2	0,038	-1,781	97,10	93,92	68,21	117,76
283,60	98,60	3	0,063	-1,534	98,60	106,80	79,84	131,78
42,50	114,80	4	0,088	-1,357	114,80	117,19	89,37	143,07
97,10	125,60	5	0,113	-1,213	125,60	126,26	97,78	152,96
237,80	148,40	6	0,138	-1,092	148,40	134,54	105,50	162,01
552,10	160,30	7	0,163	-0,984	160,30	142,30	112,75	170,53
208,00	165,80	8	0,188	-0,887	165,80	149,70	119,68	178,70
195,10	170,30	9	0,213	-0,798	170,30	156,84	126,38	186,64
329,60	174,30	10	0,238	-0,714	174,30	163,82	132,92	194,46
384,20	192,80	11	0,263	-0,635	192,80	170,69	139,35	202,21
174,30	193,90	12	0,288	-0,560	193,90	177,50	145,71	209,95
170,30	195,10	13	0,313	-0,488	195,10	184,29	152,02	217,74
160,30	205,70	14	0,338	-0,419	205,70	191,09	158,32	225,61
301,10	208,00	15	0,363	-0,351	208,00	197,94	164,64	233,61
312,90	213,90	16	0,388	-0,285	213,90	204,86	170,99	241,78
227,70	221,60	17	0,413	-0,221	221,60	211,89	177,40	250,16
224,90	222,80	18	0,438	-0,157	222,80	219,05	183,89	258,79
354,70	224,90	19	0,463	-0,094	224,90	226,37	190,48	267,71
403,20	227,70	20	0,488	-0,031	227,70	233,89	197,20	276,96
205,70	237,80	21	0,513	0,031	237,80	241,64	204,07	286,61
297,00	263,20	22	0,538	0,094	263,20	249,67	211,12	296,72
193,90	283,60	23	0,563	0,157	283,60	258,02	218,40	307,35
165,80	293,60	24	0,588	0,221	293,60	266,74	225,93	318,60
263,20	297,00	25	0,613	0,285	297,00	275,89	233,76	330,54
524,50	299,50	26	0,638	0,351	299,50	285,54	241,93	343,29
125,60	301,10	27	0,663	0,419	301,10	295,77	250,52	356,99
293,60	308,10	28	0,688	0,488	308,10	306,69	259,58	371,79
148,40	312,90	29	0,713	0,560	312,90	318,42	269,20	387,90
192,80	329,60	30	0,738	0,635	329,60	331,12	279,51	405,59
222,80	354,70	31	0,763	0,714	354,70	345,00	290,65	425,20
221,60	362,00	32	0,788	0,798	362,00	360,35	302,82	447,20
362,00	384,20	33	0,813	0,887	384,20	377,56	316,28	472,24
491,00	384,40	34	0,838	0,984	384,40	397,18	331,43	501,28
384,40	403,20	35	0,863	1,092	403,20	420,08	348,86	535,75
308,10	422,20	36	0,888	1,213	422,20	447,62	369,50	578,03
213,90	468,80	37	0,913	1,357	468,80	482,30	395,04	632,41
299,50	491,00	38	0,938	1,534	491,00	529,18	428,88	707,86
468,80	524,50	39	0,963	1,781	524,50	601,74	479,94	828,60
422,20	552,10	40	0,988	2,242	552,10	765,27	590,50	1115,95
295,60	552,10	41	0,988	2,251	552,10	763,77	592,15	1104,35

fréquence	U de Gaus	Valeur théorique	Borne inf	Borne sup	Valeur	Fréqthéo	Pér.Ret
0,8	0,841	368,69	309,37	459,29	368,69	0,800	5
0,9	1,282	463,84	381,50	603,31	463,84	0,900	10
0,95	1,645	560,65	451,20	759,66	560,65	0,950	20
0,98	2,054	693,93	542,94	988,17	693,93	0,980	50
0,99	2,327	799,92	613,29	1179,28	799,92	0,990	99,9
0,999	3,091	1191,28	859,24	1943,36	1191,28	0,999	820

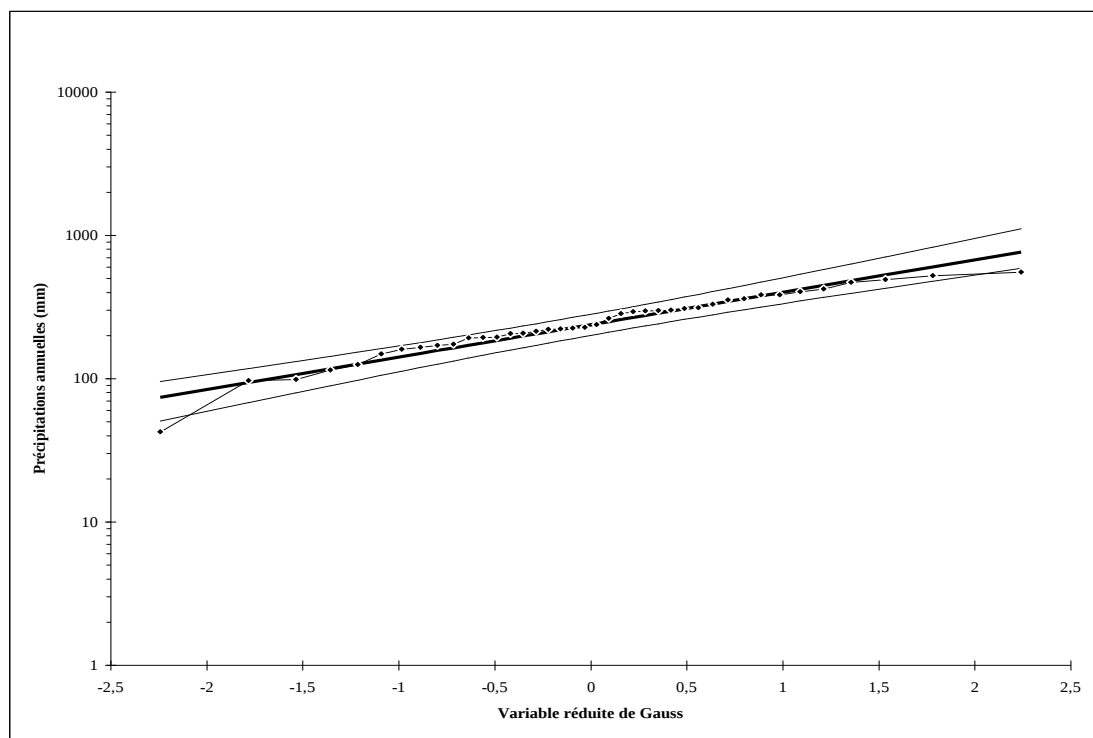


Figure (III.2) :*Ajustement précipitations annuelles à la loi Log normale (Takout)*

Tableau (III.3) : précipitation annuelles et leurs fréquences expérimentales station de Tifelfel

Taille $n=40$ Moy. $\log(x-x_0)=2.066$ et $\log(x-x_0)=0.263$.IC. à (en 95%).U Gauss=1.96

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
89,87	26,40	1	0,013	-2,242	26,40	30,01	19,37	40,55
83,40	34,20	2	0,038	-1,781	34,20	39,67	27,36	51,59
26,40	34,60	3	0,063	-1,534	34,60	46,06	32,85	58,79
62,50	61,50	4	0,088	-1,357	61,50	51,30	37,45	64,67
179,80	61,90	5	0,113	-1,213	61,90	55,94	41,57	69,89
216,90	62,50	6	0,138	-1,092	62,50	60,22	45,40	74,72
279,90	69,00	7	0,163	-0,984	69,00	64,27	49,05	79,30
195,00	74,00	8	0,188	-0,887	74,00	68,16	52,57	83,73
82,40	81,30	9	0,213	-0,798	81,30	71,96	56,00	88,06
202,90	82,40	10	0,238	-0,714	82,40	75,69	59,38	92,36
164,20	83,40	11	0,263	-0,635	83,40	79,39	62,73	96,64
61,90	89,40	12	0,288	-0,560	89,40	83,07	66,06	100,96
135,00	89,50	13	0,313	-0,488	89,50	86,77	69,39	105,32
69,00	89,87	14	0,338	-0,419	89,87	90,50	72,75	109,75
164,50	90,50	15	0,363	-0,351	90,50	94,28	76,13	114,28
93,40	92,00	16	0,388	-0,285	92,00	98,12	79,55	118,94
92,00	93,40	17	0,413	-0,221	93,40	102,04	83,02	123,74
132,30	96,00	18	0,438	-0,157	96,00	106,06	86,56	128,71
152,90	108,10	19	0,463	-0,094	108,10	110,18	90,17	133,87
259,50	109,90	20	0,488	-0,031	109,90	114,44	93,87	139,26
89,50	124,00	21	0,513	0,031	124,00	118,86	97,68	144,91
169,50	128,00	22	0,538	0,094	128,00	123,46	101,61	150,86
90,50	132,30	23	0,563	0,157	132,30	128,26	105,69	157,16
61,50	135,00	24	0,588	0,221	135,00	133,31	109,93	163,85
174,50	152,00	25	0,613	0,285	152,00	138,63	114,37	171,00
368,80	152,90	26	0,638	0,351	152,90	144,28	119,03	178,69
74,00	164,20	27	0,663	0,419	164,20	150,30	123,94	186,99
109,90	164,50	28	0,688	0,488	164,50	156,76	129,16	196,02
34,20	168,50	29	0,713	0,560	168,50	163,74	134,74	205,92
128,00	169,50	30	0,738	0,635	169,50	171,35	140,75	216,86
96,00	174,50	31	0,763	0,714	174,50	179,72	147,28	229,09
152,00	179,80	32	0,788	0,798	179,80	189,04	154,47	242,91
168,50	195,00	33	0,813	0,887	195,00	199,56	162,47	258,77
34,60	202,90	34	0,838	0,984	202,90	211,65	171,54	277,34
89,40	216,90	35	0,863	1,092	216,90	225,89	182,06	299,60
285,80	259,50	36	0,888	1,213	259,50	243,18	194,63	327,23
81,30	279,90	37	0,913	1,357	279,90	265,18	210,33	363,24
108,10	285,80	38	0,938	1,534	285,80	295,34	231,39	414,03
332,10	332,10	39	0,963	1,781	332,10	342,87	263,68	497,11
124,00	368,80	40	0,988	2,242	368,80	453,27	335,44	702,41
46,10	368,80	41	0,988	2,251	368,80	455,53	336,20	707,39

fréquence	U de Gaus	Valeur théorique	Borne inf	Borne sup	Valeur	Fréqthéo	Pér.Ret
0,8	0,841	194,13	158,35	250,55	194,13	0,800	5,0
0,9	1,282	253,44	201,99	343,91	253,44	0,900	10,0
0,95	1,645	315,83	245,43	449,41	315,83	0,950	20,1
0,98	2,054	404,58	304,28	609,91	404,58	0,980	50,5
0,99	2,327	477,19	350,52	748,91	477,19	0,990	99,9
0,999	3,091	757,76	518,52	1337,60	757,76	0,999	820,3

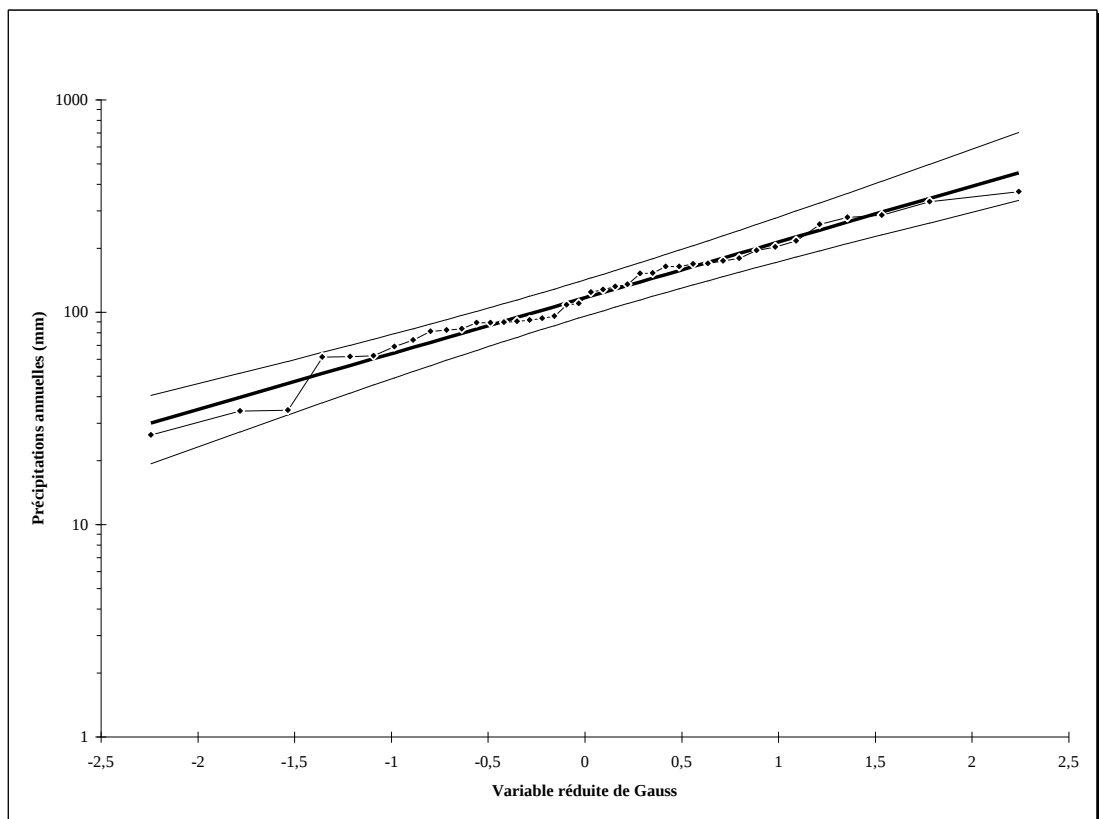


Figure (III.3) : Ajustement précipitations annuelles à la loi Log normale (Tefefel)

Tableau (III.4) : précipitation annuelles et leurs fréquences expérimentales station de T.Abed

Taille $n=40$ Moy. $\log(x-x_0)=2.333$ E.T. $\log(x-x_0)=0.215$.I.C. à (en 95%).U Gauss=1.96

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
88,50	85,60	1	0,013	-2,242	85,60	70,90	49,53	90,71
297,00	86,70	2	0,038	-1,781	86,70	89,10	65,74	110,47
100,20	88,50	3	0,063	-1,534	88,50	100,68	76,35	122,94
86,70	100,20	4	0,088	-1,357	100,20	109,96	84,99	132,93
164,20	116,10	5	0,113	-1,213	116,10	118,04	92,57	141,65
391,10	117,40	6	0,138	-1,092	117,40	125,39	99,50	149,61
477,60	125,50	7	0,163	-0,984	125,50	132,25	106,00	157,08
299,90	134,40	8	0,188	-0,887	134,40	138,78	112,18	164,22
279,60	147,10	9	0,213	-0,798	147,10	145,07	118,15	171,16
387,20	149,80	10	0,238	-0,714	149,80	151,20	123,95	177,96
307,40	149,90	11	0,263	-0,635	149,90	157,22	129,64	184,70
321,00	152,20	12	0,288	-0,560	152,20	163,18	135,26	191,41
273,00	161,30	13	0,313	-0,488	161,30	169,10	140,83	198,16
161,30	164,20	14	0,338	-0,419	164,20	175,03	146,37	204,96
233,90	187,40	15	0,363	-0,351	187,40	180,99	151,91	211,87
420,50	193,30	16	0,388	-0,285	193,30	187,00	157,48	218,91
193,30	202,90	17	0,413	-0,221	202,90	193,10	163,09	226,11
203,10	203,10	18	0,438	-0,157	203,10	199,29	168,75	233,52
426,00	208,50	19	0,463	-0,094	208,50	205,62	174,50	241,16
408,00	216,00	20	0,488	-0,031	216,00	212,11	180,35	249,08
239,70	216,50	21	0,513	0,031	216,50	218,79	186,31	257,32
378,10	220,80	22	0,538	0,094	220,80	225,69	192,43	265,94
152,20	233,90	23	0,563	0,157	233,90	232,86	198,73	275,00
149,80	239,70	24	0,588	0,221	239,70	240,33	205,24	284,55
216,00	273,00	25	0,613	0,285	273,00	248,17	212,00	294,69
498,70	275,00	26	0,638	0,351	275,00	256,41	219,04	305,48
117,40	279,60	27	0,663	0,419	279,60	265,14	226,42	317,06
321,60	297,00	28	0,688	0,488	297,00	274,43	234,20	329,54
134,40	299,90	29	0,713	0,560	299,90	284,40	242,45	343,10
187,40	307,40	30	0,738	0,635	307,40	295,17	251,26	357,96
147,10	321,00	31	0,763	0,714	321,00	306,93	260,77	374,39
85,60	321,60	32	0,788	0,798	321,60	319,90	271,14	392,79
220,80	378,10	33	0,813	0,887	378,10	334,40	282,59	413,67
208,50	387,20	34	0,838	0,984	387,20	350,90	295,44	437,81
216,50	391,10	35	0,863	1,092	391,10	370,11	310,19	466,39
275,00	408,00	36	0,888	1,213	408,00	393,14	327,62	501,31
202,90	420,50	37	0,913	1,357	420,50	422,04	349,10	546,05
116,10	426,00	38	0,938	1,534	426,00	460,95	377,47	607,81
149,90	477,60	39	0,963	1,781	477,60	520,85	420,08	705,97
125,50	498,70	40	0,988	2,242	498,70	654,57	511,59	936,93
293.90	498.70	41	0.988	2.251	498.70	656.97	556.34	811.74

fréquence	U de Gaus	Valeur théorique	Borne inf	Borne sup	Valeur	Fréqthéo	Pér.Ret
0,8	0,841	326,93	276,71	402,88	326,93	0,800	5,0
0,9	1,282	406,68	337,72	522,14	406,68	0,900	10,0
0,95	1,645	486,97	396,13	650,01	486,97	0,950	20,1
0,98	2,054	596,43	472,34	834,64	596,43	0,980	50,5
0,99	2,327	682,73	530,34	987,41	682,73	0,990	99,9
0,999	3,091	996,96	730,77	1587,56	996,96	0,999	820,3

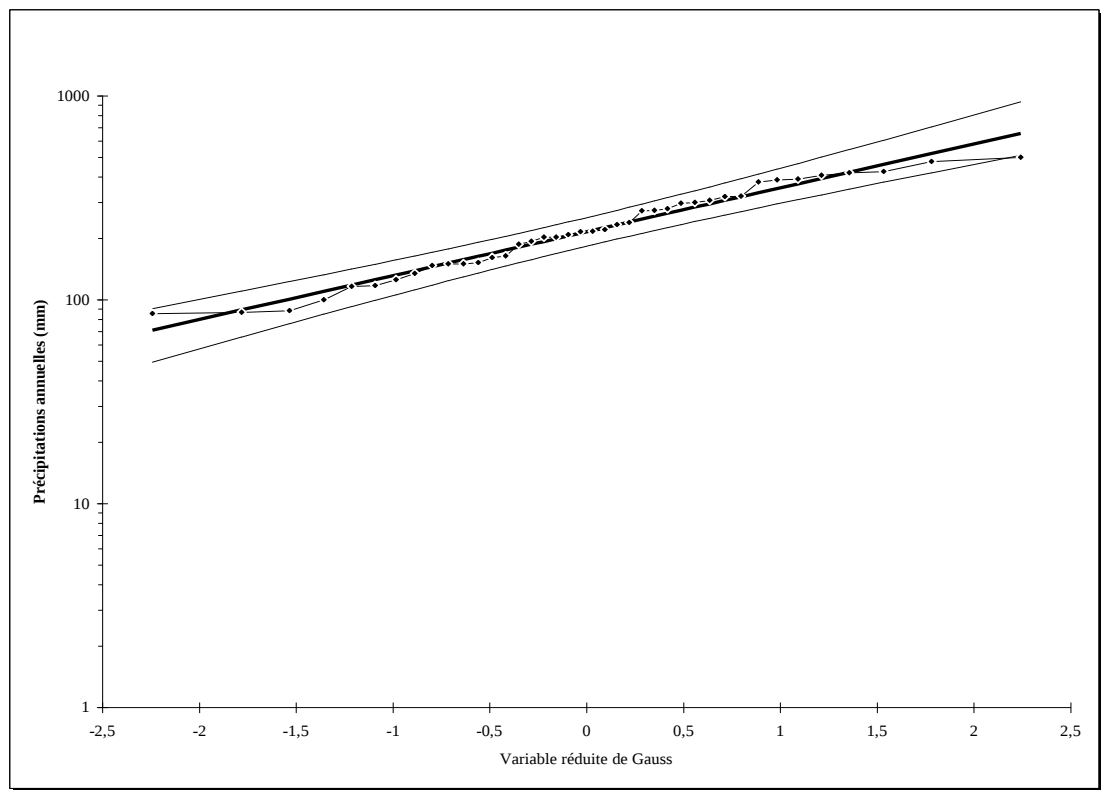


Figure (III.4) : Ajustement précipitations annuelles à la loi Log normale (Te.El Abed)

Tableau (III.5) : précipitation annuelles et leurs fréquences expérimentales station de Menna

Taille $n=40$ Moy. $\log(x-x_0)=2.31$ et $\log(x-x_0)=0.181$.IC. à (en 95%).U Gauss=1.96

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
170,50	84,70	1	0,013	-2,242	84,70	81,90	60,61	100,73
351,40	102,40	2	0,038	-1,781	102,40	99,22	76,87	118,85
291,00	116,80	3	0,063	-1,534	116,80	109,94	87,16	130,02
136,00	122,90	4	0,088	-1,357	122,90	118,39	95,37	138,83
244,50	123,10	5	0,113	-1,213	123,10	125,65	102,46	146,44
224,10	132,80	6	0,138	-1,092	132,80	132,19	108,86	153,31
431,80	133,90	7	0,163	-0,984	133,90	138,23	114,80	159,71
141,80	136,00	8	0,188	-0,887	136,00	143,94	120,40	165,79
139,10	136,10	9	0,213	-0,798	136,10	149,40	125,75	171,65
232,30	139,10	10	0,238	-0,714	139,10	154,68	130,91	177,36
249,30	141,80	11	0,263	-0,635	141,80	159,83	135,94	182,97
201,70	142,90	12	0,288	-0,560	142,90	164,90	140,87	188,55
204,00	165,70	13	0,313	-0,488	165,70	169,91	145,72	194,11
142,90	170,50	14	0,338	-0,419	170,50	174,90	150,52	199,69
303,40	190,10	15	0,363	-0,351	190,10	179,89	155,29	205,32
235,70	191,70	16	0,388	-0,285	191,70	184,89	160,06	211,03
211,00	201,70	17	0,413	-0,221	201,70	189,93	164,83	216,85
191,70	204,00	18	0,438	-0,157	204,00	195,04	169,62	222,80
266,00	211,00	19	0,463	-0,094	211,00	200,23	174,46	228,90
217,80	217,80	20	0,488	-0,031	217,80	205,52	179,35	235,20
132,80	220,30	21	0,513	0,031	220,30	210,93	184,32	241,71
315,30	221,30	22	0,538	0,094	221,30	216,51	189,39	248,49
84,70	224,10	23	0,563	0,157	224,10	222,27	194,58	255,58
123,10	232,30	24	0,588	0,221	232,30	228,24	199,91	263,01
190,10	235,70	25	0,613	0,285	235,70	234,47	205,42	270,85
502,70	244,50	26	0,638	0,351	244,50	240,99	211,14	279,16
122,90	249,30	27	0,663	0,419	249,30	247,86	217,09	288,01
274,30	266,00	28	0,688	0,488	266,00	255,13	223,34	297,50
102,40	274,30	29	0,713	0,560	274,30	262,89	229,92	307,74
133,90	291,00	30	0,738	0,635	291,00	271,23	236,92	318,89
136,10	294,30	31	0,763	0,714	294,30	280,26	244,43	331,14
165,70	303,40	32	0,788	0,798	303,40	290,17	252,56	344,74
337,20	304,60	33	0,813	0,887	304,60	301,18	261,48	360,07
294,30	315,30	34	0,838	0,984	315,30	313,61	271,43	377,63
220,30	323,10	35	0,863	1,092	323,10	327,95	282,76	398,21
323,10	337,20	36	0,888	1,213	337,20	345,01	296,04	423,10
221,30	351,40	37	0,913	1,357	351,40	366,17	312,25	454,58
116,80	359,80	38	0,938	1,534	359,80	394,31	333,42	497,36
304,60	431,80	39	0,963	1,781	431,80	436,90	364,74	563,97
359,80	502,70	40	0,988	2,242	502,70	529,30	430,37	715,24
185,80	502,70	41	0,988	2,251	502,70	524,17	427,93	703,27

fréquence	U de Gaus	Valeur théorique	Borne inf	Borne sup	Valeur	Fréqthéo	Pér.Ret
0,8	0,841	295,52	256,91	352,16	295,52	0,800	5,0
0,9	1,282	354,95	303,69	437,81	354,95	0,900	10,0
0,95	1,645	412,92	347,20	526,20	412,92	0,950	20,1
0,98	2,054	489,53	402,47	649,09	489,53	0,980	50,5
0,99	2,327	548,34	443,57	747,46	548,34	0,990	99,9
0,999	3,091	753,52	580,56	1113,57	753,52	0,999	820,3

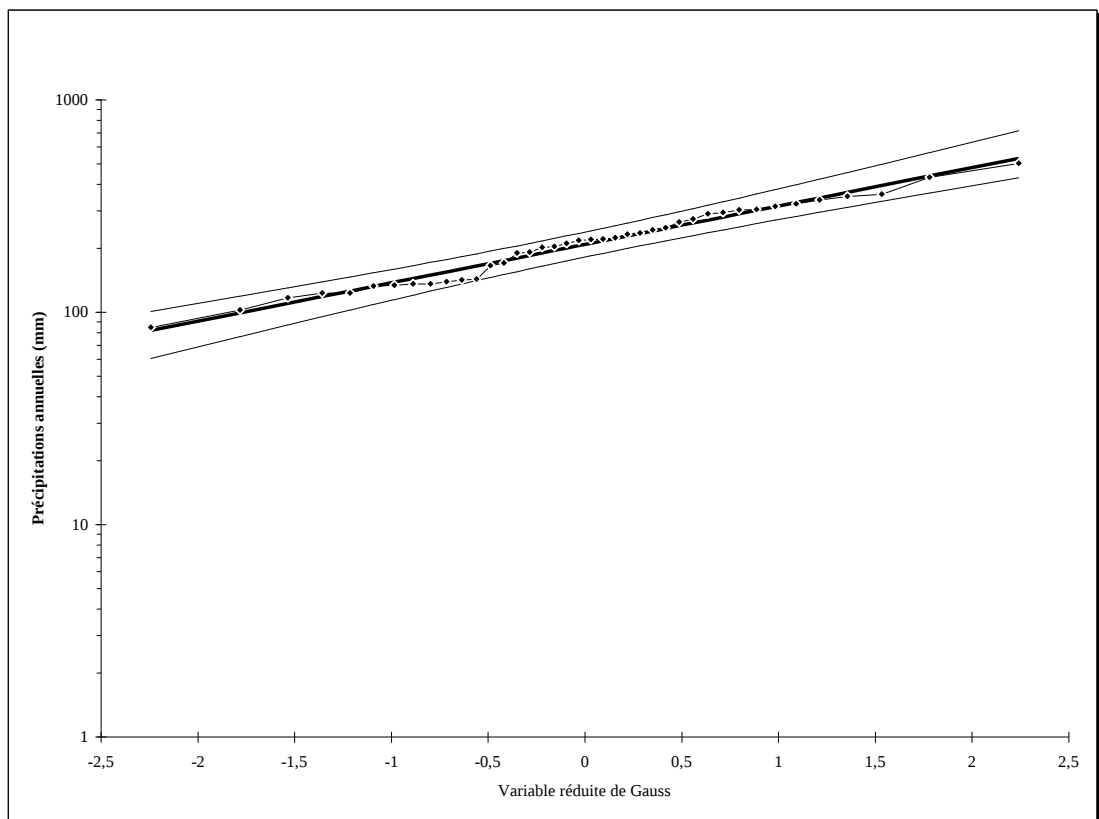


Figure (III.5) : Ajustement précipitations annuelles à la loi Log normale (Mena)

Tableau (III.6) : précipitation annuelles et leurs fréquences expérimentales station de Biskra

Taille $n=40$ Moy. $\log(x-x_0)=2.021$ et $\log(x-x_0)=0.258$.IC. à (en 95%).U Gauss=1.96

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
149,77	20,30	1	0,013	-2,242	20,30	27,62	17,96	37,14
69,45	24,30	2	0,038	-1,781	24,30	36,34	25,23	47,05
47,98	47,98	3	0,063	-1,534	47,98	42,09	30,20	53,49
50,30	48,00	4	0,088	-1,357	48,00	46,79	34,34	58,75
114,60	48,40	5	0,113	-1,213	48,40	50,94	38,05	63,41
133,20	50,30	6	0,138	-1,092	50,30	54,77	41,50	67,71
239,00	57,10	7	0,163	-0,984	57,10	58,39	44,77	71,79
48,00	61,40	8	0,188	-0,887	61,40	61,87	47,92	75,72
48,40	63,60	9	0,213	-0,798	63,60	65,25	51,00	79,58
115,80	69,45	10	0,238	-0,714	69,45	68,57	54,02	83,39
110,20	72,80	11	0,263	-0,635	72,80	71,86	57,01	87,19
20,30	78,90	12	0,288	-0,560	78,90	75,14	59,99	91,01
137,70	79,00	13	0,313	-0,488	79,00	78,43	62,96	94,88
24,30	106,30	14	0,338	-0,419	106,30	81,74	65,95	98,80
123,60	110,20	15	0,363	-0,351	110,20	85,10	68,96	102,81
110,70	110,70	16	0,388	-0,285	110,70	88,50	72,01	106,92
115,10	114,60	17	0,413	-0,221	114,60	91,97	75,10	111,16
79,00	115,10	18	0,438	-0,157	115,10	95,53	78,24	115,55
72,80	115,80	19	0,463	-0,094	115,80	99,18	81,45	120,10
121,70	119,70	20	0,488	-0,031	119,70	102,95	84,73	124,85
143,00	121,70	21	0,513	0,031	121,70	106,85	88,11	129,83
119,70	123,60	22	0,538	0,094	123,60	110,91	91,59	135,07
153,60	124,50	23	0,563	0,157	124,50	115,16	95,21	140,61
63,60	128,80	24	0,588	0,221	128,80	119,61	98,96	146,49
106,30	131,00	25	0,613	0,285	131,00	124,30	102,88	152,78
199,00	133,20	26	0,638	0,351	133,20	129,28	107,00	159,52
137,40	137,40	27	0,663	0,419	137,40	134,58	111,34	166,80
158,80	137,70	28	0,688	0,488	137,70	140,26	115,95	174,72
239,20	139,50	29	0,713	0,560	139,50	146,40	120,87	183,38
128,80	143,00	30	0,738	0,635	143,00	153,08	126,17	192,96
78,90	146,60	31	0,763	0,714	146,60	160,43	131,92	203,64
57,10	149,77	32	0,788	0,798	149,77	168,60	138,24	215,71
131,00	153,60	33	0,813	0,887	153,60	177,82	145,28	229,55
252,20	158,80	34	0,838	0,984	158,80	188,40	153,25	245,72
124,50	193,10	35	0,863	1,092	193,10	200,84	162,48	265,10
139,50	199,00	36	0,888	1,213	199,00	215,94	173,49	289,11
146,60	239,00	37	0,913	1,357	239,00	235,14	187,24	320,35
61,40	239,20	38	0,938	1,534	239,20	261,39	205,65	364,32
310,30	252,20	39	0,963	1,781	252,20	302,68	233,83	436,05
193,10	310,30	40	0,988	2,242	310,30	398,23	296,24	612,49
182,50	310,30	41	0,988	2,251	310,30	400,95	299,84	610,87

fréquence	U de Gaus	Valeur théorique	Borne inf	Borne sup	Valeur	Fréqthéo	Pér.Ret
0,8	0,841	173,06	141,66	222,38	173,06	0,800	5,0
0,9	1,282	224,90	179,94	303,58	224,90	0,900	10,0
0,95	1,645	279,21	217,91	394,90	279,21	0,950	20,1
0,98	2,054	356,15	269,16	533,12	356,15	0,980	50,5
0,99	2,327	418,87	309,32	652,32	418,87	0,990	99,9
0,999	3,091	659,89	454,50	1153,53	659,89	0,999	820,3

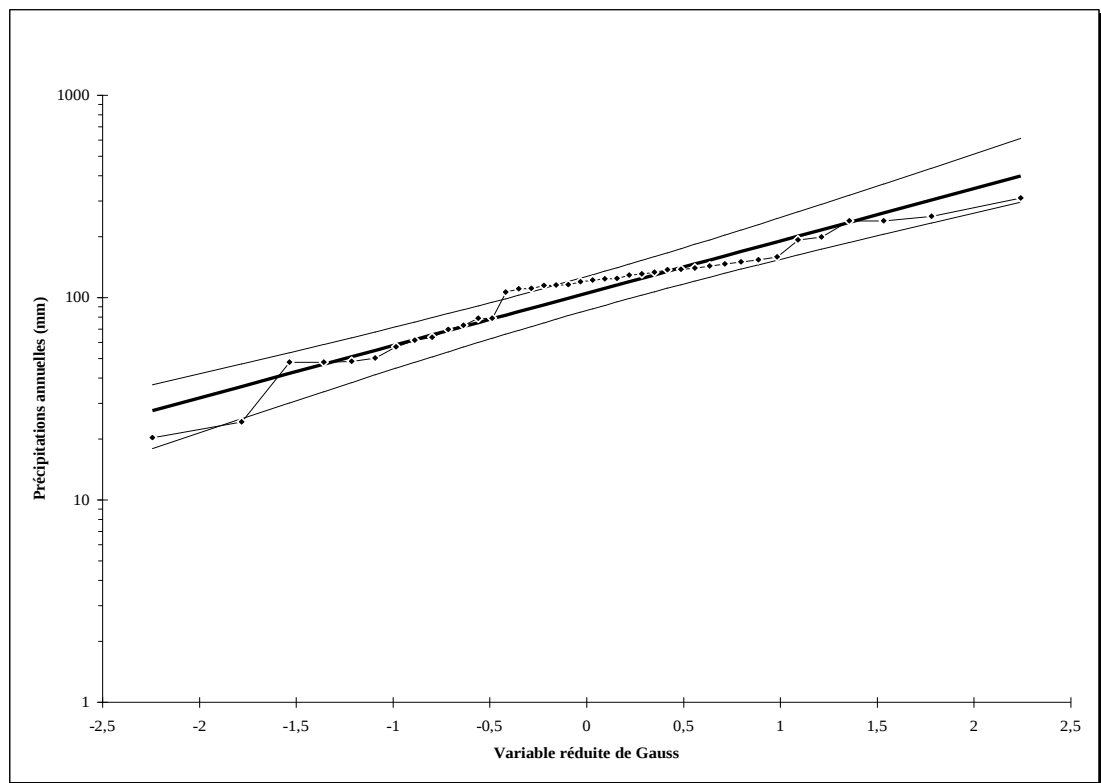


Figure (III.6) : Ajustement précipitations annuelles à la loi Log normale (Biskra)

Tableau (III.7) : précipitation annuelles et leurs fréquences expérimentales station de Babar

Taille $n=40$ Moy. $\log(x-x_0)=2.477$ E.T. $\log(x-x_0)=0.258$.IC. à (en 95%).U Gauss=1.96

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
128,00	128,00	1	0,013	-2,242	128,00	122,27	91,53	149,19
299,60	129,70	2	0,038	-1,781	129,70	147,05	115,03	174,93
291,80	160,30	3	0,063	-1,534	160,30	162,30	129,81	190,71
160,30	164,40	4	0,088	-1,357	164,40	174,27	141,55	203,13
205,10	181,20	5	0,113	-1,213	181,20	184,55	151,66	213,82
397,10	183,20	6	0,138	-1,092	183,20	193,77	160,77	223,47
410,80	190,50	7	0,163	-0,984	190,50	202,29	169,19	232,43
264,20	195,40	8	0,188	-0,887	195,40	210,31	177,12	240,93
292,00	205,10	9	0,213	-0,798	205,10	217,98	184,68	249,11
350,50	230,50	10	0,238	-0,714	230,50	225,38	191,97	257,08
239,80	239,80	11	0,263	-0,635	239,80	232,60	199,06	264,91
248,10	248,10	12	0,288	-0,560	248,10	239,69	205,99	272,66
181,20	253,50	13	0,313	-0,488	253,50	246,70	212,81	280,39
230,50	264,20	14	0,338	-0,419	264,20	253,66	219,55	288,14
195,40	265,20	15	0,363	-0,351	265,20	260,61	226,24	295,96
331,90	286,30	16	0,388	-0,285	286,30	267,57	232,91	303,87
347,90	291,80	17	0,413	-0,221	291,80	274,59	239,59	311,92
331,40	292,00	18	0,438	-0,157	292,00	281,69	246,29	320,15
286,30	297,30	19	0,463	-0,094	297,30	288,89	253,04	328,58
507,90	299,60	20	0,488	-0,031	299,60	296,23	259,86	337,27
402,30	317,70	21	0,513	0,031	317,70	303,74	266,78	346,25
297,30	328,00	22	0,538	0,094	328,00	311,45	273,83	355,58
253,50	331,40	23	0,563	0,157	331,40	319,41	281,05	365,33
190,50	331,90	24	0,588	0,221	331,90	327,67	288,46	375,55
328,00	347,90	25	0,613	0,285	347,90	336,26	296,10	386,31
472,10	350,50	26	0,638	0,351	350,50	345,26	304,02	397,70
183,20	392,00	27	0,663	0,419	392,00	354,72	312,26	409,82
415,80	397,10	28	0,688	0,488	397,10	364,72	320,89	422,80
164,40	402,30	29	0,713	0,560	402,30	375,38	329,99	436,79
265,20	407,00	30	0,738	0,635	407,00	386,82	339,65	452,00
129,70	410,80	31	0,763	0,714	410,80	399,21	349,99	468,69
317,70	414,00	32	0,788	0,798	414,00	412,78	361,18	487,20
414,00	415,80	33	0,813	0,887	415,80	427,83	373,45	508,01
531,00	420,50	34	0,838	0,984	420,50	444,80	387,11	531,81
451,50	450,00	35	0,863	1,092	450,00	464,35	402,64	559,67
392,00	451,50	36	0,888	1,213	451,50	487,55	420,80	593,27
450,00	472,10	37	0,913	1,357	472,10	516,29	442,95	635,67
407,00	507,90	38	0,938	1,534	507,90	554,39	471,80	693,11
752,00	531,00	39	0,963	1,781	531,00	611,87	514,35	782,18
420,50	752,00	40	0,988	2,242	752,00	735,87	603,08	983,02

fréquence	U de Gaus	Valeur théorique	Borne inf	Borne sup	Valeur	Fréqthéo	Pér.Ret
0,8	0,841	420,09	367,16	497,28	420,09	0,800	5,0
0,9	1,282	501,06	431,26	613,09	501,06	0,900	10,0
0,95	1,645	579,53	490,54	731,72	579,53	0,950	20,1
0,98	2,054	682,62	565,42	895,41	682,62	0,980	50,5
0,99	2,327	761,32	620,86	1025,57	761,32	0,990	99,9
0,999	3,091	1033,57	804,29	1504,84	1033,57	0,999	820,3

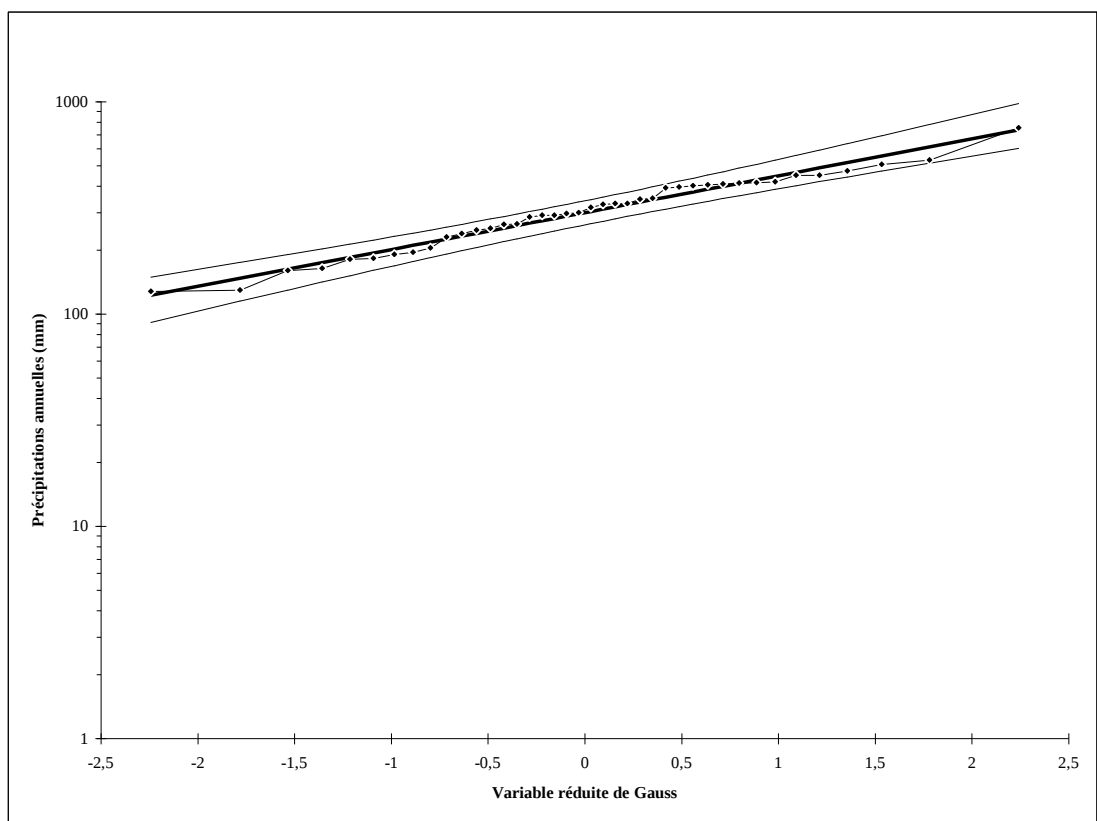


Figure (III.7) : Ajustement précipitations annuelles à la loi Log normale (Babar)

Tableau (III.8): précipitation annuelles et leurs fréquences expérimentales station de Khairane

Taille $n=40$ Moy. $\log(x-x_0)=2.275$ E.T. $\log(x-x_0)=0.196$.IC. à (en 95%).U Gauss=1.96

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
48,30	48,30	1	0,013	-2,242	48,30	68,59	49,52	85,80
119,80	103,00	2	0,038	-1,781	103,00	84,41	64,04	102,62
327,00	109,70	3	0,063	-1,534	109,70	94,32	73,37	113,08
195,90	117,50	4	0,088	-1,357	117,50	102,18	80,87	121,40
129,20	117,60	5	0,113	-1,213	117,60	108,98	87,39	128,61
286,90	119,80	6	0,138	-1,092	119,80	115,13	93,32	135,16
259,40	129,20	7	0,163	-0,984	129,20	120,83	98,83	141,27
293,40	129,30	8	0,188	-0,887	129,30	126,24	104,06	147,10
230,70	131,90	9	0,213	-0,798	131,90	131,43	109,07	152,73
235,30	133,30	10	0,238	-0,714	133,30	136,46	113,93	158,23
218,60	138,50	11	0,263	-0,635	138,50	141,39	118,67	163,66
225,50	138,90	12	0,288	-0,560	138,90	146,24	123,33	169,06
214,70	142,50	13	0,313	-0,488	142,50	151,06	127,93	174,46
149,00	145,50	14	0,338	-0,419	145,50	155,86	132,50	179,89
346,80	149,00	15	0,363	-0,351	149,00	160,67	137,05	185,39
250,10	150,50	16	0,388	-0,285	150,50	165,52	141,60	190,98
129,30	162,50	17	0,413	-0,221	162,50	170,41	146,17	196,68
162,50	162,50	18	0,438	-0,157	162,50	175,37	150,78	202,52
117,60	174,50	19	0,463	-0,094	174,50	180,42	155,43	208,53
381,60	181,60	20	0,488	-0,031	181,60	185,58	160,16	214,74
145,50	195,90	21	0,513	0,031	195,90	190,88	164,96	221,19
260,60	205,60	22	0,538	0,094	205,60	196,34	169,88	227,91
138,50	214,70	23	0,563	0,157	214,70	202,00	174,92	234,94
103,00	218,60	24	0,588	0,221	218,60	207,88	180,11	242,35
162,50	224,00	25	0,613	0,285	224,00	214,02	185,49	250,17
294,80	225,50	26	0,638	0,351	225,50	220,47	191,08	258,48
133,30	230,70	27	0,663	0,419	230,70	227,28	196,92	267,36
174,50	235,30	28	0,688	0,488	235,30	234,50	203,05	276,91
109,70	250,10	29	0,713	0,560	250,10	242,23	209,54	287,24
224,00	259,40	30	0,738	0,635	259,40	250,55	216,45	298,51
117,50	260,60	31	0,763	0,714	260,60	259,59	223,88	310,94
205,60	286,90	32	0,788	0,798	286,90	269,54	231,95	324,78
290,70	290,70	33	0,813	0,887	290,70	280,61	240,82	340,43
414,60	293,40	34	0,838	0,984	293,40	293,16	250,75	358,42
138,90	294,80	35	0,863	1,092	294,80	307,70	262,10	379,61
131,90	327,00	36	0,888	1,213	327,00	325,05	275,44	405,34
181,60	346,80	37	0,913	1,357	346,80	346,68	291,80	438,07
150,50	381,60	38	0,938	1,534	381,60	375,59	313,26	482,84
429,90	414,60	39	0,963	1,781	414,60	419,66	345,21	553,17
142,50	429,90	40	0,988	2,242	429,90	516,47	412,88	715,33

fréquence	U de Gaus	Valeur théorique	Borne inf	Borne sup	Valeur	Fréqthéo	Pér.Ret
0,8	0,841	274,92	236,27	332,35	274,92	0,800	5,0
0,9	1,282	335,19	283,15	420,61	335,19	0,900	10,0
0,95	1,645	394,80	327,29	513,20	394,80	0,950	20,1
0,98	2,054	474,62	384,00	644,03	474,62	0,980	50,5
0,99	2,327	536,61	426,60	750,26	536,61	0,990	99,9
0,999	3,091	756,84	570,80	1154,85	756,84	0,999	820,3

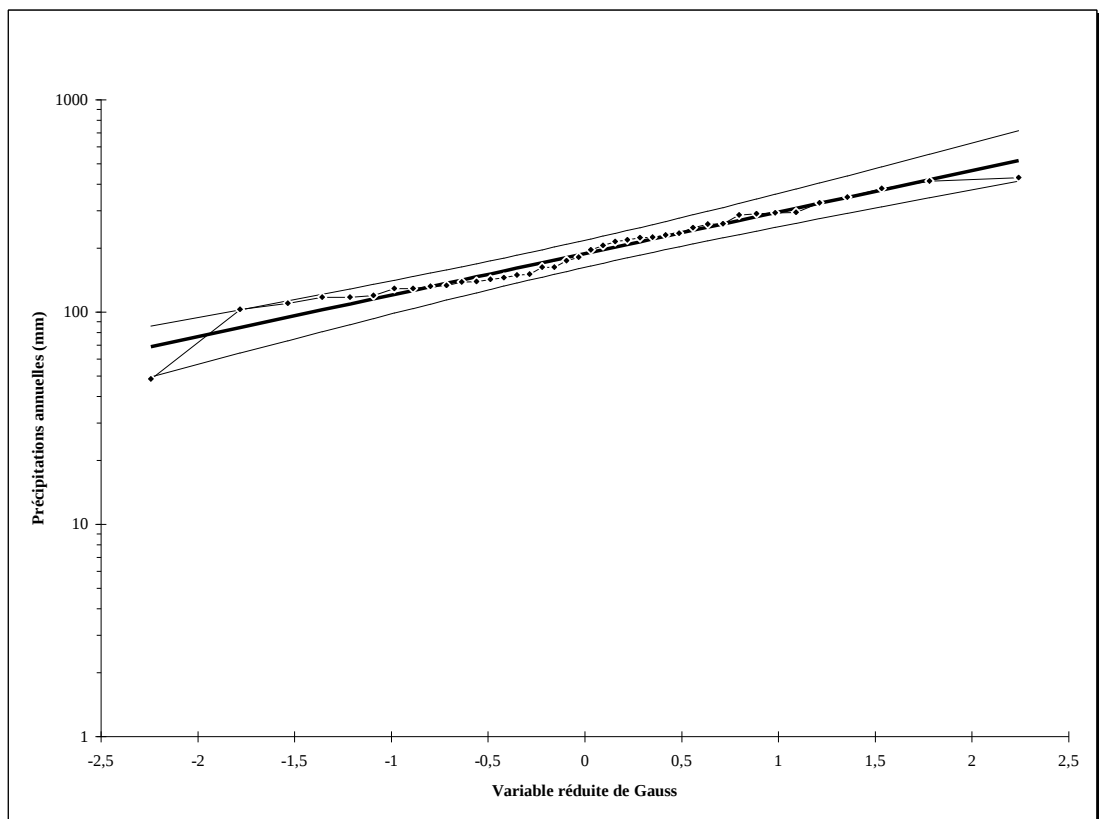


Figure (III.8) : Ajustement précipitations annuelles à la loi Log normale (Kheirane)

Tableau (III.9) : précipitation annuelles et leurs fréquences expérimentales station de K.S.Nadji

Taille n=40 Moy.log(x-x₀)=1,648 E.T.log(x-x₀)=0.351.IC. à (en 95%).U Gauss=1.96

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
42,80	7,80	1	0,013	-2,242	7,80	7,27	4,05	10,86
59,00	9,80	2	0,038	-1,781	9,80	10,55	6,42	14,98
25,00	10,30	3	0,063	-1,534	10,30	12,88	8,20	17,84
40,90	11,90	4	0,088	-1,357	11,90	14,87	9,77	20,26
44,10	12,40	5	0,113	-1,213	12,40	16,69	11,23	22,48
82,10	12,40	6	0,138	-1,092	12,40	18,42	12,63	24,57
75,90	20,29	7	0,163	-0,984	20,29	20,09	14,00	26,61
33,40	25,00	8	0,188	-0,887	25,00	21,74	15,36	28,61
108,40	25,80	9	0,213	-0,798	25,80	23,37	16,72	30,61
75,00	25,90	10	0,238	-0,714	25,90	25,00	18,08	32,61
68,00	27,90	11	0,263	-0,635	27,90	26,64	19,45	34,65
27,90	32,40	12	0,288	-0,560	32,40	28,31	20,84	36,73
40,68	33,40	13	0,313	-0,488	33,40	30,01	22,26	38,87
20,29	39,13	14	0,338	-0,419	39,13	31,74	23,71	41,07
46,70	40,30	15	0,363	-0,351	40,30	33,53	25,19	43,35
10,30	40,68	16	0,388	-0,285	40,68	35,36	26,72	45,73
11,90	40,90	17	0,413	-0,221	40,90	37,26	28,29	48,21
25,80	42,80	18	0,438	-0,157	42,80	39,23	29,91	50,81
32,40	44,10	19	0,463	-0,094	44,10	41,29	31,59	53,55
12,40	46,70	20	0,488	-0,031	46,70	43,43	33,33	56,45
64,46	51,00	21	0,513	0,031	51,00	45,68	35,15	59,53
39,13	51,10	22	0,538	0,094	51,10	48,06	37,05	62,82
63,11	53,10	23	0,563	0,157	53,10	50,57	39,05	66,34
9,80	58,80	24	0,588	0,221	58,80	53,25	41,16	70,15
12,40	59,00	25	0,613	0,285	59,00	56,11	43,39	74,27
25,90	63,11	26	0,638	0,351	63,11	59,18	45,77	78,76
7,80	64,46	27	0,663	0,419	64,46	62,51	48,31	83,68
40,30	68,00	28	0,688	0,488	68,00	66,12	51,05	89,13
53,10	75,00	29	0,713	0,560	75,00	70,08	54,02	95,19
80,10	75,90	30	0,738	0,635	75,90	74,47	57,26	102,00
75,90	75,90	31	0,763	0,714	75,90	79,37	60,84	109,76
51,10	80,10	32	0,788	0,798	80,10	84,91	64,83	118,69
198,10	82,10	33	0,813	0,887	82,10	91,28	69,36	129,16
109,10	101,50	34	0,838	0,984	101,50	98,74	74,58	141,68
109,50	108,40	35	0,863	1,092	108,40	107,71	80,75	157,08
126,40	109,10	36	0,888	1,213	109,10	118,87	88,28	176,72
58,80	109,50	37	0,913	1,357	109,50	133,45	97,92	203,17
51,00	126,40	38	0,938	1,534	126,40	154,10	111,23	241,98
211,20	198,10	39	0,963	1,781	198,10	188,09	132,44	308,93
101,50	211,20	40	0,988	2,242	211,20	273,09	182,67	490,25

fréquence	U de Gaus	Valeur théorique	Borne inf	Borne sup	Valeur	Fréqthéo	Pér.Ret
0,8	0,841	87,98	67,02	123,70	87,98	0,800	5,0
0,9	1,282	125,61	92,77	188,85	125,61	0,900	10,0
0,95	1,645	168,55	120,34	269,99	168,55	0,950	20,1
0,98	2,054	234,63	160,36	405,98	234,63	0,980	50,5
0,99	2,327	292,51	193,72	534,08	292,51	0,990	99,9
0,999	3,091	542,53	326,83	1159,03	542,53	0,999	820,3

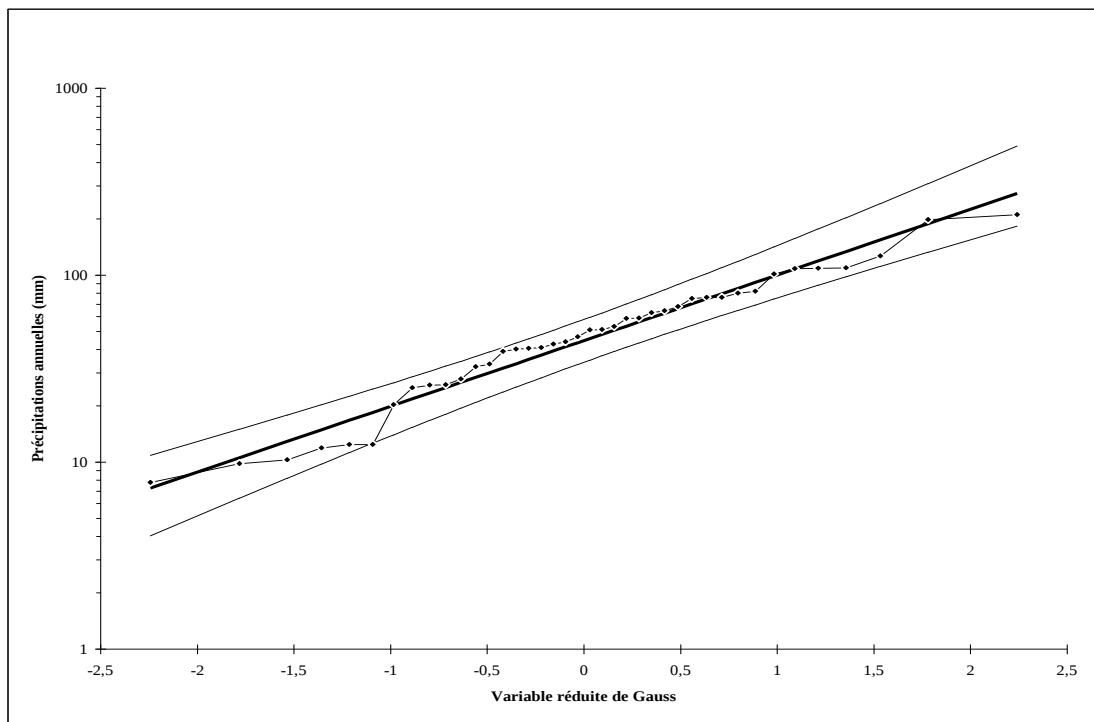


Figure (III.9) : Ajustement précipitations annuelles à la loi Log normale (K.S.Nadji)

Tableau (III.10) : précipitation annuelles et leurs fréquences expérimentales station de Bouhmama

Taille n=40 Moy.log(x-x₀)=2,585 E.T.log(x-x₀)=0,144.IC. à (en 95%).U Gauss=1.96

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
642,20	178,70	1	0,013	-2,242	178,70	182,62	143,56	215,47
609,60	206,60	2	0,038	-1,781	206,60	212,89	173,59	245,94
383,80	213,50	3	0,063	-1,534	213,50	231,08	191,94	264,24
311,70	255,90	4	0,088	-1,357	255,90	245,17	206,25	278,47
405,30	269,10	5	0,113	-1,213	269,10	257,13	218,42	290,60
295,00	270,10	6	0,138	-1,092	270,10	267,76	229,27	301,45
390,30	295,00	7	0,163	-0,984	295,00	277,51	239,21	311,47
255,90	298,00	8	0,188	-0,887	298,00	286,63	248,49	320,91
178,70	305,80	9	0,213	-0,798	305,80	295,28	257,28	329,94
328,30	306,70	10	0,238	-0,714	306,70	303,60	265,70	338,69
357,20	311,70	11	0,263	-0,635	311,70	311,66	273,82	347,24
431,00	313,60	12	0,288	-0,560	313,60	319,54	281,73	355,66
269,10	328,30	13	0,313	-0,488	328,30	327,28	289,46	364,02
333,40	333,40	14	0,338	-0,419	333,40	334,94	297,06	372,37
341,80	341,40	15	0,363	-0,351	341,40	342,54	304,56	380,74
374,70	341,70	16	0,388	-0,285	341,70	350,14	312,01	389,19
341,40	341,80	17	0,413	-0,221	341,80	357,76	319,42	397,74
206,60	357,20	18	0,438	-0,157	357,20	365,43	326,83	406,44
465,10	374,70	19	0,463	-0,094	374,70	373,18	334,25	415,32
573,50	379,20	20	0,488	-0,031	379,20	381,04	341,73	424,42
379,20	382,40	21	0,513	0,031	382,40	389,04	349,27	433,80
457,80	383,80	22	0,538	0,094	383,80	397,24	356,93	443,49
298,00	390,30	23	0,563	0,157	390,30	405,66	364,73	453,57
305,80	405,30	24	0,588	0,221	405,30	414,36	372,71	464,09
306,70	422,00	25	0,613	0,285	422,00	423,37	380,90	475,12
551,80	431,00	26	0,638	0,351	431,00	432,76	389,34	486,73
270,10	452,40	27	0,663	0,419	452,40	442,59	398,10	499,03
514,20	457,80	28	0,688	0,488	457,80	452,95	407,22	512,13
313,60	465,10	29	0,713	0,560	465,10	463,92	416,80	526,18
341,70	466,10	30	0,738	0,635	466,10	475,65	426,91	541,37
213,50	514,20	31	0,763	0,714	514,20	488,28	437,69	557,93
452,40	546,20	32	0,788	0,798	546,20	502,03	449,29	576,18
552,30	551,80	33	0,813	0,887	551,80	517,19	461,94	596,56
609,40	552,30	34	0,838	0,984	552,30	534,18	475,94	619,71
466,10	560,20	35	0,863	1,092	560,20	553,63	491,75	646,57
546,20	573,50	36	0,888	1,213	573,50	576,53	510,12	678,68
382,40	609,40	37	0,913	1,357	609,40	604,63	532,34	718,75
560,20	609,60	38	0,938	1,534	609,60	641,50	561,00	772,34
806,70	642,20	39	0,963	1,781	642,20	696,31	602,75	853,97
422,00	806,70	40	0,988	2,242	806,70	811,73	687,99	1032,62

fréquence	U de Gaus	Valeur théorique	Borne inf	Borne sup	Valeur	Fréqthéo	Pér.Ret
0,8	0,841	509,41	455,47	586,07	509,41	0,800	5,0
0,9	1,282	589,77	520,64	697,47	589,77	0,900	10,0
0,95	1,645	665,59	579,46	807,93	665,59	0,950	20,1
0,98	2,054	762,60	652,09	955,53	762,60	0,980	50,5
0,99	2,327	835,00	704,81	1069,64	835,00	0,990	99,9
0,999	3,091	1076,57	873,99	1471,11	1076,57	0,999	820,3

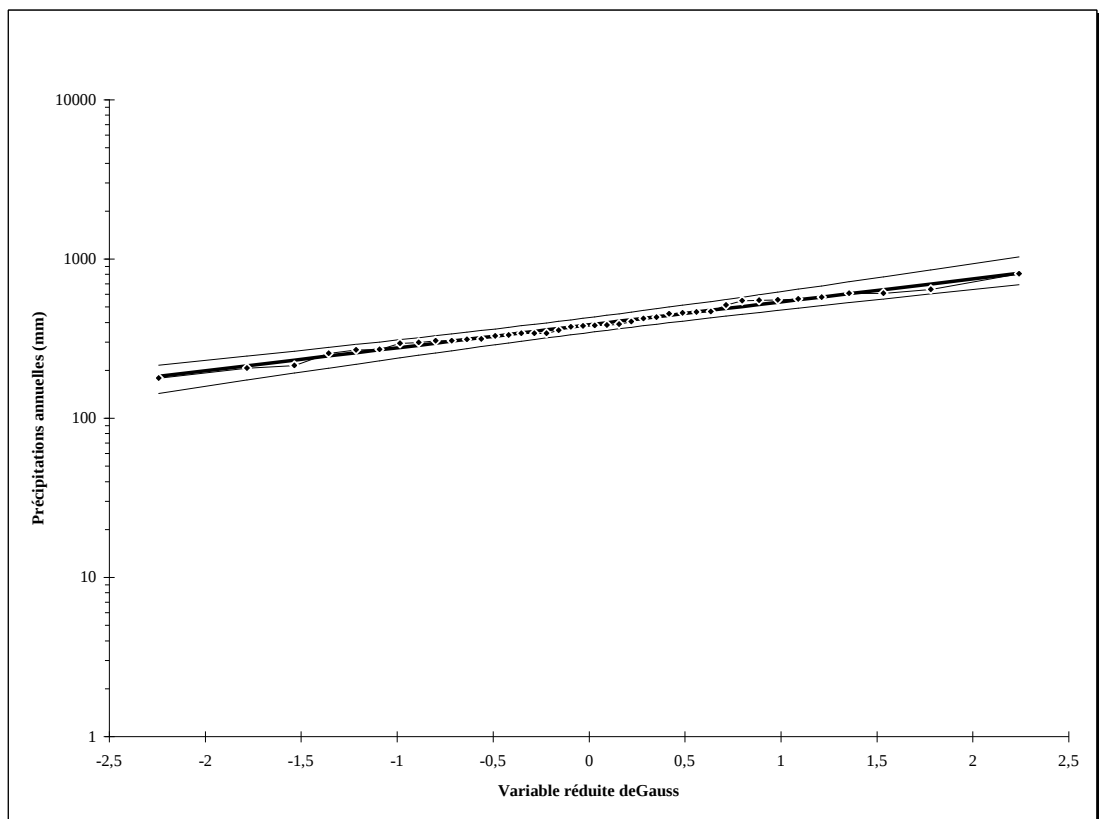


Figure (III.10) : Ajustement précipitations annuelles à la loi Log normale (Bouhmama)

Tableau (III.11) : précipitation annuelles et leurs fréquences expérimentales station d'Oul.Chalih

Taille n=40 Moyenne=310,96 Ecart-type=118,89.IC. à (en 95%).U Gauss=1.9604

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
83,30	83,30	1	0,0125	-2,242	83,30	44,42	-41,59	103,53
516,50	93,30	2	0,0375	-1,781	93,30	99,23	26,29	150,79
498,60	118,00	3	0,0625	-1,534	118,00	128,53	62,20	176,44
296,80	146,80	4	0,0875	-1,357	146,80	149,68	87,90	195,18
338,60	148,70	5	0,1125	-1,213	148,70	166,69	108,40	210,42
289,70	151,20	6	0,1375	-1,092	151,20	181,17	125,72	223,52
146,80	151,80	7	0,1625	-0,984	151,80	193,95	140,88	235,21
219,90	192,50	8	0,1875	-0,887	192,50	205,50	154,48	245,88
273,60	193,60	9	0,2125	-0,798	193,60	216,13	166,90	255,79
330,20	219,90	10	0,2375	-0,714	219,90	226,06	178,41	265,14
421,70	252,60	11	0,2625	-0,635	252,60	235,42	189,17	274,05
310,90	268,10	12	0,2875	-0,560	268,10	244,34	199,34	282,62
352,70	273,60	13	0,3125	-0,488	273,60	252,90	209,01	290,92
326,70	279,90	14	0,3375	-0,419	279,90	261,16	218,27	299,02
445,30	289,70	15	0,3625	-0,351	289,70	269,19	227,19	306,97
482,20	294,40	16	0,3875	-0,285	294,40	277,03	235,82	314,81
433,80	294,90	17	0,4125	-0,221	294,90	284,72	244,21	322,57
294,90	296,80	18	0,4375	-0,157	296,80	292,30	252,40	330,30
456,70	299,60	19	0,4625	-0,094	299,60	299,79	260,43	338,03
420,70	301,90	20	0,4875	-0,031	301,90	307,24	268,34	345,78
294,40	305,90	21	0,5125	0,031	305,90	314,68	276,14	353,58
440,10	310,90	22	0,5375	0,094	310,90	322,13	283,89	361,49
305,90	319,60	23	0,5625	0,157	319,60	329,62	291,62	369,52
268,10	326,70	24	0,5875	0,221	326,70	337,20	299,35	377,71
252,60	330,20	25	0,6125	0,285	330,20	344,89	307,11	386,10
192,50	338,60	26	0,6375	0,351	338,60	352,73	314,95	394,73
118,00	352,70	27	0,6625	0,419	352,70	360,76	322,90	403,65
279,90	376,00	28	0,6875	0,488	376,00	369,02	331,00	412,91
93,30	391,90	29	0,7125	0,560	391,90	377,58	339,30	422,58
151,80	409,20	30	0,7375	0,635	409,20	386,50	347,87	432,75
148,70	420,70	31	0,7625	0,714	420,70	395,86	356,78	443,51
151,20	421,70	32	0,7875	0,798	421,70	405,79	366,13	455,02
391,90	433,80	33	0,8125	0,887	433,80	416,42	376,04	467,44
376,00	440,10	34	0,8375	0,984	440,10	427,97	386,71	481,04
319,60	445,30	35	0,8625	1,092	445,30	440,75	398,40	496,20
299,60	456,70	36	0,8875	1,213	456,70	455,23	411,50	513,52
193,60	482,20	37	0,9125	1,357	482,20	472,24	426,74	534,02
301,90	498,60	38	0,9375	1,534	498,60	493,39	445,48	559,72
510,50	510,50	39	0,9625	1,781	510,50	522,69	471,13	595,63
409,20	516,50	40	0,9875	2,242	516,50	577,50	518,39	663,51

fréquence	U de Gaus	Valeur théorique	Borne inf	Borne sup	Valeur	Fréqthéo	Pér.Ret
0,8	0,841	411,00	371,00	461,10	411,00	0,800	5,0
0,9	1,282	463,35	418,79	523,28	463,35	0,900	10,0
0,95	1,645	506,56	457,05	575,82	506,56	0,950	20,1
0,98	2,054	555,19	499,24	635,78	555,19	0,980	50,5
0,99	2,327	587,60	527,02	676,09	587,60	0,990	99,9
0,999	3,091	678,40	603,91	789,98	678,40	0,999	820,3

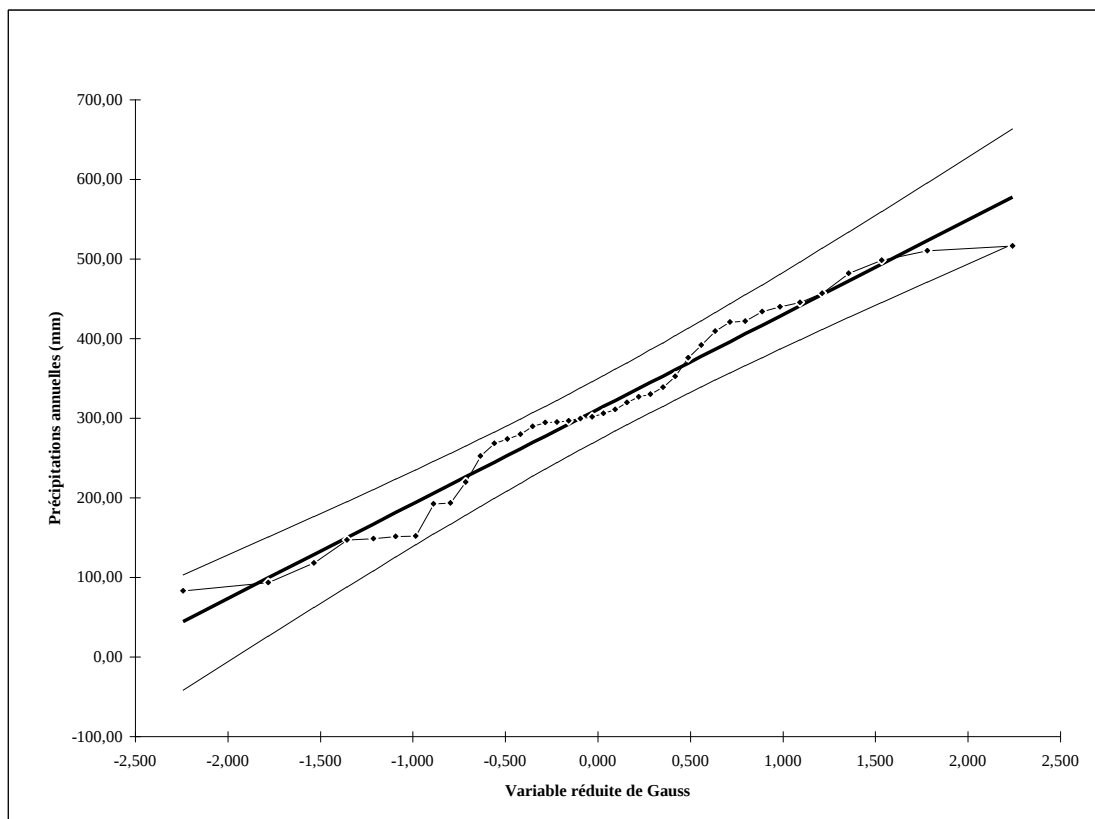


Figure (III.11) : Ajustement précipitations annuelles à la loi Log normale (Oul.Chalih)

Tableau (III.12) : précipitation annuelles et leurs fréquences expérimentales station de Boudela

Taille $n=40$ Moy. $\log(x-x_0)=2,294$ E.T. $\log(x-x_0)=0,176$.IC. à (en 95%).U Gauss=1.96

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
140,20	80,30	1	0,013	-2,242	80,30	79,47	59,32	97,17
237,30	96,00	2	0,038	-1,781	96,00	95,76	74,72	114,12
160,20	99,00	3	0,063	-1,534	99,00	105,79	84,43	124,52
99,00	113,40	4	0,088	-1,357	113,40	113,68	92,14	132,71
160,50	122,10	5	0,113	-1,213	122,10	120,45	98,79	139,77
245,30	127,30	6	0,138	-1,092	127,30	126,54	104,79	146,14
239,20	128,10	7	0,163	-0,984	128,10	132,16	110,33	152,06
159,40	129,50	8	0,188	-0,887	129,50	137,45	115,56	157,68
127,30	133,10	9	0,213	-0,798	133,10	142,51	120,54	163,09
209,50	140,20	10	0,238	-0,714	140,20	147,41	125,35	168,36
233,42	145,30	11	0,263	-0,635	145,30	152,18	130,03	173,54
239,50	159,40	12	0,288	-0,560	159,40	156,86	134,60	178,67
169,10	160,20	13	0,313	-0,488	160,20	161,50	139,10	183,79
182,00	160,50	14	0,338	-0,419	160,50	166,10	143,55	188,92
220,20	169,10	15	0,363	-0,351	169,10	170,70	147,98	194,10
294,80	175,70	16	0,388	-0,285	175,70	175,31	152,38	199,34
145,30	176,70	17	0,413	-0,221	176,70	179,95	156,79	204,68
128,10	182,00	18	0,438	-0,157	182,00	184,65	161,22	210,13
133,10	200,70	19	0,463	-0,094	200,70	189,42	165,69	215,73
375,40	209,50	20	0,488	-0,031	209,50	194,28	170,20	221,49
176,70	214,30	21	0,513	0,031	214,30	199,25	174,78	227,45
214,30	220,20	22	0,538	0,094	220,20	204,37	179,45	233,64
80,30	223,50	23	0,563	0,157	223,50	209,65	184,23	240,11
113,40	229,50	24	0,588	0,221	229,50	215,12	189,13	246,89
122,10	233,42	25	0,613	0,285	233,42	220,82	194,20	254,04
387,90	237,30	26	0,638	0,351	237,30	226,79	199,44	261,61
175,70	239,20	27	0,663	0,419	239,20	233,06	204,91	269,66
255,40	239,50	28	0,688	0,488	239,50	239,71	210,63	278,29
96,00	245,30	29	0,713	0,560	245,30	246,79	216,66	287,60
229,50	255,40	30	0,738	0,635	255,40	254,38	223,07	297,72
129,50	269,00	31	0,763	0,714	269,00	262,62	229,93	308,82
200,70	273,80	32	0,788	0,798	273,80	271,63	237,36	321,14
292,00	278,80	33	0,813	0,887	278,80	281,64	245,50	335,00
360,00	292,00	34	0,838	0,984	292,00	292,92	254,57	350,87
278,80	294,80	35	0,863	1,092	294,80	305,93	264,89	369,43
315,80	315,80	36	0,888	1,213	315,80	321,38	276,97	391,85
273,80	360,00	37	0,913	1,357	360,00	340,52	291,70	420,14
223,50	375,40	38	0,938	1,534	375,40	365,92	310,89	458,52
407,20	387,90	39	0,963	1,781	387,90	404,26	339,23	518,07
269,00	407,20	40	0,988	2,242	407,20	487,09	398,39	652,61

fréquence	U de Gaus	Valeur théorique	Borne inf	Borne sup	Valeur	Fréqthéo	Pér.Ret
0,8	0,841	276,50	241,33	327,86	276,50	0,800	5,0
0,9	1,282	330,37	283,92	405,07	330,37	0,900	10,0
0,95	1,645	382,68	323,37	484,32	382,68	0,950	20,1
0,98	2,054	451,50	373,27	593,88	451,50	0,980	50,5
0,99	2,327	504,11	410,26	681,15	504,11	0,990	99,9
0,999	3,091	686,51	532,87	1003,36	686,51	0,999	820,3

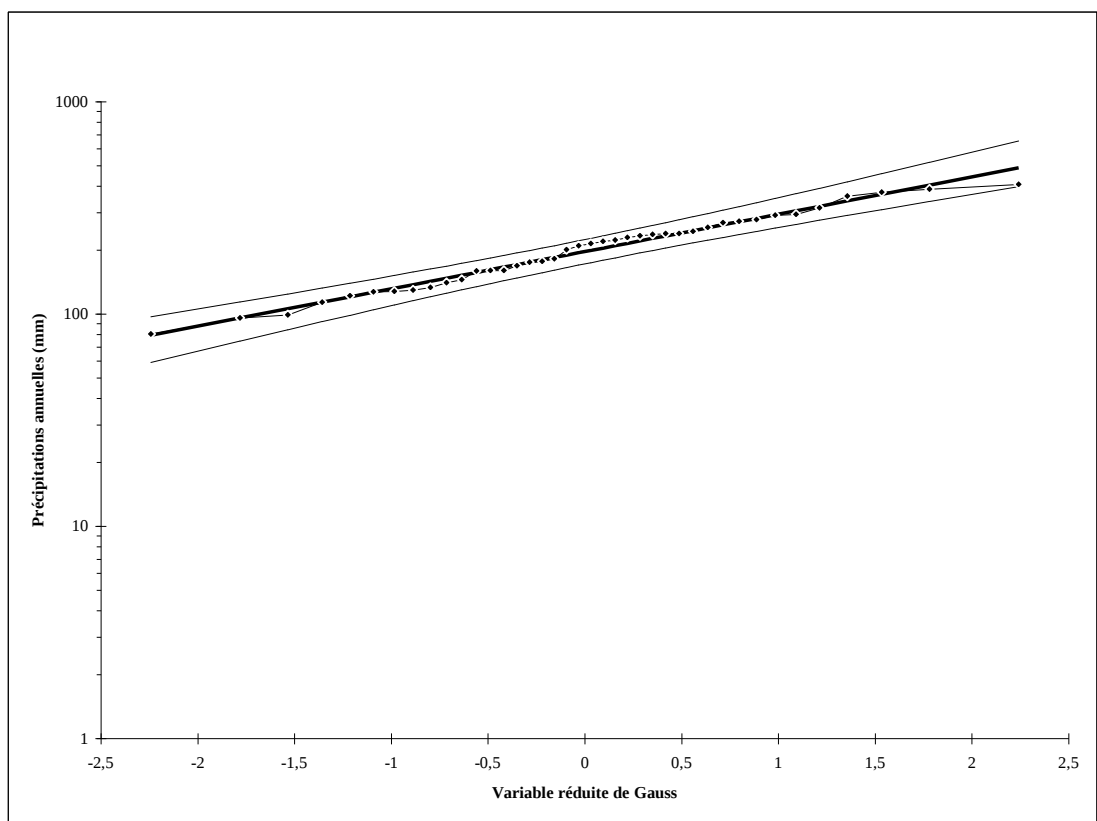


Figure (III.12) : Ajustement des précipitations annuelles à la loi Log normale (Boudila)

Tableau (III.13) : précipitation maximales journalières et leurs fréquences expérimentales
station de Medina

Taille n=40 Moy.log(x-x0)=1.642 et log(x-x0)=0.186 .IC. à (en 95%).U Gauss=1.96

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
22,70	22,70	1	0,013	-2,242	22,70	16,77	12,30	20,76
53,70	24,00	2	0,038	-1,781	24,00	20,44	15,71	24,62
95,00	24,70	3	0,063	-1,534	24,70	22,72	17,89	27,01
25,20	25,00	4	0,088	-1,357	25,00	24,53	19,62	28,90
36,00	25,20	5	0,113	-1,213	25,20	26,08	21,13	30,54
35,90	26,50	6	0,138	-1,092	26,50	27,48	22,49	32,02
60,40	27,30	7	0,163	-0,984	27,30	28,77	23,76	33,39
33,00	28,00	8	0,188	-0,887	28,00	30,00	24,95	34,71
33,10	33,00	9	0,213	-0,798	33,00	31,17	26,10	35,97
50,10	33,10	10	0,238	-0,714	33,10	32,31	27,21	37,20
58,00	33,10	11	0,263	-0,635	33,10	33,42	28,28	38,42
43,00	35,90	12	0,288	-0,560	35,90	34,51	29,34	39,63
67,20	36,00	13	0,313	-0,488	36,00	35,60	30,38	40,83
25,00	36,30	14	0,338	-0,419	36,30	36,67	31,41	42,04
42,40	37,10	15	0,363	-0,351	37,10	37,75	32,44	43,27
72,00	39,20	16	0,388	-0,285	39,20	38,84	33,47	44,51
24,70	39,90	17	0,413	-0,221	39,90	39,93	34,50	45,77
26,50	40,00	18	0,438	-0,157	40,00	41,04	35,53	47,07
58,10	41,00	19	0,463	-0,094	41,00	42,16	36,58	48,40
41,00	42,40	20	0,488	-0,031	42,40	43,31	37,64	49,77
46,50	43,00	21	0,513	0,031	43,00	44,49	38,71	51,19
36,30	43,70	22	0,538	0,094	43,70	45,70	39,81	52,68
39,20	44,70	23	0,563	0,157	44,70	46,95	40,93	54,22
28,00	45,00	24	0,588	0,221	45,00	48,26	42,09	55,85
24,00	45,40	25	0,613	0,285	45,40	49,61	43,29	57,57
51,00	46,50	26	0,638	0,351	46,50	51,04	44,53	59,39
45,40	47,80	27	0,663	0,419	47,80	52,54	45,83	61,33
43,70	50,10	28	0,688	0,488	50,10	54,13	47,19	63,42
33,10	51,00	29	0,713	0,560	51,00	55,82	48,62	65,67
44,70	53,70	30	0,738	0,635	53,70	57,65	50,15	68,12
27,30	58,00	31	0,763	0,714	58,00	59,63	51,79	70,82
37,10	58,10	32	0,788	0,798	58,10	61,81	53,56	73,82
67,00	60,40	33	0,813	0,887	60,40	64,23	55,52	77,21
74,20	67,00	34	0,838	0,984	67,00	66,96	57,70	81,10
40,00	67,20	35	0,863	1,092	67,20	70,12	60,18	85,66
160,00	72,00	36	0,888	1,213	72,00	73,88	63,10	91,18
45,00	74,20	37	0,913	1,357	74,20	78,56	66,66	98,18
108,60	95,00	38	0,938	1,534	95,00	84,79	71,33	107,72
47,80	108,60	39	0,963	1,781	108,60	94,25	78,24	122,63
39,90	160,00	40	0,988	2,242	160,00	114,86	92,80	156,67

fréquence	U de Gaus	Valeur théorique	Borne inf	Borne sup	Valeur	Fréqthéo	Pér.Ret
0,8	0,841	62,98	54,52	75,46	62,98	0,800	5,0
0,9	1,282	76,08	64,78	94,45	76,08	0,900	10,0
0,95	1,645	88,92	74,37	114,17	88,92	0,950	20,1
0,98	2,054	105,98	86,60	141,75	105,98	0,980	50,5
0,99	2,327	119,13	95,73	163,95	119,13	0,990	99,9
0,999	3,091	165,32	126,35	247,30	165,32	0,999	820,3

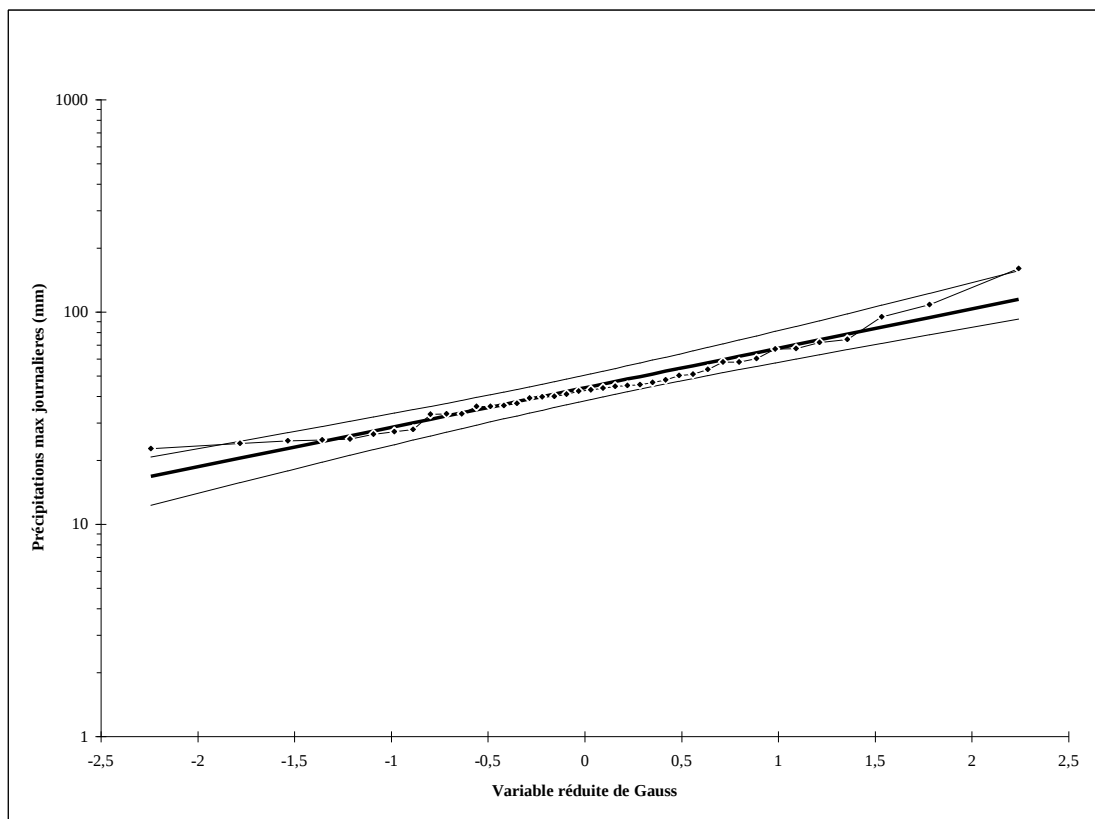


Figure (III.13) : Ajustement des précipitations maximales journalières à la loi Log normale (Medina)

Tableau (III.14) : précipitation maximales journalières et leurs fréquences expérimentales
station de Takout

Taille n=40 Moyenne=32,675Ecart-tyte=15,514 .IC. à (en 95%).U Gauss=1.96

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
40,00	4,50	1	0,0125	-2,242	4,50	-2,10	-13,33	5,61
18,00	10,20	2	0,0375	-1,781	10,20	5,05	-4,47	11,78
45,00	10,70	3	0,0625	-1,534	10,70	8,87	0,22	15,12
4,50	14,40	4	0,0875	-1,357	14,40	11,63	3,57	17,57
10,20	15,50	5	0,1125	-1,213	15,50	13,85	6,24	19,56
15,50	17,20	6	0,1375	-1,092	17,20	15,74	8,50	21,27
69,90	18,00	7	0,1625	-0,984	18,00	17,41	10,48	22,79
24,60	18,30	8	0,1875	-0,887	18,30	18,91	12,26	24,18
33,50	18,80	9	0,2125	-0,798	18,80	20,30	13,88	25,48
34,70	19,70	10	0,2375	-0,714	19,70	21,60	15,38	26,70
54,00	20,60	11	0,2625	-0,635	20,60	22,82	16,78	27,86
24,40	24,40	12	0,2875	-0,560	24,40	23,98	18,11	28,98
18,30	24,60	13	0,3125	-0,488	24,60	25,10	19,37	30,06
30,20	25,00	14	0,3375	-0,419	25,00	26,18	20,58	31,12
27,00	26,80	15	0,3625	-0,351	26,80	27,22	21,74	32,15
28,60	27,00	16	0,3875	-0,285	27,00	28,25	22,87	33,18
29,70	27,60	17	0,4125	-0,221	27,60	29,25	23,97	34,19
19,70	28,60	18	0,4375	-0,157	28,60	30,24	25,03	35,20
59,20	29,30	19	0,4625	-0,094	29,30	31,22	26,08	36,21
48,10	29,70	20	0,4875	-0,031	29,70	32,19	27,11	37,22
30,50	30,20	21	0,5125	0,031	30,20	33,16	28,13	38,24
36,60	30,50	22	0,5375	0,094	30,50	34,13	29,14	39,27
18,80	32,50	23	0,5625	0,157	32,50	35,11	30,15	40,32
17,20	33,50	24	0,5875	0,221	33,50	36,10	31,16	41,38
41,10	34,70	25	0,6125	0,285	34,70	37,10	32,17	42,48
39,80	36,60	26	0,6375	0,351	36,60	38,13	33,20	43,61
10,70	36,60	27	0,6625	0,419	36,60	39,17	34,23	44,77
56,00	39,80	28	0,6875	0,488	39,80	40,25	35,29	45,98
25,00	40,00	29	0,7125	0,560	40,00	41,37	36,37	47,24
14,40	40,10	30	0,7375	0,635	40,10	42,53	37,49	48,57
36,60	41,10	31	0,7625	0,714	41,10	43,75	38,65	49,97
26,80	45,00	32	0,7875	0,798	45,00	45,05	39,87	51,47
27,60	48,10	33	0,8125	0,887	48,10	46,44	41,17	53,09
49,20	49,20	34	0,8375	0,984	49,20	47,94	42,56	54,87
57,00	54,00	35	0,8625	1,092	54,00	49,61	44,08	56,85
32,50	56,00	36	0,8875	1,213	56,00	51,50	45,79	59,11
20,60	57,00	37	0,9125	1,357	57,00	53,72	47,78	61,78
40,10	59,20	38	0,9375	1,534	59,20	56,48	50,23	65,13
62,10	62,10	39	0,9625	1,781	62,10	60,30	53,57	69,82
29,30	69,90	40	0,9875	2,242	69,90	67,45	59,74	78,68

fréquence	U de Gaus	Valeur théorique	Borne inf	Borne sup	Valeur	Fréqthéo	Pér.Ret
0,8	0,841	45,73	40,51	52,27	45,73	0,800	5,0
0,9	1,282	52,56	46,75	60,38	52,56	0,900	10,0
0,95	1,645	58,20	51,74	67,24	58,20	0,950	20,1
0,98	2,054	64,54	57,24	75,06	64,54	0,980	50,5
0,99	2,327	68,77	60,87	80,32	68,77	0,990	99,9
0,999	3,091	80,62	70,90	95,18	80,62	0,999	820,3

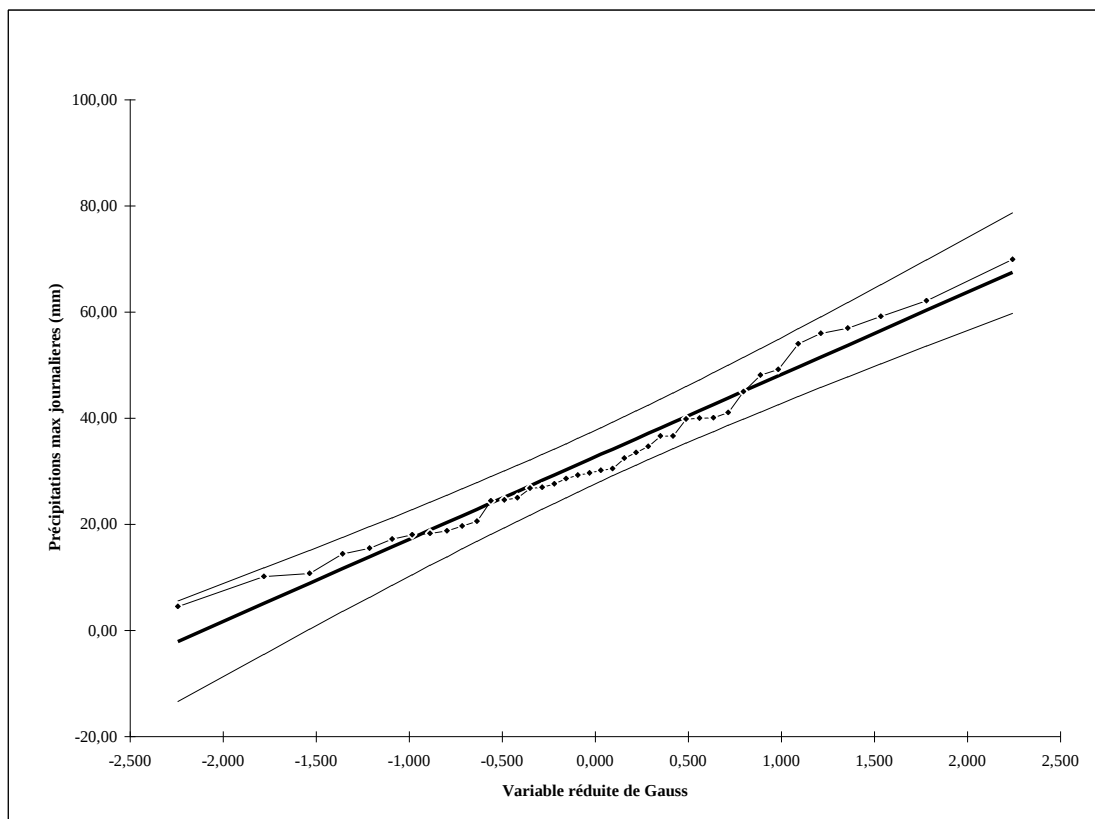


Figure (III.14) : Ajustement des précipitations maximales journalières à la loi Log normal (Takout)

Tableau (III.15) : précipitation maximales journalières et leurs fréquences expérimentales
station de Tifelfel

Taille n=40 Moy.log(x-x₀)=1.315 et log(x-x₀)=0.228 .IC. à (en 95%).U Gauss=1.96

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
12,65	7,00	1	0,013	-2,242	7,00	6,36	4,35	8,26
20,23	8,00	2	0,038	-1,781	8,00	8,11	5,87	10,18
8,90	8,90	3	0,063	-1,534	8,90	9,22	6,88	11,40
8,00	9,50	4	0,088	-1,357	9,50	10,13	7,71	12,38
23,00	10,20	5	0,113	-1,213	10,20	10,92	8,44	13,24
16,00	12,65	6	0,138	-1,092	12,65	11,64	9,11	14,03
54,00	13,00	7	0,163	-0,984	13,00	12,31	9,74	14,77
30,20	13,50	8	0,188	-0,887	13,50	12,96	10,34	15,48
24,00	14,00	9	0,213	-0,798	14,00	13,58	10,93	16,18
24,00	15,00	10	0,238	-0,714	15,00	14,19	11,50	16,86
32,00	15,00	11	0,263	-0,635	15,00	14,79	12,06	17,53
17,50	15,50	12	0,288	-0,560	15,50	15,38	12,61	18,21
24,00	15,90	13	0,313	-0,488	15,90	15,97	13,16	18,89
24,00	16,00	14	0,338	-0,419	16,00	16,56	13,71	19,58
40,00	16,00	15	0,363	-0,351	16,00	17,16	14,26	20,27
13,00	17,00	16	0,388	-0,285	17,00	17,77	14,81	20,99
16,00	17,50	17	0,413	-0,221	17,50	18,38	15,37	21,72
14,00	18,00	18	0,438	-0,157	18,00	19,00	15,94	22,47
15,50	18,00	19	0,463	-0,094	18,00	19,64	16,51	23,25
24,50	18,00	20	0,488	-0,031	18,00	20,30	17,10	24,06
13,50	20,23	21	0,513	0,031	20,23	20,98	17,70	24,91
15,00	23,00	22	0,538	0,094	23,00	21,68	18,31	25,79
18,00	24,00	23	0,563	0,157	24,00	22,41	18,95	26,72
18,00	24,00	24	0,588	0,221	24,00	23,17	19,60	27,70
41,50	24,00	25	0,613	0,285	24,00	23,97	20,29	28,75
44,00	24,00	26	0,638	0,351	24,00	24,81	21,00	29,87
26,50	24,50	27	0,663	0,419	24,50	25,71	21,75	31,06
32,00	26,00	28	0,688	0,488	26,00	26,66	22,54	32,36
10,20	26,50	29	0,713	0,560	26,50	27,69	23,38	33,77
26,00	30,20	30	0,738	0,635	30,20	28,80	24,29	35,32
18,00	32,00	31	0,763	0,714	32,00	30,01	25,26	37,04
56,00	32,00	32	0,788	0,798	32,00	31,36	26,32	38,97
48,00	32,00	33	0,813	0,887	32,00	32,87	27,50	41,17
7,00	38,00	34	0,838	0,984	38,00	34,58	28,83	43,71
32,00	40,00	35	0,863	1,092	40,00	36,59	30,35	46,74
17,00	41,50	36	0,888	1,213	41,50	39,01	32,16	50,45
9,50	44,00	37	0,913	1,357	44,00	42,05	34,40	55,23
15,90	48,00	38	0,938	1,534	48,00	46,16	37,36	61,86
38,00	54,00	39	0,963	1,781	54,00	52,53	41,84	72,48
15,00	56,00	40	0,988	2,242	56,00	66,91	51,55	97,80

fréquence	U de Gaus	Valeur théorique	Borne inf	Borne sup	Valeur	Fréqthéo	Pér.Ret
0.8	0,841	32,09	26,90	40,03	32,09	0,800	5,0
0.9	1,282	40,43	33,21	52,67	40,43	0,900	10,0
0.95	1,645	48,92	39,32	66,41	48,92	0,950	20,1
0.98	2,054	60,63	47,37	86,53	60,63	0,980	50,5
0.99	2,327	69,96	53,55	103,38	69,96	0,990	99,9
0.999	3,091	104,44	75,18	170,90	104,44	0,999	820,3

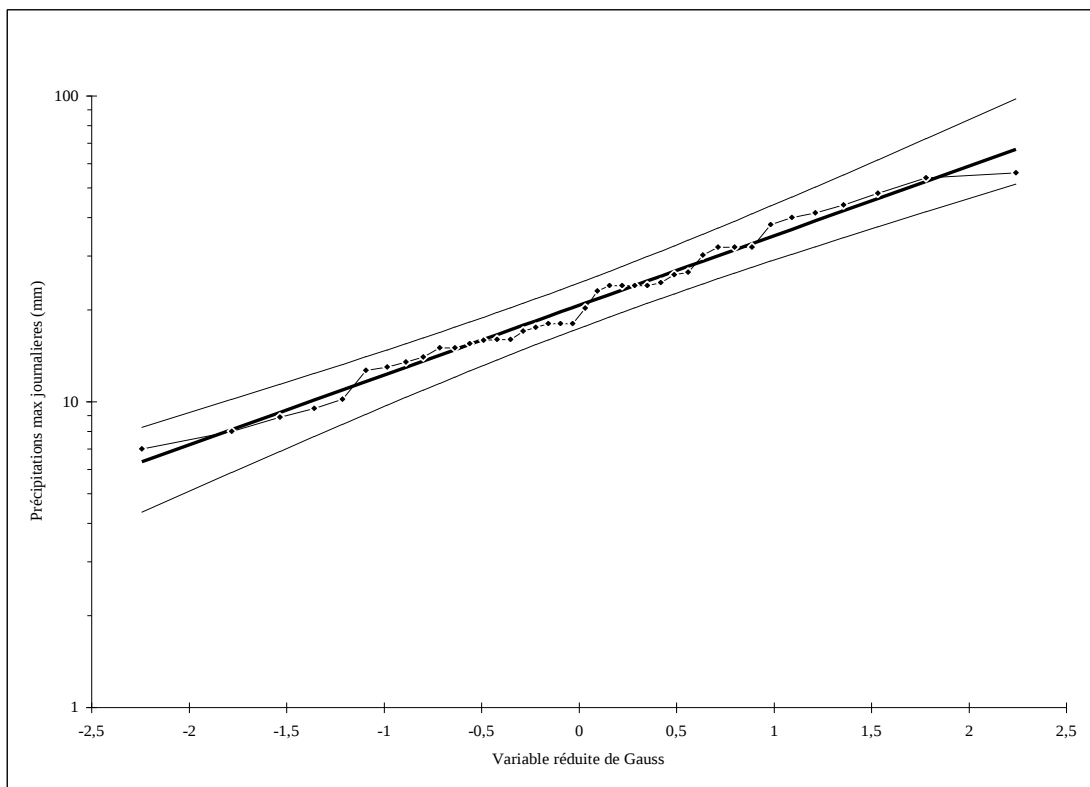


Figure (III.15) : Ajustement des précipitations maximales journalières à la loi Log normale
(Tifelfel)

Tableau (III.16) : précipitation maximales journalières et leurs fréquences expérimentales
station de Te.Abed

Taille n=40 Moy.log(x-x₀)=1.503 et log(x-x₀)=0.228 .IC. à (en 95%).U Gauss=1.96

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
55,00	8,20	1	0,013	-2,242	8,20	9,79	6,69	12,71
120,00	12,20	2	0,038	-1,781	12,20	12,47	9,04	15,67
48,00	13,80	3	0,063	-1,534	13,80	14,20	10,59	17,55
17,50	16,40	4	0,088	-1,357	16,40	15,59	11,87	19,07
24,60	17,50	5	0,113	-1,213	17,50	16,81	12,99	20,39
34,50	17,70	6	0,138	-1,092	17,70	17,92	14,02	21,61
41,00	17,90	7	0,163	-0,984	17,90	18,96	15,00	22,75
36,00	18,40	8	0,188	-0,887	18,40	19,95	15,93	23,85
31,60	18,90	9	0,213	-0,798	18,90	20,92	16,82	24,92
37,00	22,50	10	0,238	-0,714	22,50	21,85	17,70	25,97
28,00	24,60	11	0,263	-0,635	24,60	22,78	18,57	27,02
59,60	24,60	12	0,288	-0,560	24,60	23,69	19,42	28,06
32,80	24,80	13	0,313	-0,488	24,80	24,61	20,27	29,11
24,60	26,60	14	0,338	-0,419	26,60	25,52	21,11	30,17
41,00	28,00	15	0,363	-0,351	28,00	26,44	21,96	31,25
32,80	31,60	16	0,388	-0,285	31,60	27,38	22,82	32,35
46,50	32,80	17	0,413	-0,221	32,80	28,32	23,68	33,48
32,80	32,80	18	0,438	-0,157	32,80	29,29	24,55	34,64
64,00	32,80	19	0,463	-0,094	32,80	30,27	25,44	35,85
41,00	33,80	20	0,488	-0,031	33,80	31,29	26,34	37,10
41,00	34,50	21	0,513	0,031	34,50	32,33	27,27	38,40
44,60	36,00	22	0,538	0,094	36,00	33,41	28,22	39,77
13,80	36,80	23	0,563	0,157	36,80	34,54	29,20	41,20
33,80	37,00	24	0,588	0,221	37,00	35,72	30,21	42,72
17,70	37,10	25	0,613	0,285	37,10	36,95	31,27	44,34
62,60	37,80	26	0,638	0,351	37,80	38,26	32,37	46,06
17,90	41,00	27	0,663	0,419	41,00	39,64	33,53	47,91
70,60	41,00	28	0,688	0,488	41,00	41,11	34,75	49,91
18,90	41,00	29	0,713	0,560	41,00	42,70	36,05	52,09
37,10	41,00	30	0,738	0,635	41,00	44,41	37,44	54,49
24,80	41,00	31	0,763	0,714	41,00	46,29	38,95	57,14
22,50	44,60	32	0,788	0,798	44,60	48,37	40,59	60,12
26,60	46,50	33	0,813	0,887	46,50	50,69	42,41	63,52
41,00	48,00	34	0,838	0,984	48,00	53,35	44,46	67,46
36,80	55,00	35	0,863	1,092	55,00	56,45	46,81	72,13
16,40	59,60	36	0,888	1,213	59,60	60,18	49,60	77,87
37,80	62,60	37	0,913	1,357	62,60	64,88	53,06	85,26
18,40	64,00	38	0,938	1,534	64,00	71,24	57,64	95,51
8,20	70,60	39	0,963	1,781	70,60	81,09	64,56	111,94
12,20	120,00	40	0,988	2,242	120,00	103,32	79,56	151,11

fréquence	U de Gaus	Valeur théorique	Borne inf	Borne sup	Valeur	Fréqthéo	Pér.Ret
0.8	0,841	49,50	41,47	61,76	49,50	0,800	5,0
0.9	1,282	62,38	51,23	81,30	62,38	0,900	10,0
0.95	1,645	75,51	60,67	102,56	75,51	0,950	20,1
0.98	2,054	93,62	73,11	133,68	93,62	0,980	50,5
0.99	2,327	108,04	82,66	159,76	108,04	0,990	99,9
0.999	3,091	161,40	116,12	264,30	161,40	0,999	820,3

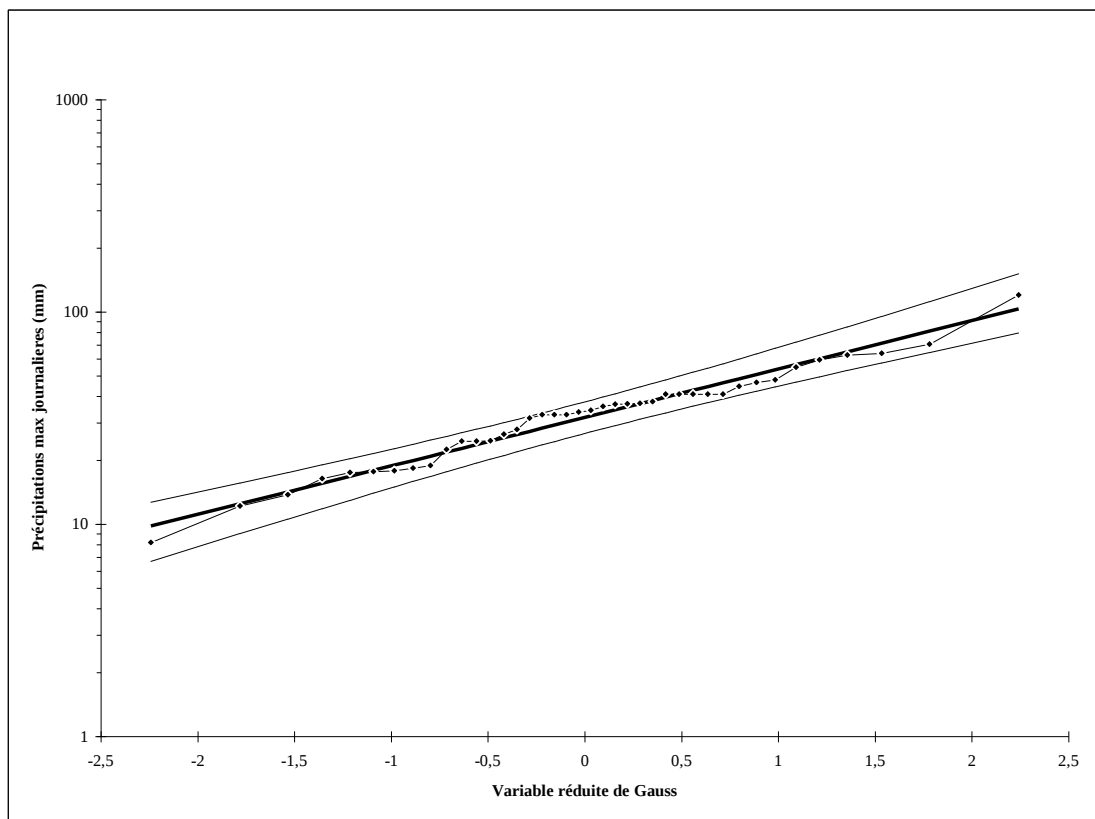


Figure (III.16) : Ajustement des précipitations maximales journalières à la loi Log normale
(*Te.Abed*)

Tableau (III.17) : précipitation maximales journalières et leurs fréquences expérimentales
station de Menaa

Taille n=40 Moy.log(x-x0)=1.501 et log(x-x0)=0.212 .IC. à (en 95%).U Gauss=1.96

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
24,60	8,20	1	0,013	-2,242	8,20	10,65	7,48	13,56
47,50	14,40	2	0,038	-1,781	14,40	13,33	9,88	16,46
42,50	15,60	3	0,063	-1,534	15,60	15,02	11,45	18,28
33,10	16,40	4	0,088	-1,357	16,40	16,38	12,72	19,74
37,10	16,50	5	0,113	-1,213	16,50	17,57	13,84	21,01
21,90	18,90	6	0,138	-1,092	18,90	18,64	14,85	22,17
98,40	19,10	7	0,163	-0,984	19,10	19,64	15,80	23,26
28,60	21,90	8	0,188	-0,887	21,90	20,59	16,71	24,30
15,60	22,10	9	0,213	-0,798	22,10	21,51	17,58	25,31
27,90	22,60	10	0,238	-0,714	22,60	22,40	18,43	26,29
36,30	24,60	11	0,263	-0,635	24,60	23,28	19,26	27,27
35,20	27,10	12	0,288	-0,560	27,10	24,15	20,08	28,25
32,80	27,90	13	0,313	-0,488	27,90	25,01	20,89	29,22
50,20	28,10	14	0,338	-0,419	28,10	25,87	21,70	30,21
41,30	28,60	15	0,363	-0,351	28,60	26,73	22,51	31,21
41,20	29,50	16	0,388	-0,285	29,50	27,61	23,32	32,23
39,30	29,60	17	0,413	-0,221	29,60	28,49	24,13	33,27
29,60	30,10	18	0,438	-0,157	30,10	29,39	24,96	34,34
27,10	31,60	19	0,463	-0,094	31,60	30,31	25,79	35,44
28,10	32,80	20	0,488	-0,031	32,80	31,24	26,64	36,59
8,20	33,10	21	0,513	0,031	33,10	32,21	27,51	37,78
38,80	33,40	22	0,538	0,094	33,40	33,21	28,39	39,02
16,40	35,20	23	0,563	0,157	35,20	34,24	29,31	40,32
22,10	36,30	24	0,588	0,221	36,30	35,32	30,25	41,70
16,50	36,90	25	0,613	0,285	36,90	36,46	31,23	43,16
38,00	37,10	26	0,638	0,351	37,10	37,64	32,25	44,71
14,40	38,00	27	0,663	0,419	38,00	38,90	33,31	46,38
60,70	38,80	28	0,688	0,488	38,80	40,24	34,44	48,17
19,10	39,30	29	0,713	0,560	39,30	41,68	35,63	50,12
18,90	40,20	30	0,738	0,635	40,20	43,23	36,90	52,25
31,60	41,20	31	0,763	0,714	41,20	44,92	38,27	54,60
33,40	41,30	32	0,788	0,798	41,30	46,78	39,77	57,24
30,10	42,50	33	0,813	0,887	42,50	48,87	41,42	60,23
40,20	47,50	34	0,838	0,984	47,50	51,24	43,27	63,68
36,90	50,20	35	0,863	1,092	50,20	53,99	45,39	67,76
75,00	50,80	36	0,888	1,213	50,80	57,29	47,89	72,74
50,80	60,70	37	0,913	1,357	60,70	61,42	50,98	79,11
22,60	75,00	38	0,938	1,534	75,00	66,98	55,04	87,90
29,50	80,20	39	0,963	1,781	80,20	75,53	61,14	101,83
80,20	98,40	40	0,988	2,242	98,40	94,54	74,21	134,47

fréquence	U de Gaus	Valeur théorique	Borne inf	Borne sup	Valeur	Fréqthéo	Pér.Ret
0.8	0,841	47,79	40,57	58,68	47,79	0,800	5,0
0.9	1,282	59,23	49,34	75,71	59,23	0,900	10,0
0.95	1,645	70,70	57,72	93,89	70,70	0,950	20,1
0.98	2,054	86,28	68,61	120,03	86,28	0,980	50,5
0.99	2,327	98,53	76,88	141,59	98,53	0,990	99,9
0.999	3,091	142,93	105,34	225,76	142,93	0,999	820,3

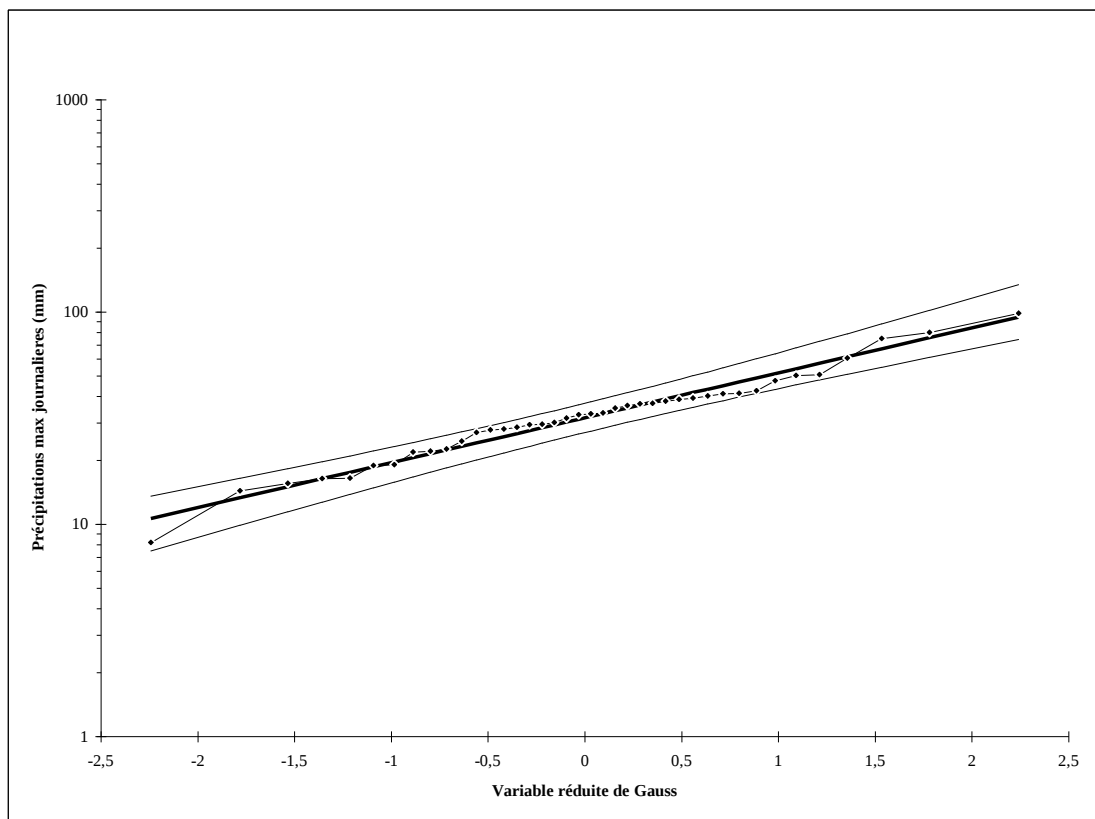


Figure (III.17) : Ajustement des précipitations maximales journalières à la loi Log normale (Mena)

Tableau (III.18) : précipitation maximales journalières et leurs fréquences expérimentales
station de Biskra

Taille n=40 Moy.log(x-x0)=1.372 et log(x-x0)=0.262 .IC. à (en 95%).U Gauss=1.96

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
19,27	3,80	1	0,013	-2,242	3,80	6,08	3,93	8,21
8,45	8,45	2	0,038	-1,781	8,45	8,04	5,55	10,44
11,37	9,30	3	0,063	-1,534	9,30	9,33	6,66	11,90
16,80	10,60	4	0,088	-1,357	10,60	10,38	7,59	13,09
35,00	11,37	5	0,113	-1,213	11,37	11,32	8,42	14,14
27,80	11,50	6	0,138	-1,092	11,50	12,19	9,19	15,11
54,20	14,20	7	0,163	-0,984	14,20	13,00	9,93	16,04
15,90	15,50	8	0,188	-0,887	15,50	13,79	10,64	16,93
17,30	15,90	9	0,213	-0,798	15,90	14,56	11,33	17,80
49,00	16,00	10	0,238	-0,714	16,00	15,31	12,02	18,67
23,00	16,80	11	0,263	-0,635	16,80	16,05	12,69	19,54
9,30	17,30	12	0,288	-0,560	17,30	16,80	13,36	20,41
32,30	17,30	13	0,313	-0,488	17,30	17,54	14,04	21,28
3,80	17,60	14	0,338	-0,419	17,60	18,30	14,71	22,18
19,70	19,27	15	0,363	-0,351	19,27	19,06	15,40	23,09
23,00	19,70	16	0,388	-0,285	19,70	19,83	16,09	24,03
24,60	23,00	17	0,413	-0,221	23,00	20,62	16,79	25,00
15,50	23,00	18	0,438	-0,157	23,00	21,43	17,50	26,00
10,60	23,10	19	0,463	-0,094	23,10	22,27	18,23	27,04
16,00	24,40	20	0,488	-0,031	24,40	23,13	18,98	28,13
50,00	24,60	21	0,513	0,031	24,60	24,02	19,74	29,27
29,00	25,50	22	0,538	0,094	25,50	24,94	20,54	30,46
50,50	26,00	23	0,563	0,157	26,00	25,91	21,36	31,73
14,20	26,60	24	0,588	0,221	26,60	26,93	22,22	33,08
26,60	27,80	25	0,613	0,285	27,80	28,00	23,11	34,52
26,00	29,00	26	0,638	0,351	29,00	29,14	24,05	36,07
43,50	29,50	27	0,663	0,419	29,50	30,35	25,04	37,74
41,20	32,30	28	0,688	0,488	32,30	31,65	26,09	39,56
52,50	35,00	29	0,713	0,560	35,00	33,06	27,22	41,55
23,10	39,80	30	0,738	0,635	39,80	34,59	28,43	43,76
25,50	40,80	31	0,763	0,714	40,80	36,28	29,74	46,22
17,30	41,20	32	0,788	0,798	41,20	38,16	31,19	49,00
39,80	42,30	33	0,813	0,887	42,30	40,27	32,80	52,19
66,30	43,50	34	0,838	0,984	43,50	42,71	34,63	55,93
29,50	49,00	35	0,863	1,092	49,00	45,57	36,75	60,41
40,80	50,00	36	0,888	1,213	50,00	49,05	39,28	65,97
42,30	50,50	37	0,913	1,357	50,50	53,48	42,44	73,21
11,50	52,50	38	0,938	1,534	52,50	59,55	46,68	83,42
24,40	54,20	39	0,963	1,781	54,20	69,11	53,18	100,12
17,60	66,30	40	0,988	2,242	66,30	91,31	67,62	141,36

fréquence	U de Gaus	Valeur théorique	Borne inf	Borne sup	Valeur	Fréqthéo	Pér.Ret
0.8	0,841	39,18	31,97	50,54	39,18	0,800	5,0
0.9	1,282	51,12	40,76	69,32	51,12	0,900	10,0
0.95	1,645	63,67	49,51	90,53	63,67	0,950	20,1
0.98	2,054	81,52	61,35	122,78	81,52	0,980	50,5
0.99	2,327	96,11	70,65	150,69	96,11	0,990	99,9
0.999	3,091	152,47	104,42	268,79	152,47	0,999	820,3

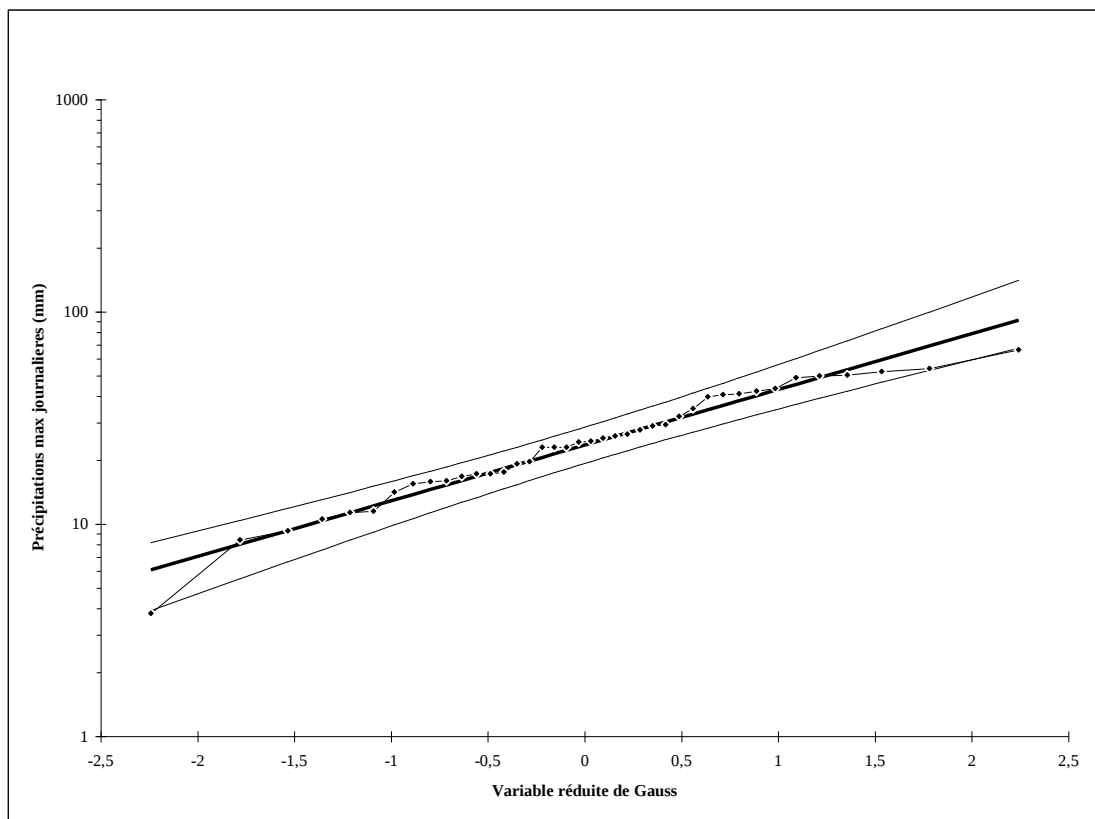


Figure (III.18) : Ajustement des précipitations maximales journalières à la loi Log normale (Biskra)

Tableau (III.19) : précipitation maximales journalières et leurs fréquences expérimentales
station de Babar

Taille n=40 Moy.log(x-x0)=1.517 et log(x-x0)=0.161 .IC. à (en 95%).U Gauss=1.96

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
24,20	12,50	1	0,013	-2,242	12,50	14,33	10,96	17,22
33,50	18,60	2	0,038	-1,781	18,60	17,00	13,54	19,96
35,60	20,20	3	0,063	-1,534	20,20	18,62	15,14	21,62
37,80	20,50	4	0,088	-1,357	20,50	19,89	16,41	22,92
21,00	21,00	5	0,113	-1,213	21,00	20,97	17,49	24,04
41,60	22,10	6	0,138	-1,092	22,10	21,94	18,46	25,04
40,50	22,50	7	0,163	-0,984	22,50	22,83	19,35	25,97
40,60	22,80	8	0,188	-0,887	22,80	23,67	20,19	26,85
35,60	23,10	9	0,213	-0,798	23,10	24,47	20,99	27,69
76,60	24,20	10	0,238	-0,714	24,20	25,24	21,75	28,51
33,90	24,50	11	0,263	-0,635	24,50	25,99	22,50	29,31
55,50	26,50	12	0,288	-0,560	26,50	26,72	23,22	30,10
23,10	26,90	13	0,313	-0,488	26,90	27,44	23,93	30,89
40,70	27,90	14	0,338	-0,419	27,90	28,16	24,63	31,68
18,60	29,70	15	0,363	-0,351	29,70	28,87	25,33	32,48
38,50	30,00	16	0,388	-0,285	30,00	29,58	26,02	33,28
48,20	31,50	17	0,413	-0,221	31,50	30,30	26,71	34,10
29,70	33,50	18	0,438	-0,157	33,50	31,03	27,40	34,93
26,90	33,50	19	0,463	-0,094	33,50	31,76	28,09	35,78
42,20	33,90	20	0,488	-0,031	33,90	32,51	28,79	36,66
27,90	34,50	21	0,513	0,031	34,50	33,27	29,50	37,56
36,60	35,60	22	0,538	0,094	35,60	34,05	30,22	38,50
22,10	35,60	23	0,563	0,157	35,60	34,86	30,96	39,47
22,80	36,60	24	0,588	0,221	36,60	35,69	31,72	40,49
60,20	37,80	25	0,613	0,285	37,80	36,56	32,49	41,57
63,30	38,50	26	0,638	0,351	38,50	37,46	33,30	42,70
24,50	38,50	27	0,663	0,419	38,50	38,41	34,13	43,90
45,40	40,50	28	0,688	0,488	40,50	39,41	35,01	45,19
20,20	40,50	29	0,713	0,560	40,50	40,48	35,92	46,57
31,50	40,60	30	0,738	0,635	40,60	41,62	36,90	48,07
12,50	40,70	31	0,763	0,714	40,70	42,85	37,94	49,71
34,50	41,60	32	0,788	0,798	41,60	44,20	39,06	51,53
33,50	42,20	33	0,813	0,887	42,20	45,69	40,28	53,56
40,50	45,40	34	0,838	0,984	45,40	47,36	41,65	55,89
47,50	47,50	35	0,863	1,092	47,50	49,29	43,19	58,59
20,50	48,20	36	0,888	1,213	48,20	51,56	44,99	61,84
38,50	55,50	37	0,913	1,357	55,50	54,37	47,18	65,92
22,50	60,20	38	0,938	1,534	60,20	58,08	50,02	71,42
30,00	63,30	39	0,963	1,781	63,30	63,63	54,18	79,88
26,50	76,60	40	0,988	2,242	76,60	75,49	62,79	98,71

fréquence	U de Gaus	Valeur théorique	Borne inf	Borne sup	Valeur	Fréqthéo	Pér.Ret
0.8	0,841	44,92	39,66	52,52	44,92	0,800	5,0
0.9	1,282	52,89	46,03	63,75	52,89	0,900	10,0
0.95	1,645	60,51	51,86	75,10	60,51	0,950	20,1
0.98	2,054	70,42	59,15	90,53	70,42	0,980	50,5
0.99	2,327	77,91	64,50	102,66	77,91	0,990	99,9
0.999	3,091	103,40	81,97	146,42	103,40	0,999	820,3

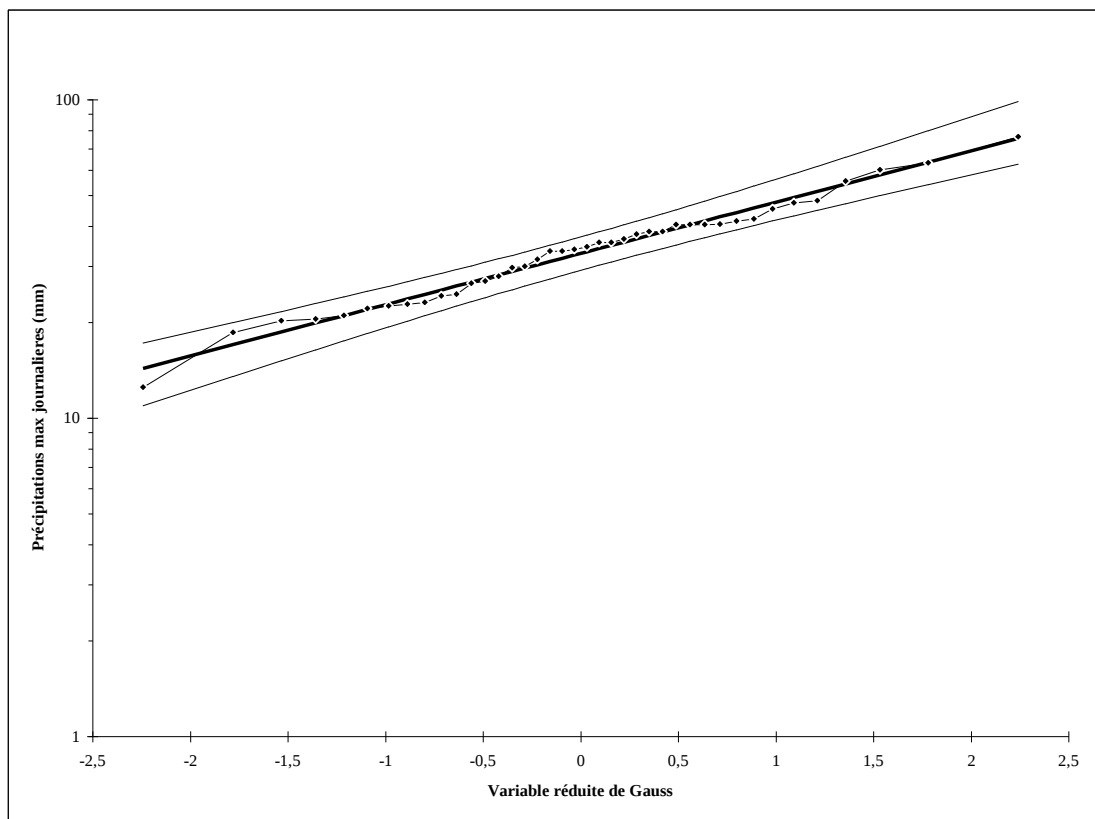


Figure (III.19) : Ajustement des précipitations maximales journalières à la loi Log normale (Babar)

Tableau (III.20) : précipitation maximales journalières et leurs fréquences expérimentales
station de khairane

Taille n=40 Moy.log(x-x0)=1.514 et log(x-x0)=0.243.IC. à (en 95%).U Gauss=1.96

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
8,00	8,00	1	0,013	-2,242	8,00	9,34	6,23	12,33
19,10	13,50	2	0,038	-1,781	13,50	12,08	8,58	15,40
57,50	14,50	3	0,063	-1,534	14,50	13,87	10,15	17,37
35,70	17,50	4	0,088	-1,357	17,50	15,32	11,46	18,97
21,50	18,00	5	0,113	-1,213	18,00	16,59	12,61	20,38
24,50	19,10	6	0,138	-1,092	19,10	17,76	13,68	21,67
44,00	21,50	7	0,163	-0,984	21,50	18,86	14,70	22,89
95,20	21,60	8	0,188	-0,887	21,60	19,91	15,67	24,07
58,00	22,20	9	0,213	-0,798	22,20	20,93	16,61	25,22
65,00	22,50	10	0,238	-0,714	22,50	21,93	17,53	26,35
22,20	23,00	11	0,263	-0,635	23,00	22,92	18,44	27,48
47,00	23,50	12	0,288	-0,560	23,50	23,90	19,34	28,61
30,50	24,00	13	0,313	-0,488	24,00	24,88	20,24	29,75
32,00	24,00	14	0,338	-0,419	24,00	25,86	21,14	30,90
48,00	24,10	15	0,363	-0,351	24,10	26,86	22,05	32,08
65,90	24,50	16	0,388	-0,285	24,50	27,87	22,96	33,28
17,50	26,40	17	0,413	-0,221	26,40	28,89	23,88	34,52
30,90	26,50	18	0,438	-0,157	26,50	29,94	24,82	35,80
14,50	29,00	19	0,463	-0,094	29,00	31,01	25,78	37,12
76,30	30,50	20	0,488	-0,031	30,50	32,12	26,75	38,50
18,00	30,90	21	0,513	0,031	30,90	33,26	27,75	39,94
39,00	32,00	22	0,538	0,094	32,00	34,45	28,78	41,45
24,00	32,00	23	0,563	0,157	32,00	35,68	29,84	43,04
23,00	35,70	24	0,588	0,221	35,70	36,98	30,95	44,73
26,50	39,00	25	0,613	0,285	39,00	38,34	32,10	46,53
41,30	41,30	26	0,638	0,351	41,30	39,78	33,30	48,46
26,40	42,00	27	0,663	0,419	42,00	41,30	34,57	50,53
32,00	44,00	28	0,688	0,488	44,00	42,94	35,91	52,78
21,60	44,30	29	0,713	0,560	44,30	44,70	37,34	55,23
24,10	47,00	30	0,738	0,635	47,00	46,62	38,88	57,94
29,00	48,00	31	0,763	0,714	48,00	48,71	40,54	60,94
88,90	54,00	32	0,788	0,798	54,00	51,04	42,36	64,33
54,00	57,50	33	0,813	0,887	57,50	53,66	44,38	68,20
90,10	58,00	34	0,838	0,984	58,00	56,65	46,66	72,70
44,30	65,00	35	0,863	1,092	65,00	60,16	49,30	78,07
13,50	65,90	36	0,888	1,213	65,90	64,39	52,43	84,69
24,00	76,30	37	0,913	1,357	76,30	69,75	56,32	93,26
23,50	88,90	38	0,938	1,534	88,90	77,04	61,51	105,23
42,00	90,10	39	0,963	1,781	90,10	88,42	69,39	124,57
22,50	95,20	40	0,988	2,242	95,20	114,40	86,65	171,39

fréquence	U de Gaus	Valeur théorique	Borne inf	Borne sup	Valeur	Fréqthéo	Pér.Ret
0.8	0,841	52,31	43,34	66,19	52,31	0,800	5,0
0.9	1,282	66,90	54,26	88,67	66,90	0,900	10,0
0.95	1,645	81,96	64,95	113,50	81,96	0,950	20,1
0.98	2,054	103,01	79,19	150,45	103,01	0,980	50,5
0.99	2,327	119,96	90,24	181,83	119,96	0,990	99,9
0.999	3,091	183,82	129,52	310,56	183,82	0,999	820,3

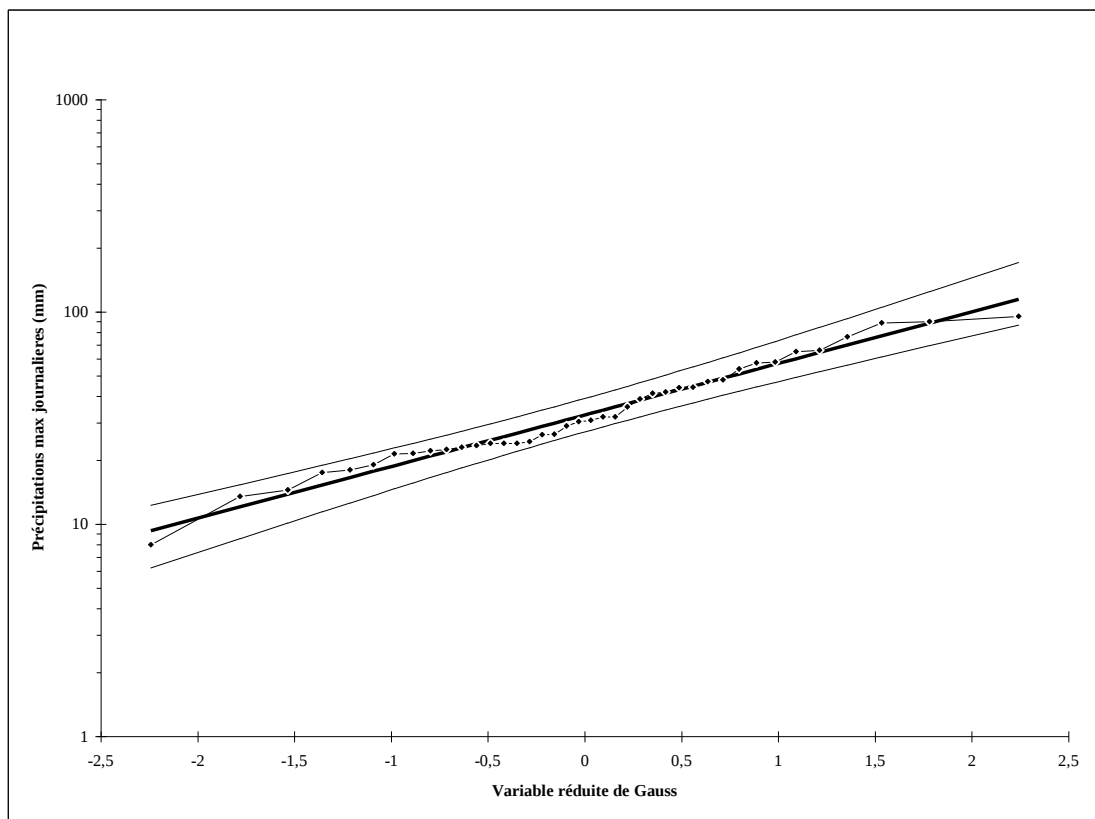


Figure (III.20) : Ajustement des précipitations maximales journalières à la loi Log normale
(khairane)

Tableau (III.21) : précipitation maximales journalières et leurs fréquences expérimentales
station de K.S.Nadji

Taille n=40 Moy.log(x-x0)=1.121 et log(x-x0)=0,258.IC. à (en 95%).U Gauss=1.96

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
16,30	4,00	1	0,013	-2,242	4,00	3,48	2,26	4,68
13,30	4,00	2	0,038	-1,781	4,00	4,58	3,18	5,92
12,00	4,00	3	0,063	-1,534	4,00	5,30	3,80	6,74
8,00	4,50	4	0,088	-1,357	4,50	5,89	4,32	7,40
12,80	5,00	5	0,113	-1,213	5,00	6,41	4,79	7,98
11,00	7,00	6	0,138	-1,092	7,00	6,90	5,23	8,52
14,00	7,87	7	0,163	-0,984	7,87	7,35	5,64	9,04
11,20	8,00	8	0,188	-0,887	8,00	7,79	6,03	9,53
24,40	8,00	9	0,213	-0,798	8,00	8,21	6,42	10,02
9,00	9,00	10	0,238	-0,714	9,00	8,63	6,80	10,50
8,00	9,50	11	0,263	-0,635	9,50	9,05	7,18	10,98
4,00	10,00	12	0,288	-0,560	10,00	9,46	7,55	11,46
18,50	11,00	13	0,313	-0,488	11,00	9,87	7,93	11,94
7,87	11,20	14	0,338	-0,419	11,20	10,29	8,30	12,44
12,00	12,00	15	0,363	-0,351	12,00	10,71	8,68	12,94
5,00	12,00	16	0,388	-0,285	12,00	11,14	9,07	13,46
10,00	12,80	17	0,413	-0,221	12,80	11,58	9,45	13,99
16,00	13,30	18	0,438	-0,157	13,30	12,02	9,85	14,54
23,00	14,00	19	0,463	-0,094	14,00	12,48	10,25	15,12
9,50	14,00	20	0,488	-0,031	14,00	12,96	10,67	15,71
18,52	15,18	21	0,513	0,031	15,18	13,45	11,09	16,34
15,18	16,00	22	0,538	0,094	16,00	13,96	11,53	17,00
19,06	16,00	23	0,563	0,157	16,00	14,49	11,98	17,70
4,00	16,00	24	0,588	0,221	16,00	15,05	12,46	18,44
7,00	16,30	25	0,613	0,285	16,30	15,64	12,95	19,23
4,00	16,50	26	0,638	0,351	16,50	16,27	13,47	20,07
4,50	18,00	27	0,663	0,419	18,00	16,94	14,01	20,99
16,50	18,50	28	0,688	0,488	18,50	17,65	14,59	21,99
18,00	18,52	29	0,713	0,560	18,52	18,42	15,21	23,08
19,00	19,00	30	0,738	0,635	19,00	19,26	15,88	24,28
16,00	19,00	31	0,763	0,714	19,00	20,19	16,60	25,62
14,00	19,06	32	0,788	0,798	19,06	21,22	17,40	27,14
36,00	20,00	33	0,813	0,887	20,00	22,37	18,28	28,88
30,00	23,00	34	0,838	0,984	23,00	23,71	19,28	30,91
31,50	24,00	35	0,863	1,092	24,00	25,27	20,45	33,35
40,00	24,40	36	0,888	1,213	24,40	27,17	21,83	36,37
19,00	30,00	37	0,913	1,357	30,00	29,58	23,56	40,30
16,00	31,50	38	0,938	1,534	31,50	32,89	25,88	45,83
20,00	36,00	39	0,963	1,781	36,00	38,08	29,42	54,84
24,00	40,00	40	0,988	2,242	40,00	50,09	37,27	77,02

fréquence	U de Gaus	Valeur théorique	Borne inf	Borne sup	Valeur	Fréqthéo	Pér.Ret
0.8	0,841	21,78	17,83	27,98	21,78	0,800	5,0
0.9	1,282	28,30	22,64	38,19	28,30	0,900	10,0
0.95	1,645	35,13	27,42	49,67	35,13	0,950	20,1
0.98	2,054	44,80	33,86	67,05	44,80	0,980	50,5
0.99	2,327	52,68	38,91	82,03	52,68	0,990	99,9
0.999	3,091	82,98	57,16	145,01	82,98	0,999	820,3

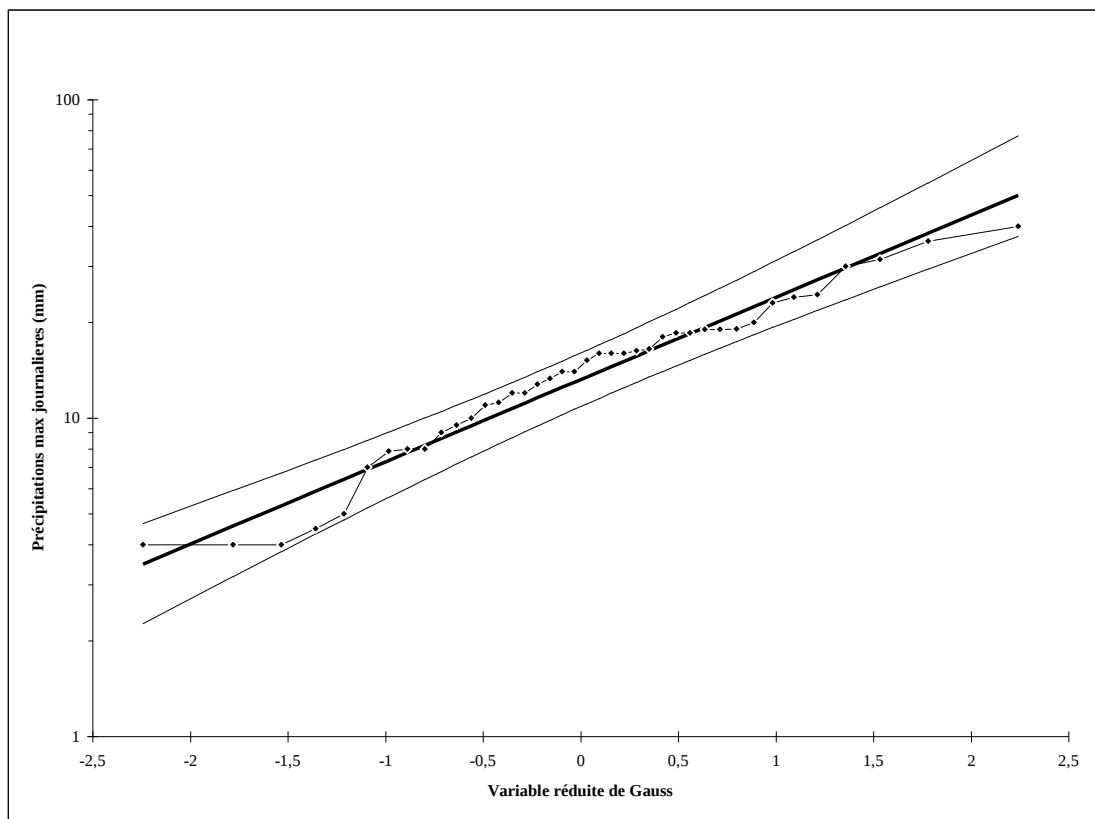


Figure (III.21) : Ajustement des précipitations maximales journalières à la loi Log normale
(K.S.Nadji)

Tableau (III.22) : précipitation maximales journalières et leurs fréquences expérimentales
station de Bouhmama

Taille n=40 Moy.log(x-x₀)=1.638 et log(x-x₀)=0,188.IC. à (en 95%).U Gauss=1.96

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
47,70	18,00	1	0,013	-2,242	18,00	16,45	12,02	20,41
29,20	18,50	2	0,038	-1,781	18,50	20,10	15,40	24,25
40,40	21,60	3	0,063	-1,534	21,60	22,36	17,56	26,63
87,60	25,70	4	0,088	-1,357	25,70	24,16	19,28	28,52
56,00	26,00	5	0,113	-1,213	26,00	25,70	20,78	30,15
28,00	28,00	6	0,138	-1,092	28,00	27,10	22,13	31,62
63,30	29,10	7	0,163	-0,984	29,10	28,39	23,39	33,00
82,00	29,20	8	0,188	-0,887	29,20	29,61	24,58	34,31
21,60	29,20	9	0,213	-0,798	29,20	30,78	25,72	35,57
26,00	30,00	10	0,238	-0,714	30,00	31,92	26,82	36,81
30,00	32,00	11	0,263	-0,635	32,00	33,02	27,90	38,02
25,70	32,20	12	0,288	-0,560	32,20	34,12	28,95	39,23
29,10	32,30	13	0,313	-0,488	32,30	35,20	29,99	40,43
60,20	33,80	14	0,338	-0,419	33,80	36,27	31,02	41,65
71,50	37,20	15	0,363	-0,351	37,20	37,35	32,05	42,87
57,50	37,30	16	0,388	-0,285	37,30	38,44	33,07	44,11
18,50	38,10	17	0,413	-0,221	38,10	39,53	34,10	45,38
37,20	40,40	18	0,438	-0,157	40,40	40,64	35,13	46,68
42,80	40,50	19	0,463	-0,094	40,50	41,76	36,18	48,01
72,00	42,00	20	0,488	-0,031	42,00	42,91	37,24	49,39
32,20	42,80	21	0,513	0,031	42,80	44,09	38,31	50,82
32,30	42,80	22	0,538	0,094	42,80	45,31	39,41	52,30
37,30	43,80	23	0,563	0,157	43,80	46,56	40,54	53,86
67,70	47,70	24	0,588	0,221	47,70	47,87	41,70	55,49
33,80	56,00	25	0,613	0,285	56,00	49,23	42,89	57,21
74,90	56,70	26	0,638	0,351	56,70	50,66	44,14	59,04
38,10	57,50	27	0,663	0,419	57,50	52,16	45,44	61,00
75,00	60,00	28	0,688	0,488	60,00	53,76	46,80	63,09
42,80	60,20	29	0,713	0,560	60,20	55,46	48,24	65,36
42,00	61,40	30	0,738	0,635	61,40	57,30	49,77	67,83
18,00	63,30	31	0,763	0,714	63,30	59,29	51,41	70,54
32,00	67,70	32	0,788	0,798	67,70	61,47	53,19	73,56
61,40	71,50	33	0,813	0,887	71,50	63,90	55,15	76,97
60,00	72,00	34	0,838	0,984	72,00	66,66	57,34	80,89
43,80	74,50	35	0,863	1,092	74,50	69,83	59,84	85,49
74,50	74,90	36	0,888	1,213	74,90	73,62	62,77	91,06
29,20	75,00	37	0,913	1,357	75,00	78,33	66,36	98,13
82,30	82,00	38	0,938	1,534	82,00	84,62	71,05	107,78
56,70	82,30	39	0,963	1,781	82,30	94,16	78,02	122,86
40,50	87,60	40	0,988	2,242	87,60	115,00	92,69	157,37

fréquence	U de Gaus	Valeur théorique	Borne inf	Borne sup	Valeur	Fréqthéo	Pér.Ret
0.8	0,841	62,65	54,15	75,21	62,65	0,800	5,0
0.9	1,282	75,83	64,46	94,36	75,83	0,900	10,0
0.95	1,645	88,78	74,11	114,29	88,78	0,950	20,1
0.98	2,054	106,01	86,44	142,23	106,01	0,980	50,5
0.99	2,327	119,31	95,66	164,76	119,31	0,990	99,9
0.999	3,091	166,15	126,62	249,60	166,15	0,999	820,3

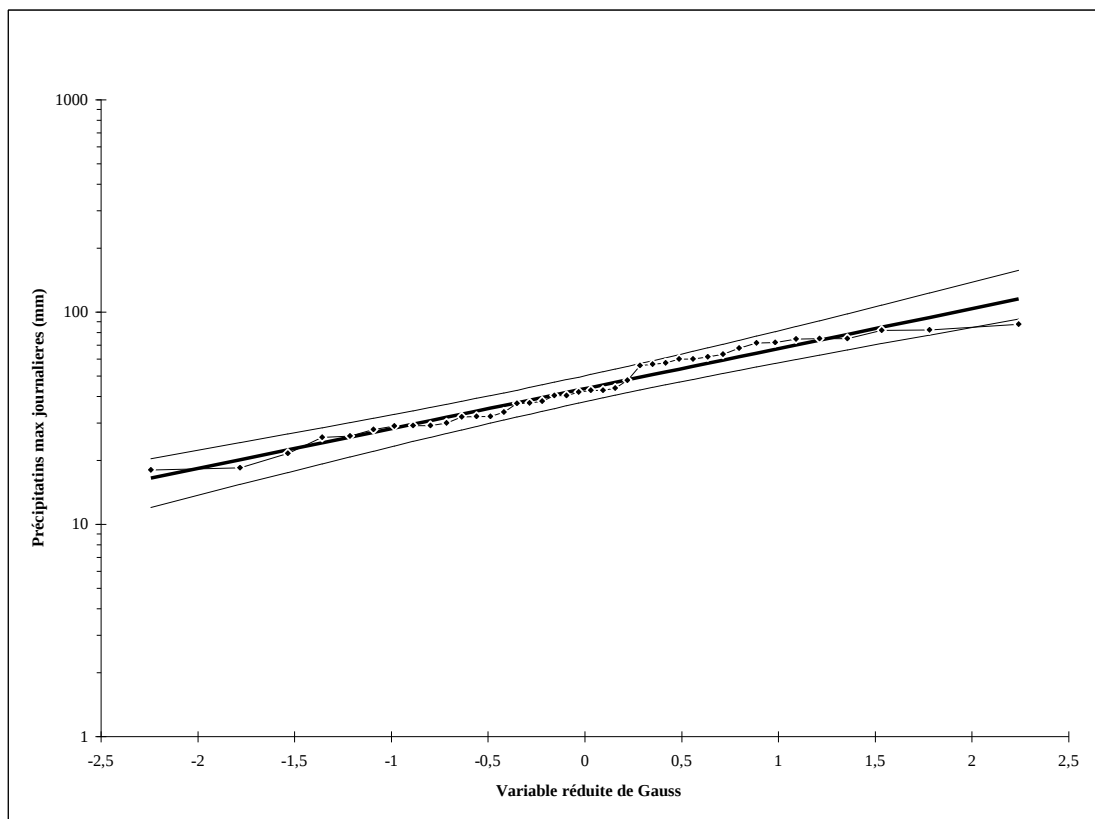


Figure (III.22) : Ajustement des précipitations maximales journalières à la loi Log normale
(Bouhmama)

Tableau (III.23) : précipitation maximales journalières et leurs fréquences expérimentales
station d'Oul.chalih

Taille n=40 Moy.log(x-x₀)=1.531 et log(x-x₀)=0,195.IC. à (en 95%).U Gauss=1.96

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
21,10	13,70	1	0,013	-2,242	13,70	12,43	8,98	15,53
32,40	15,70	2	0,038	-1,781	15,70	15,28	11,61	18,56
68,00	16,50	3	0,063	-1,534	16,50	17,06	13,29	20,44
43,10	16,70	4	0,088	-1,357	16,70	18,48	14,64	21,94
48,00	16,80	5	0,113	-1,213	16,80	19,71	15,82	23,24
26,30	17,00	6	0,138	-1,092	17,00	20,81	16,88	24,42
27,40	20,50	7	0,163	-0,984	20,50	21,84	17,88	25,52
20,50	21,10	8	0,188	-0,887	21,10	22,81	18,82	26,56
35,10	23,70	9	0,213	-0,798	23,70	23,75	19,72	27,58
46,90	25,50	10	0,238	-0,714	25,50	24,65	20,60	28,57
40,50	26,30	11	0,263	-0,635	26,30	25,54	21,45	29,54
27,70	26,30	12	0,288	-0,560	26,30	26,41	22,29	30,51
47,10	27,40	13	0,313	-0,488	27,40	27,28	23,12	31,48
68,60	27,70	14	0,338	-0,419	27,70	28,14	23,94	32,46
49,50	29,40	15	0,363	-0,351	29,40	29,01	24,76	33,45
41,90	29,80	16	0,388	-0,285	29,80	29,88	25,58	34,45
36,90	32,40	17	0,413	-0,221	32,40	30,75	26,40	35,47
41,20	35,10	18	0,438	-0,157	35,10	31,65	27,23	36,52
79,60	36,20	19	0,463	-0,094	36,20	32,55	28,06	37,60
56,10	36,50	20	0,488	-0,031	36,50	33,48	28,91	38,72
26,30	36,90	21	0,513	0,031	36,90	34,43	29,78	39,88
29,40	40,20	22	0,538	0,094	40,20	35,41	30,66	41,08
36,20	40,50	23	0,563	0,157	40,50	36,43	31,57	42,34
29,80	41,20	24	0,588	0,221	41,20	37,49	32,50	43,67
42,50	41,90	25	0,613	0,285	41,90	38,59	33,47	45,08
16,70	42,50	26	0,638	0,351	42,50	39,75	34,47	46,57
17,00	42,50	27	0,663	0,419	42,50	40,97	35,52	48,16
50,20	42,50	28	0,688	0,488	42,50	42,27	36,62	49,87
13,70	43,10	29	0,713	0,560	43,10	43,65	37,78	51,73
15,70	45,20	30	0,738	0,635	45,20	45,14	39,02	53,75
25,50	46,90	31	0,763	0,714	46,90	46,77	40,36	55,97
23,70	47,10	32	0,788	0,798	47,10	48,55	41,81	58,46
36,50	48,00	33	0,813	0,887	48,00	50,54	43,40	61,26
40,20	49,50	34	0,838	0,984	49,50	52,79	45,18	64,48
66,10	50,20	35	0,863	1,092	50,20	55,39	47,22	68,28
16,80	56,10	36	0,888	1,213	56,10	58,50	49,61	72,89
16,50	66,10	37	0,913	1,357	66,10	62,38	52,54	78,75
45,20	68,00	38	0,938	1,534	68,00	67,56	56,39	86,76
42,50	68,60	39	0,963	1,781	68,60	75,45	62,12	99,34
42,50	79,60	40	0,988	2,242	79,60	92,78	74,24	128,32

fréquence	U de Gaus	Valeur théorique	Borne inf	Borne sup	Valeur	Fréqthéo	Pér.Ret
0.8	0,841	49,52	42,58	59,81	49,52	0,800	5,0
0.9	1,282	60,32	50,99	75,62	60,32	0,900	10,0
0.95	1,645	71,00	58,91	92,19	71,00	0,950	20,1
0.98	2,054	85,29	69,07	115,58	85,29	0,980	50,5
0.99	2,327	96,38	76,69	134,56	96,38	0,990	99,9
0.999	3,091	135,73	102,49	206,75	135,73	0,999	820,3

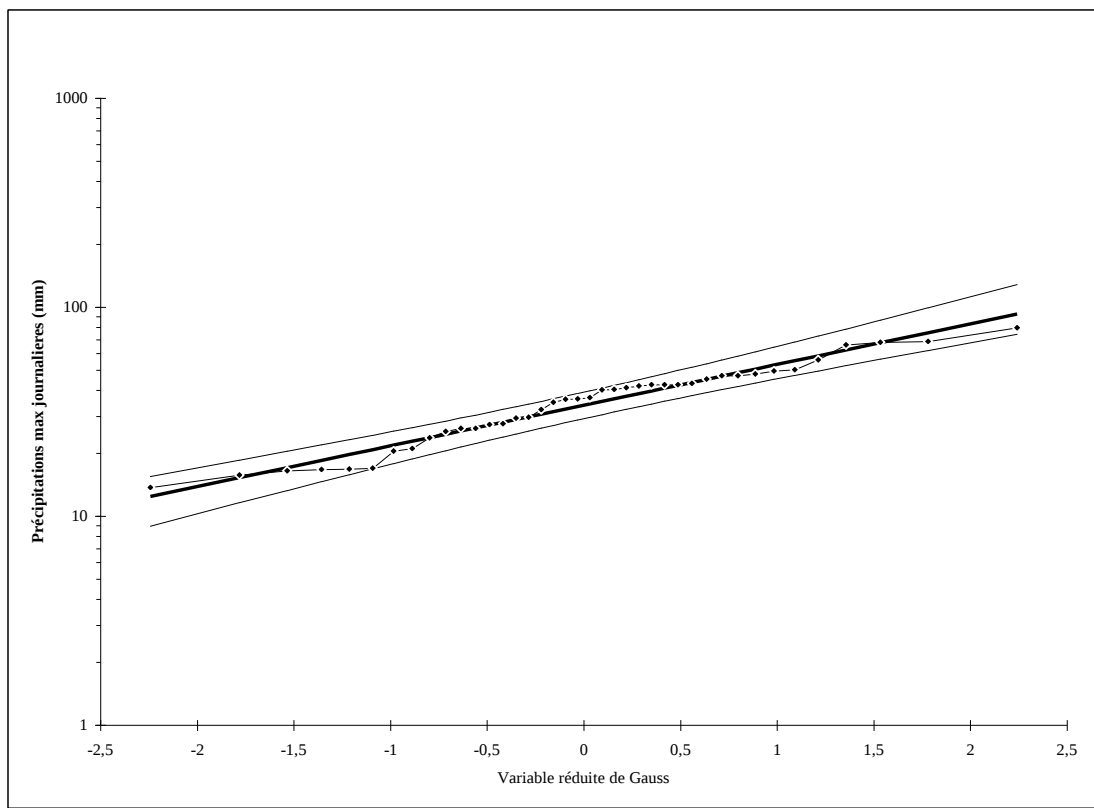


Figure (III.23) : Ajustement des précipitations maximales journalières à la loi log normale(Ouledchalih)

Tableau (III.24) : précipitation maximales journalières et leurs fréquences expérimentales
station de Boudila

Taille n=40 Moy.log(x-x₀)=1.498 et log(x-x₀)=0,196.IC. à (en 95%).U Gauss=1.96

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
10,70	10,70	1	0,013	-2,242	10,70	11,46	8,27	14,33
40,50	13,50	2	0,038	-1,781	13,50	14,10	10,70	17,14
36,70	14,70	3	0,063	-1,534	14,70	15,76	12,26	18,89
19,20	16,00	4	0,088	-1,357	16,00	17,07	13,51	20,28
14,70	19,20	5	0,113	-1,213	19,20	18,21	14,60	21,49
25,30	20,80	6	0,138	-1,092	20,80	19,23	15,59	22,58
34,30	20,80	7	0,163	-0,984	20,80	20,19	16,51	23,60
26,20	21,50	8	0,188	-0,887	21,50	21,09	17,38	24,58
22,00	21,50	9	0,213	-0,798	21,50	21,96	18,22	25,52
48,50	22,00	10	0,238	-0,714	22,00	22,80	19,03	26,44
35,36	22,50	11	0,263	-0,635	22,50	23,62	19,83	27,34
51,70	23,00	12	0,288	-0,560	23,00	24,43	20,60	28,25
21,50	25,30	13	0,313	-0,488	25,30	25,24	21,37	29,15
34,00	26,20	14	0,338	-0,419	26,20	26,04	22,14	30,06
50,90	26,50	15	0,363	-0,351	26,50	26,85	22,90	30,98
54,00	27,40	16	0,388	-0,285	27,40	27,65	23,66	31,91
23,00	28,00	17	0,413	-0,221	28,00	28,47	24,42	32,86
20,80	30,80	18	0,438	-0,157	30,80	29,30	25,19	33,84
22,50	32,00	19	0,463	-0,094	32,00	30,15	25,97	34,84
30,80	32,10	20	0,488	-0,031	32,10	31,01	26,76	35,88
26,50	32,90	21	0,513	0,031	32,90	31,89	27,56	36,96
21,50	33,80	22	0,538	0,094	33,80	32,81	28,38	38,08
16,00	34,00	23	0,563	0,157	34,00	33,75	29,23	39,26
32,00	34,30	24	0,588	0,221	34,30	34,73	30,09	40,50
20,80	35,00	25	0,613	0,285	35,00	35,76	30,99	41,80
28,00	35,36	26	0,638	0,351	35,36	36,84	31,93	43,19
35,00	36,70	27	0,663	0,419	36,70	37,98	32,90	44,68
60,00	40,50	28	0,688	0,488	40,50	39,18	33,93	46,27
13,50	45,00	29	0,713	0,560	45,00	40,48	35,01	48,00
45,00	48,20	30	0,738	0,635	48,20	41,87	36,17	49,88
60,70	48,50	31	0,763	0,714	48,50	43,38	37,41	51,96
67,50	49,40	32	0,788	0,798	49,40	45,04	38,76	54,27
48,20	49,60	33	0,813	0,887	49,60	46,89	40,24	56,89
58,90	50,90	34	0,838	0,984	50,90	48,99	41,90	59,90
49,60	51,70	35	0,863	1,092	51,70	51,42	43,80	63,44
33,80	54,00	36	0,888	1,213	54,00	54,32	46,03	67,74
32,10	58,90	37	0,913	1,357	58,90	57,93	48,76	73,21
49,40	60,00	38	0,938	1,534	60,00	62,76	52,35	80,69
32,90	60,70	39	0,963	1,781	60,70	70,13	57,69	92,45
27,40	67,50	40	0,988	2,242	67,50	86,31	69,00	119,56

fréquence	U de Gaus	Valeur théorique	Borne inf	Borne sup	Valeur	Fréqthéo	Pér.Ret
0.8	0,841	45,94	39,48	55,54	45,94	0,800	5,0
0.9	1,282	56,01	47,31	70,29	56,01	0,900	10,0
0.95	1,645	65,98	54,69	85,77	65,98	0,950	20,1
0.98	2,054	79,32	64,17	107,64	79,32	0,980	50,5
0.99	2,327	89,68	71,29	125,39	89,68	0,990	99,9
0.999	3,091	126,49	95,39	193,03	126,49	0,999	820,3

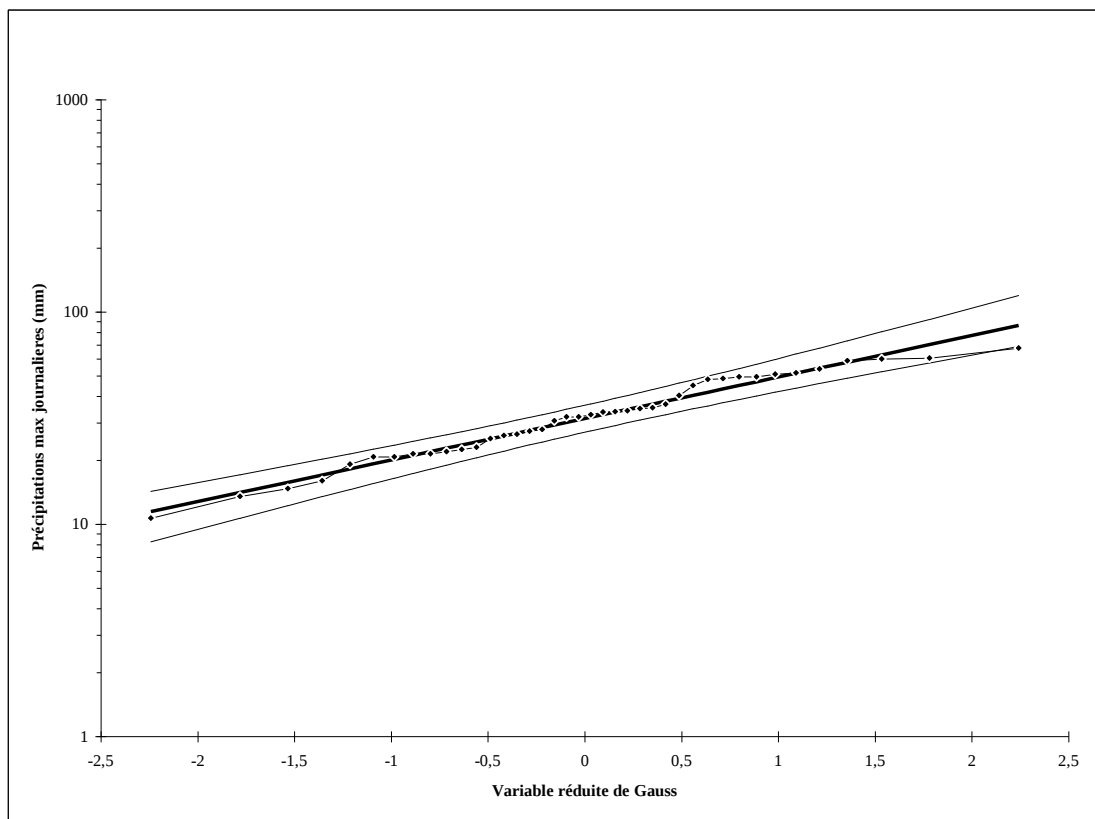


Figure (III.24) : Ajustement des précipitations maximales journalières à la loi Log normale (Boudila)

Tableau (III.25) : précipitation mensuelle et leurs fréquences expérimentales (Foum El Gerza)

Taille n=12 Moyenne = 8,558 Ecart Type=4,237.IC. à (en 95%).U Gauss=1.96

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
11,72	0,48	1	0,0417	-1,732	0,48	1,22	-4,69	4,33
9,09	1,95	2	0,1250	-1,150	1,95	3,68	-0,93	6,43
13,82	4,69	3	0,2083	-0,812	4,69	5,12	1,17	7,75
9,06	7,98	4	0,2917	-0,548	7,98	6,24	2,73	8,85
12,29	8,48	5	0,3750	-0,318	8,48	7,21	4,03	9,88
7,98	9,06	6	0,4583	-0,104	9,06	8,12	5,17	10,89
12,74	9,09	7	0,5417	0,104	9,09	9,00	6,22	11,95
10,42	10,42	8	0,6250	0,318	10,42	9,91	7,24	13,09
8,48	11,72	9	0,7083	0,548	11,72	10,88	8,26	14,39
4,69	12,29	10	0,7917	0,812	12,29	12,00	9,36	15,95
0,48	12,74	11	0,8750	1,150	12,74	13,43	10,68	18,04
1,95	13,82	12	0,9583	1,732	13,82	15,90	12,78	21,81

fréquence	U de Gaus	Valeur théorique	Borne inf	Borne sup	Valeur	Fréqthéo	Pér.Ret
0.8	0,841	12,12	9,48	16,13	12,12	0,800	5,0
0.9	1,282	13,99	11,17	18,88	13,99	0,900	10,0
0.95	1,645	15,53	12,48	21,24	15,53	0,950	20,1
0.98	2,054	17,26	13,89	23,96	17,26	0,980	50,5
0.99	2,327	18,42	14,80	25,79	18,42	0,990	99,9
0.999	3,091	21,65	17,29	31,01	21,65	0,999	820,3

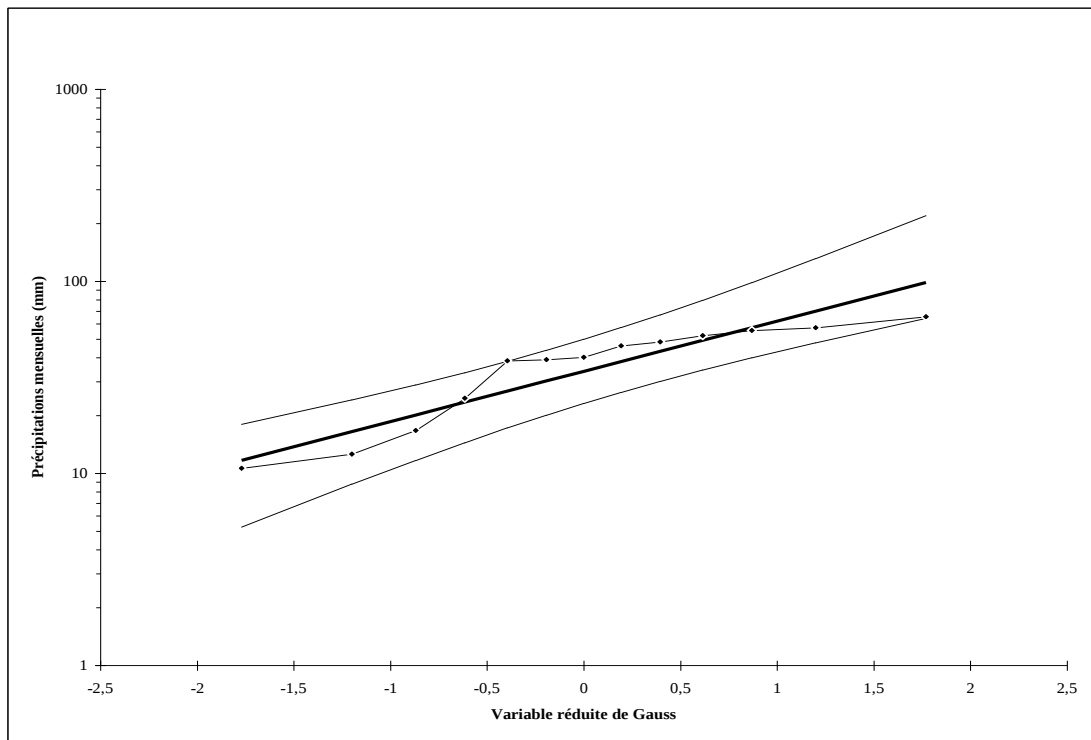


Figure (III.25) : Ajustement des précipitations mensuelles à la loi Log normale (Foum El Gherza)

Tableau (III.26) : précipitation mensuelle et leurs fréquences expérimentales (Médina)

Taille $n=12$ Moy. $\log(x-x_0)= 1,537$ et $\log(x-x_0) = 0,166$.IC. à (en 95%).U Gauss=1.96

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
48,43	11,95	1	0,042	-1,732	11,95	17,78	10,43	23,55
36,41	26,03	2	0,125	-1,150	26,03	22,21	14,65	28,47
42,78	30,56	3	0,208	-0,812	30,56	25,28	17,70	32,07
42,91	31,07	4	0,292	-0,548	31,07	27,96	20,38	35,42
36,70	36,41	5	0,375	-0,318	36,41	30,53	22,91	38,85
31,07	36,70	6	0,458	-0,104	36,70	33,13	25,40	42,57
42,01	40,51	7	0,542	0,104	40,51	35,89	27,93	46,82
40,51	42,01	8	0,625	0,318	42,01	38,94	30,61	51,90
47,30	42,78	9	0,708	0,548	42,78	42,52	33,57	58,34
26,03	42,91	10	0,792	0,812	42,91	47,04	37,08	67,17
11,95	47,30	11	0,875	1,150	47,30	53,53	41,76	81,15
30,56	48,43	12	0,958	1,732	48,43	66,86	50,48	114,01

fréquence	U de Gaus	Valeur théorique	Borne inf	Borne sup	Valeur	Fréqthéo	Pér.Ret
0.8	0,841	47,57	37,48	68,26	47,57	0,800	5,0
0.9	1,282	56,29	43,65	87,50	56,29	0,900	10,0
0.95	1,645	64,68	49,12	108,27	64,68	0,950	20,1
0.98	2,054	75,63	55,77	138,37	75,63	0,980	50,5
0.99	2,327	83,94	60,56	163,32	83,94	0,990	99,9
0.999	3,091	112,40	75,81	261,52	112,40	0,999	820,3

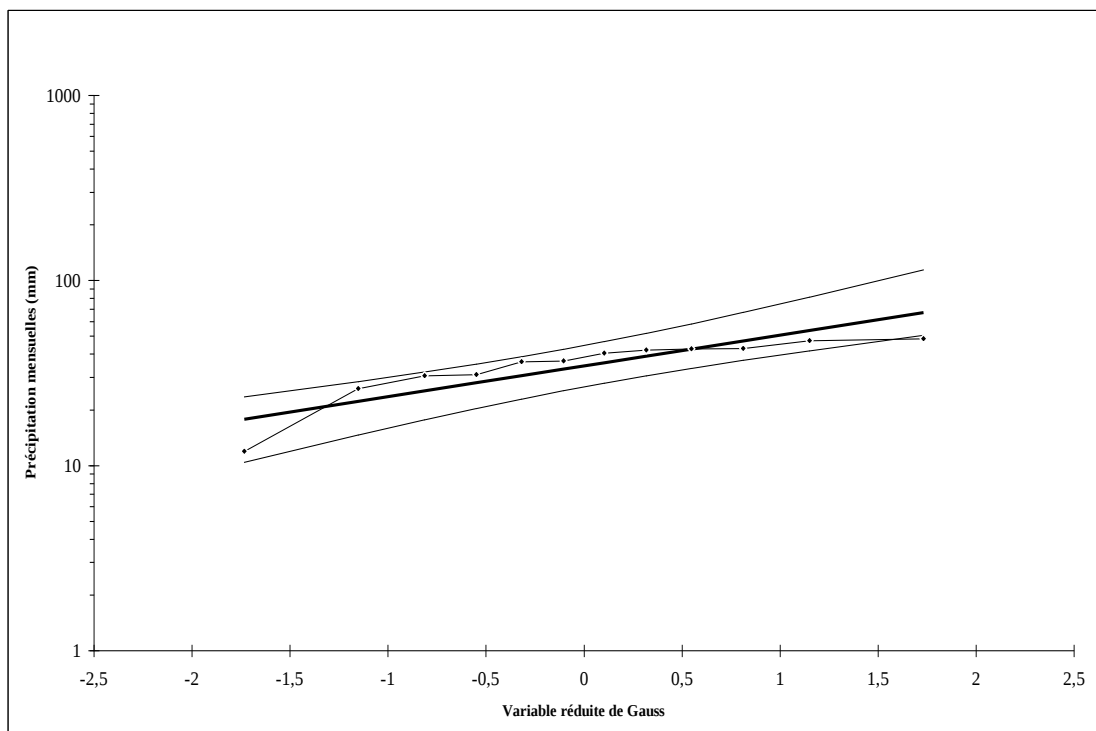


Figure (III.26) : Ajustement des précipitations mensuelles à la loi Log normale (Mdina)

Tableau (III.27) : précipitation mensuelle et leurs fréquences expérimentales (Takout)

Taille $n=13$ Moy. $\log(x-x_0)=1,339$ et $\log(x-x_0)=0,148$.IC. à (en 95%).U Gauss=1.96

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
34,46	9,04	1	0,042	-1,732	9,04	12,09	7,51	15,53
27,38	16,35	2	0,125	-1,150	16,35	14,74	10,17	18,40
27,55	19,45	3	0,208	-0,812	19,45	16,55	12,04	20,46
25,35	19,86	4	0,292	-0,548	19,86	18,11	13,65	22,36
19,45	20,10	5	0,375	-0,318	20,10	19,58	15,15	24,28
20,10	23,91	6	0,458	-0,104	23,91	21,07	16,61	26,35
25,28	25,28	7	0,542	0,104	25,28	22,62	18,09	28,68
23,91	25,35	8	0,625	0,318	25,35	24,33	19,63	31,45
25,63	25,63	9	0,708	0,548	25,63	26,32	21,31	34,91
16,35	27,38	10	0,792	0,812	27,38	28,80	23,29	39,59
9,04	27,55	11	0,875	1,150	27,55	32,33	25,90	46,87
19,86	34,46	12	0,958	1,732	34,46	39,43	30,68	63,49

fréquence	U de Gaus	Valeur théorique	Borne inf	Borne sup	Valeur	Fréqthéo	Pér.Ret
0.8	0,841	29,09	23,52	40,16	29,09	0,800	5,0
0.9	1,282	33,81	26,94	50,13	33,81	0,900	10,0
0.95	1,645	38,28	29,94	60,62	38,28	0,950	20,1
0.98	2,054	44,01	33,53	75,46	44,01	0,980	50,5
0.99	2,327	48,30	36,09	87,50	48,30	0,990	99,9
0.999	3,091	62,68	44,10	133,21	62,68	0,999	820,3

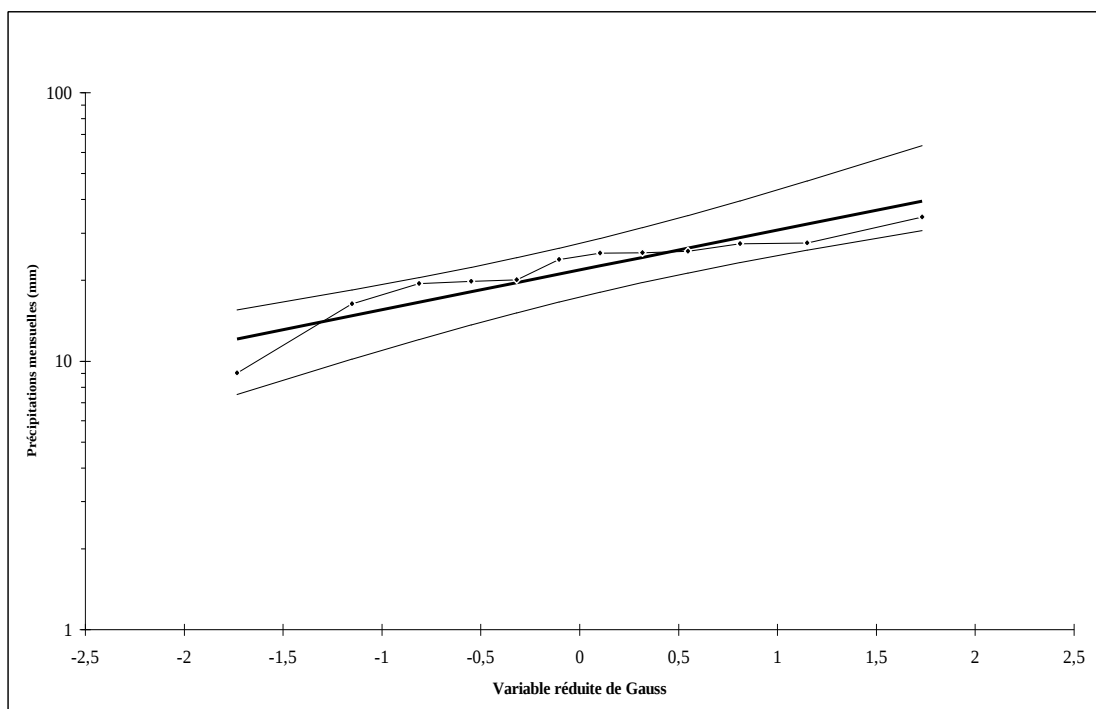


Figure (III.26) : Ajustement des précipitations mensuelles à la loi Log normale (T' Akout)

Tableau (III.27) : précipitation mensuelle et leurs fréquences expérimentales (Téfelfel)

Taille n=13 Moyenne = 13,435 et Ecart Type = 5,035.IC. à (en 95%).U Gauss=1.96

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
24,97	3,47	1	0,0417	-1,732	3,47	4,71	-2,31	8,42
18,49	11,15	2	0,1250	-1,150	11,15	7,64	2,16	10,91
15,31	11,37	3	0,2083	-0,812	11,37	9,35	4,65	12,48
13,37	11,38	4	0,2917	-0,548	11,38	10,68	6,51	13,79
11,38	12,37	5	0,3750	-0,318	12,37	11,83	8,05	15,01
12,37	12,49	6	0,4583	-0,104	12,49	12,91	9,41	16,21
11,37	12,51	7	0,5417	0,104	12,51	13,96	10,66	17,46
14,35	13,37	8	0,6250	0,318	13,37	15,04	11,87	18,82
12,51	14,35	9	0,7083	0,548	14,35	16,20	13,08	20,36
11,15	15,31	10	0,7917	0,812	15,31	17,52	14,39	22,22
3,47	18,49	11	0,8750	1,150	18,49	19,23	15,96	24,71
12,49	24,97	12	0,9583	1,732	24,97	22,16	18,46	29,19

fréquence	U de Gaus	Valeur théorique	Borne inf	Borne sup	Valeur	Fréqthéo	Pér.Ret
0,8	0,841	17,67	14,53	22,43	17,67	0,800	5,0
0,9	1,282	19,89	16,54	25,70	19,89	0,900	10,0
0,95	1,645	21,72	18,09	28,51	21,72	0,950	20,1
0,98	2,054	23,78	19,77	31,74	23,78	0,980	50,5
0,99	2,327	25,15	20,85	33,92	25,15	0,990	99,9
0,999	3,091	29,00	23,81	40,12	29,00	0,999	820,3

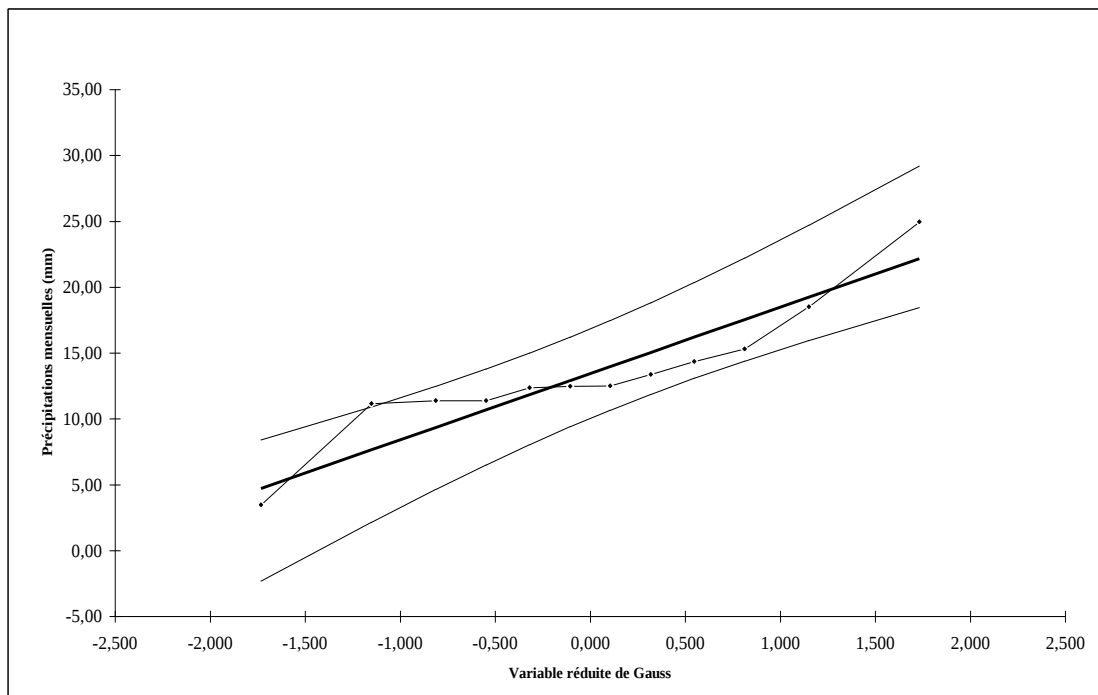


Figure (III.26) : Ajustement des précipitations mensuelles à la loi Log normale (Téfelfel)

Tableau (III.27) : précipitation mensuelle et leurs fréquences expérimentales (T.Abed)

Taille n=12 Moyenne = 22,037 et Ecart Type = 9,169.IC. à (en 95%).U Gauss=1.96

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
43,06	4,37	1	0,042	-1,732	4,37	7,57	3,49	11,37
23,28	4,37	2	0,125	-1,150	13,29	10,45	5,72	14,97
24,22	13,29	3	0,208	-0,812	17,15	12,60	7,52	17,79
27,25	17,15	4	0,292	-0,548	17,66	14,59	9,22	20,54
21,70	17,66	5	0,375	-0,318	21,70	16,57	10,92	23,49
17,66	21,70	6	0,458	-0,104	23,01	18,65	12,69	26,82
23,01	23,01	7	0,542	0,104	23,28	20,94	14,56	30,79
25,79	23,28	8	0,625	0,318	23,66	23,57	16,63	35,75
23,66	23,66	9	0,708	0,548	24,22	26,78	19,01	42,35
13,29	24,22	10	0,792	0,812	25,79	30,99	21,95	51,95
4,37	25,79	11	0,875	1,150	27,25	37,39	26,09	68,32
17,15	27,25	12	0,958	1,732	43,06	51,61	34,34	111,84

fréquence	U de Gaus	Valeur théorique	Borne inf	Borne sup	Valeur	Fréqthéo	Pér.Ret
0,8	0,841	31,50	22,30	53,17	31,50	0,800	5,0
0,9	1,282	40,21	27,81	76,21	40,21	0,900	10,0
0,95	1,645	49,18	33,00	103,77	49,18	0,950	20,1
0,98	2,054	61,69	39,67	148,08	61,69	0,980	50,5
0,99	2,327	71,75	44,71	188,31	71,75	0,990	99,9
0,999	3,091	109,56	61,91	372,60	109,56	0,999	820,3

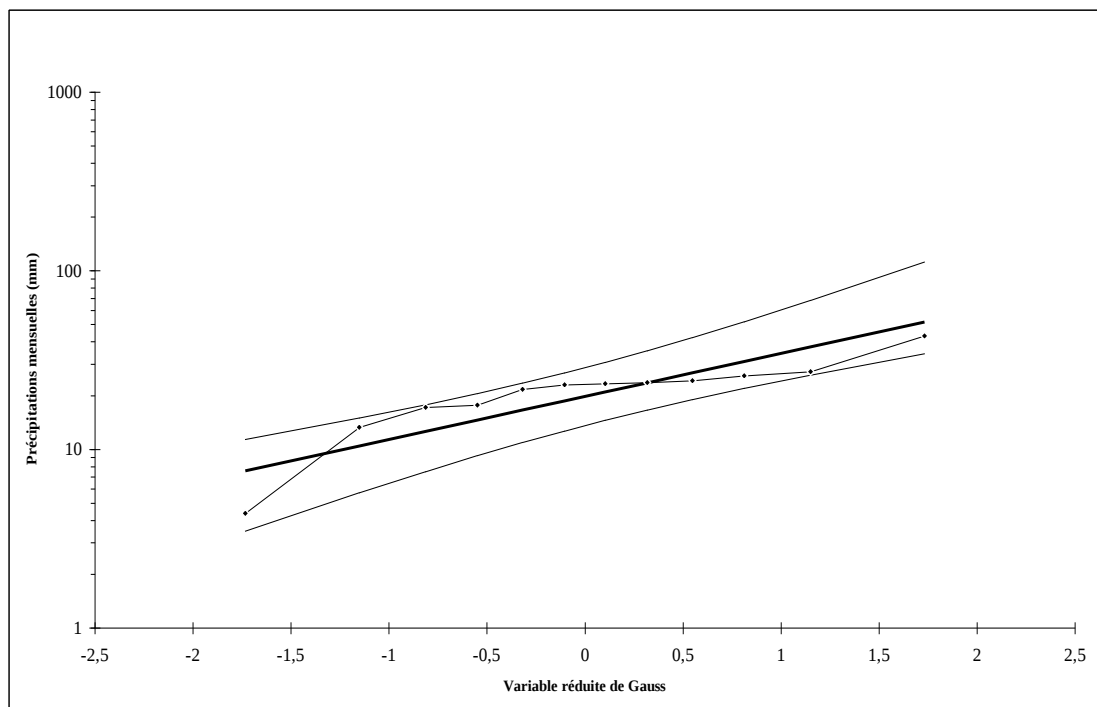


Figure (III.27) : Ajustement des précipitations mensuelles à la loi Log normale (T.Abed)

Tableau (III.28) : précipitation mensuelle et leurs fréquences expérimentales (Mena)

Taille $n=12$ Moyenne =19,354 et Ecart Type = 7,847. IC. à (en 95%). U Gauss=1.9604

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
31,79	3,06	1	0,0417	-1,732	3,06	5,76	-5,19	11,53
21,67	8,79	2	0,1250	-1,150	8,79	10,33	1,79	15,42
25,29	11,80	3	0,2083	-0,812	11,80	12,98	5,67	17,86
22,81	19,25	4	0,2917	-0,548	19,25	15,05	8,56	19,90
20,22	20,22	5	0,3750	-0,318	20,22	16,86	10,96	21,80
20,78	20,78	6	0,4583	-0,104	20,78	18,54	13,08	23,68
23,81	21,67	7	0,5417	0,104	21,67	20,17	15,03	25,63
22,99	22,81	8	0,6250	0,318	22,81	21,85	16,91	27,75
19,25	22,99	9	0,7083	0,548	22,99	23,66	18,81	30,15
11,80	23,81	10	0,7917	0,812	23,81	25,73	20,84	33,04
3,06	25,29	11	0,8750	1,150	25,29	28,38	23,29	36,92
8,79	31,79	12	0,9583	1,732	31,79	32,95	27,18	43,90

fréquence	U de Gaus	Valeur théorique	Borne inf	Borne sup	Valeur	Fréqthéo	Pér.Ret
0,8	0,841	25,96	21,06	33,37	25,96	0,800	5,0
0,9	1,282	29,41	24,19	38,47	29,41	0,900	10,0
0,95	1,645	32,27	26,62	42,84	32,27	0,950	20,1
0,98	2,054	35,48	29,22	47,87	35,48	0,980	50,5
0,99	2,327	37,62	30,92	51,28	37,62	0,990	99,9
0,999	3,091	43,61	35,52	60,94	43,61	0,999	820,3

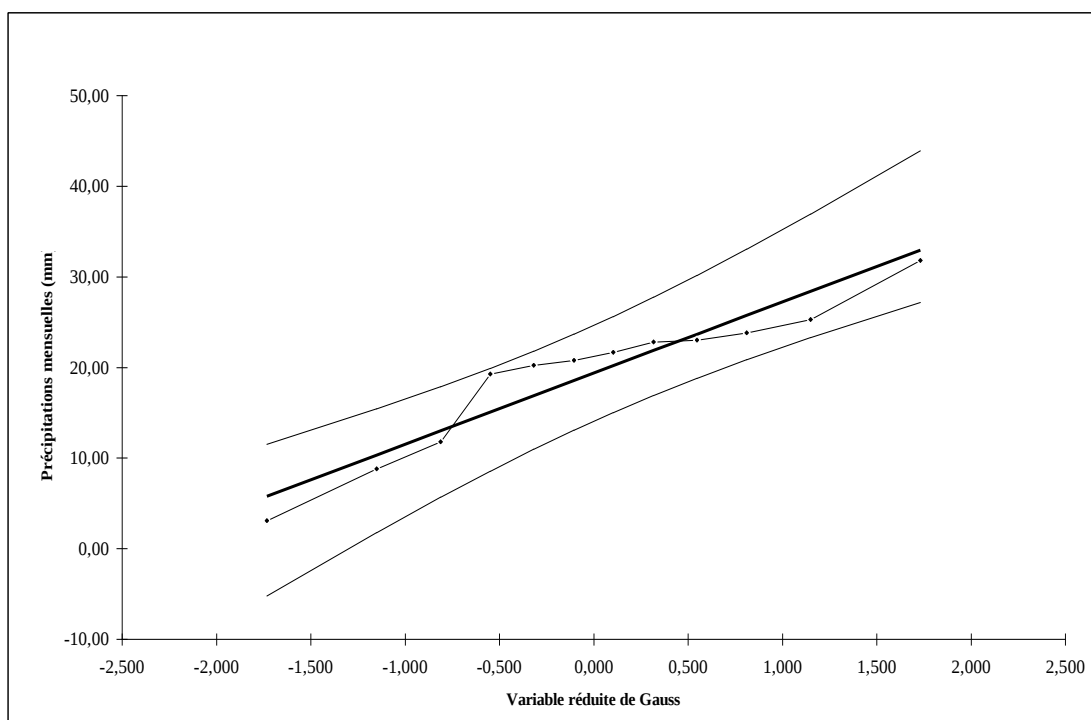


Figure (III.28) : Ajustement des précipitations mensuelles à la loi Log normale (Mena)

Tableau (III.29) : précipitation mensuelle et leurs fréquences expérimentales (Biskra)

Taille n=12 Moyenne = 9,741 Ecart Type =5,595 .IC. à (en 95%).U Gauss=1.96

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
15,95	0,60	1	0,0417	-1,732	0,60	0,04	-7,77	4,16
9,26	1,88	2	0,1250	-1,150	1,88	3,30	-2,79	6,93
15,99	3,84	3	0,2083	-0,812	3,84	5,19	-0,02	8,68
9,84	8,01	4	0,2917	-0,548	8,01	6,67	2,04	10,13
17,05	8,59	5	0,3750	-0,318	8,59	7,96	3,75	11,49
8,01	9,26	6	0,4583	-0,104	9,26	9,16	5,26	12,83
15,03	9,84	7	0,5417	0,104	9,84	10,33	6,65	14,22
10,85	10,85	8	0,6250	0,318	10,85	11,52	8,00	15,73
8,59	15,03	9	0,7083	0,548	15,03	12,81	9,35	17,44
3,84	15,95	10	0,7917	0,812	15,95	14,29	10,80	19,51
0,60	15,99	11	0,8750	1,150	15,99	16,18	12,55	22,28
1,88	17,05	12	0,9583	1,732	17,05	19,44	15,32	27,25

fréquence	U de Gaus	Valeur théorique	Borne inf	Borne sup	Valeur	Fréqthéo	Pér.Ret
0,8	0,841	14,45	10,96	19,74	14,45	0,800	5,0
0,9	1,282	16,92	13,19	23,38	16,92	0,900	10,0
0,95	1,645	18,95	14,92	26,50	18,95	0,950	20,1
0,98	2,054	21,24	16,78	30,09	21,24	0,980	50,5
0,99	2,327	22,77	17,99	32,52	22,77	0,990	99,9
0,999	3,091	27,05	21,28	39,41	27,05	0,999	820,3

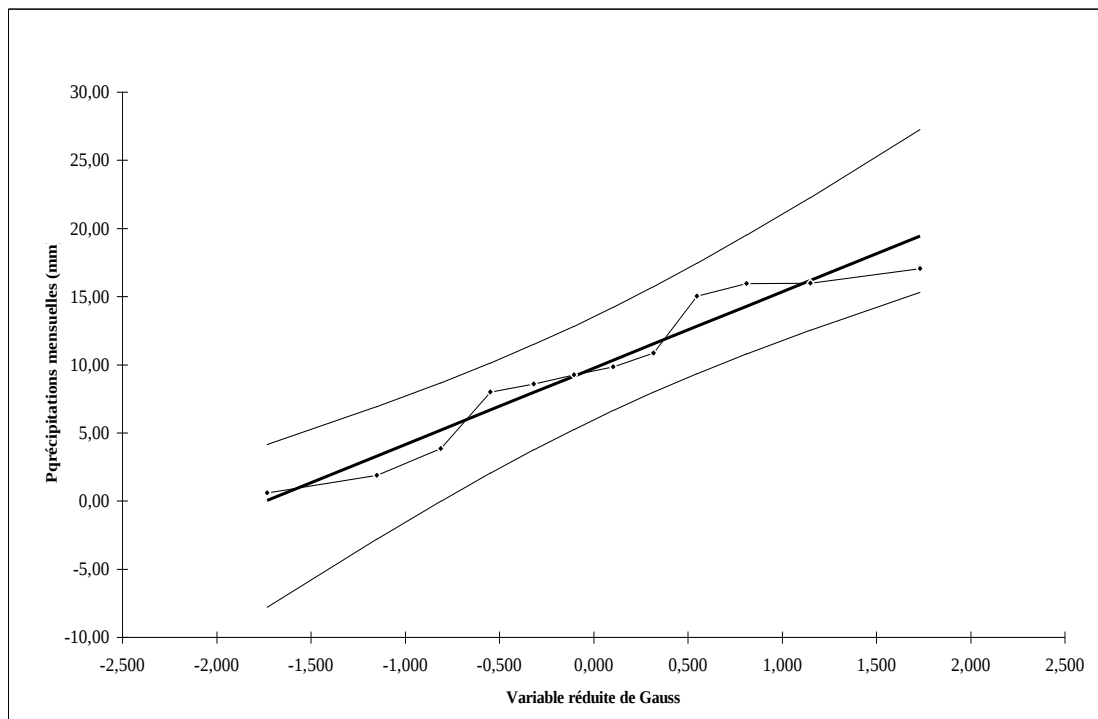
**Figure (III.29) : Ajustement des précipitations mensuelles à la loi Log normale (Biskra)**

Tableau (III.30) : précipitation mensuelle et leurs fréquences expérimentales (Baber)
 Taille $n=12$ Moy. $\log(x-x_0)= 1,419$ E.T. $\log(x-x_0)= 0,118$.IC. à (en 95%).U Gauss=1.96

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
38,43	14,02	1	0,042	-1,732	14,02	16,37	11,17	20,01
32,25	21,99	2	0,125	-1,150	21,99	19,19	14,25	22,92
28,88	22,23	3	0,208	-0,812	22,23	21,05	16,31	24,95
23,64	22,94	4	0,292	-0,548	22,94	22,62	18,04	26,79
21,99	23,64	5	0,375	-0,318	23,64	24,09	19,62	28,62
24,48	24,48	6	0,458	-0,104	24,48	25,54	21,12	30,56
34,49	28,88	7	0,542	0,104	28,88	27,04	22,60	32,71
29,26	29,26	8	0,625	0,318	29,26	28,67	24,13	35,21
33,05	32,25	9	0,708	0,548	32,25	30,53	25,78	38,28
22,94	33,05	10	0,792	0,812	33,05	32,82	27,68	42,34
14,02	34,49	11	0,875	1,150	34,49	36,00	30,14	48,47
22,23	38,43	12	0,958	1,732	38,43	42,20	34,52	61,82

fréquence	U de Gaus	Valeur théorique	Borne inf	Borne sup	Valeur	Fréqthéo	Pér.Ret
0,8	0,841	33,08	27,90	42,83	33,08	0,800	5,0
0,9	1,282	37,31	31,11	51,16	37,31	0,900	10,0
0,95	1,645	41,21	33,85	59,57	41,21	0,950	20,1
0,98	2,054	46,09	37,07	71,00	46,09	0,980	50,5
0,99	2,327	49,66	39,32	79,94	49,66	0,990	99,9
0,999	3,091	61,19	46,17	111,94	61,19	0,999	820,3

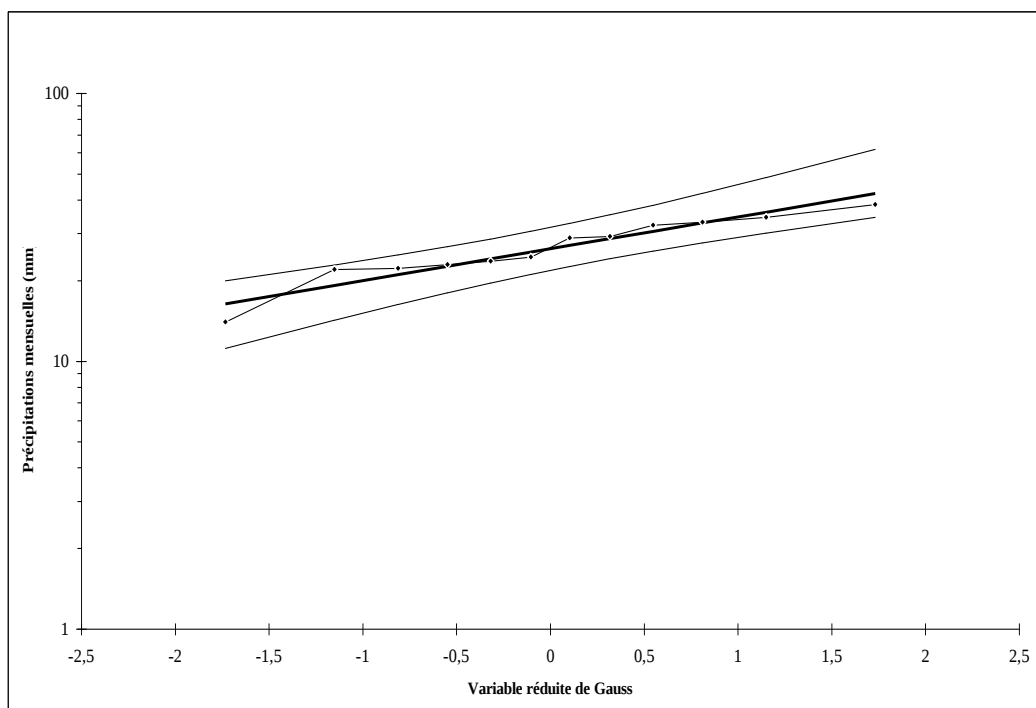


Figure (III.30) : Ajustement des précipitations mensuelles à la loi Log normale (Babar)

Tableau (III.31) : précipitation mensuelle et leurs fréquences expérimentales (Kheirane)

Taille $n=12$ Moy. $\log(x-x_0)= 1,191$ E.T. $\log(x-x_0)=0,247$ IC. à (en 95%).U Gauss=1.96

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
27,90	4,02	1	0,042	-1,732	4,02	5,79	2,61	8,81
25,24	7,73	2	0,125	-1,150	7,73	8,07	4,34	11,69
25,47	12,67	3	0,208	-0,812	12,67	9,79	5,75	13,96
13,50	13,50	4	0,292	-0,548	13,50	11,38	7,10	16,19
14,05	14,05	5	0,375	-0,318	14,05	12,97	8,45	18,58
14,63	14,63	6	0,458	-0,104	14,63	14,66	9,86	21,30
21,83	19,19	7	0,542	0,104	19,19	16,51	11,36	24,55
19,19	21,83	8	0,625	0,318	21,83	18,65	13,02	28,63
24,45	24,45	9	0,708	0,548	24,45	21,26	14,95	34,08
12,67	25,24	10	0,792	0,812	25,24	24,72	17,33	42,06
4,02	25,47	11	0,875	1,150	25,47	29,98	20,70	55,76
7,73	27,90	12	0,958	1,732	27,90	41,77	27,47	92,60

fréquence	U de Gaus	Valeur théorique	Borne inf	Borne sup	Valeur	Fréqthéo	Pér.Ret
0,8	0,841	25,14	17,61	43,08	25,14	0,800	5,0
0,9	1,282	32,31	22,11	62,39	32,31	0,900	10,0
0,95	1,645	39,76	26,37	85,73	39,76	0,950	20,1
0,98	2,054	50,20	31,87	123,60	50,20	0,980	50,5
0,99	2,327	58,64	36,04	158,29	58,64	0,990	99,9
0,999	3,091	90,66	50,38	319,49	90,66	0,999	820,3

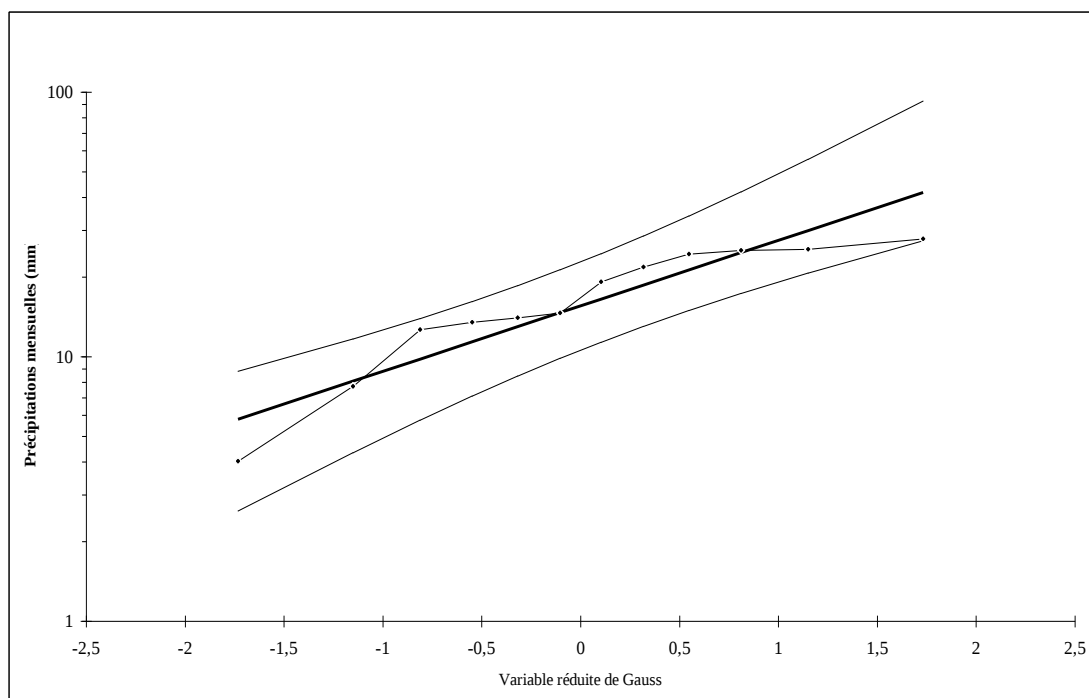


Figure (III.31) : Ajustement des précipitations mensuelles à la loi Log normale (Kheirane)

Tableau (III.32) : précipitation mensuelle et leurs fréquences expérimentales (K.S.Nadji)

Taille $n= 12$ Moy.log($x-x_0$)= 0,575E.T.log($x-x_0$)=0,425.IC. à (en 95%).U Gauss=1.96

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
8,29	0,29	1	0,042	-1,732	0,29	0,69	0,18	1,42
11,07	1,61	2	0,125	-1,150	1,61	1,22	0,42	2,30
5,85	2,22	3	0,208	-0,812	2,22	1,70	0,68	3,12
4,62	2,93	4	0,292	-0,548	2,93	2,20	0,98	4,02
6,98	4,19	5	0,375	-0,318	4,19	2,75	1,32	5,10
4,19	4,62	6	0,458	-0,104	4,62	3,39	1,72	6,44
2,22	5,37	7	0,542	0,104	5,37	4,16	2,19	8,22
5,37	5,85	8	0,625	0,318	5,85	5,13	2,77	10,70
6,71	6,71	9	0,708	0,548	6,71	6,42	3,51	14,42
1,61	6,98	10	0,792	0,812	6,98	8,31	4,52	20,69
0,29	8,29	11	0,875	1,150	8,29	11,58	6,13	33,55
2,93	11,07	12	0,958	1,732	11,07	20,45	9,96	80,08

fréquence	U de Gaus	Valeur théorique	Borne inf	Borne sup	Valeur	Fréqthéo	Pér.Ret
0,8	0,841	8,56	4,65	21,56	8,56	0,800	5,0
0,9	1,282	13,16	6,87	40,69	13,16	0,900	10,0
0,95	1,645	18,78	9,29	70,17	18,78	0,950	20,1
0,98	2,054	28,02	12,86	131,42	28,02	0,980	50,5
0,99	2,327	36,58	15,87	200,84	36,58	0,990	99,9
0,999	3,091	77,22	28,19	669,81	77,22	0,999	820,3

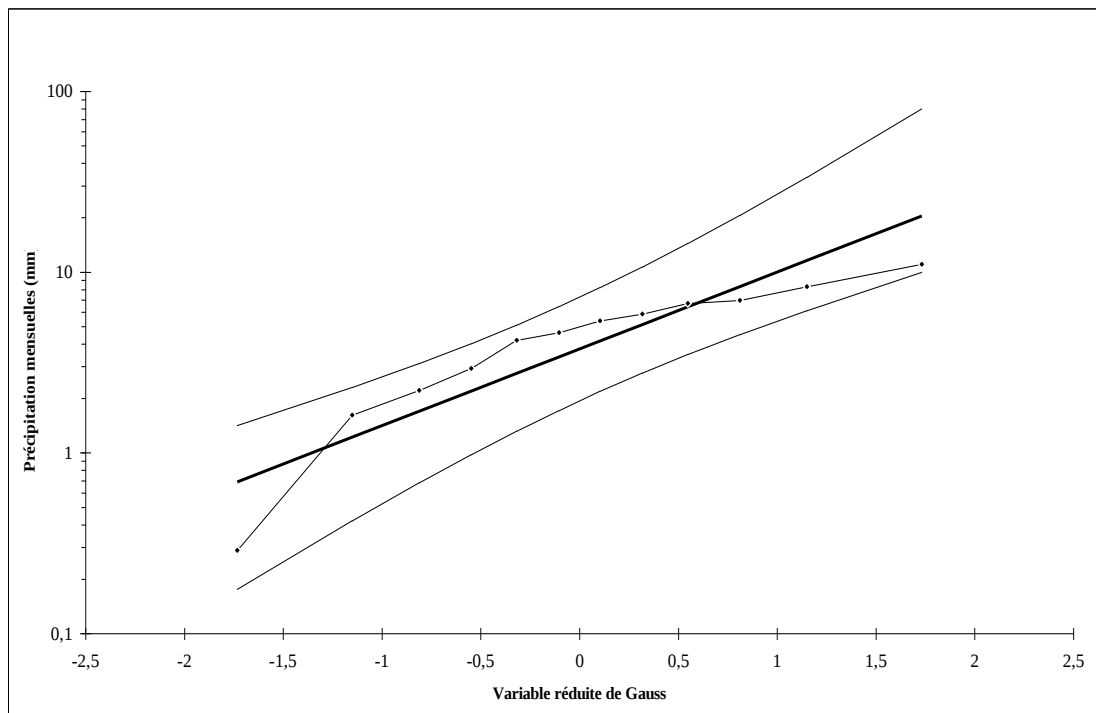


Figure (III.32) : Ajustement des précipitations mensuelles à la loi Log normale (K.S.Nadji)

Tableau (III.33) : précipitation mensuelle et leurs fréquences expérimentales (Bouhmama)

Taille $n=12$ Moy. $\log(x-x_0)= 1,524$ E.T. $\log(x-x_0)= 0,117$.IC. à (en 95%).U Gauss=1.96

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
41,27	16,99	1	0,042	-1,732	16,99	20,99	14,42	25,57
37,07	25,32	2	0,125	-1,150	25,32	24,54	18,31	29,22
39,33	26,43	3	0,208	-0,812	26,43	26,88	20,92	31,78
37,43	33,44	4	0,292	-0,548	33,44	28,86	23,10	34,08
38,21	35,07	5	0,375	-0,318	35,07	30,70	25,08	36,37
33,44	37,07	6	0,458	-0,104	37,07	32,52	26,97	38,79
42,80	37,43	7	0,542	0,104	37,43	34,39	28,83	41,47
35,07	38,21	8	0,625	0,318	38,21	36,43	30,75	44,59
39,83	39,33	9	0,708	0,548	39,33	38,75	32,82	48,41
25,32	39,83	10	0,792	0,812	39,83	41,61	35,19	53,46
16,99	41,27	11	0,875	1,150	41,27	45,57	38,27	61,07
26,43	42,80	12	0,958	1,732	42,80	53,29	43,73	77,57

fréquence	U de Gauss	Valeur théorique	Borne inf	Borne sup	Valeur	Fréqthéo	Pér.Ret
0,8	0,841	41,94	35,46	54,07	41,94	0,800	5,0
0,9	1,282	47,21	39,48	64,39	47,21	0,900	10,0
0,95	1,645	52,06	42,89	74,81	52,06	0,950	20,1
0,98	2,054	58,12	46,90	88,90	58,12	0,980	50,5
0,99	2,327	62,54	49,70	99,90	62,54	0,990	99,9
0,999	3,091	76,80	58,21	139,13	76,80	0,999	820,3

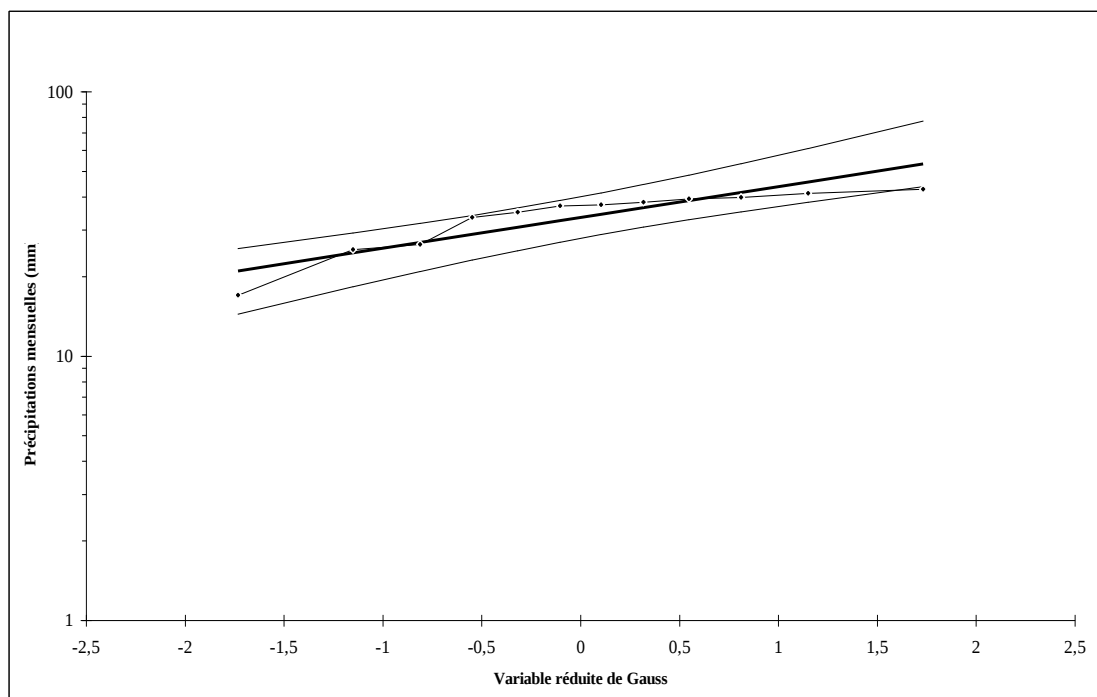


Figure (III.33) : Ajustement des précipitations mensuelles à la loi Log normale (Bouhmama)

Tableau (III.34) : précipitation mensuelle et leurs fréquences expérimentales (Oul.Chalih) Taille n=12 Moyenne =26,85 Ecart Type = 10,539.IC. à (en 95%).U Gauss=1.96

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
37,43	5,28	1	0,0417	-1,732	5,28	8,60	-6,11	16,34
27,47	12,22	2	0,1250	-1,150	12,22	14,73	3,26	21,57
33,61	14,17	3	0,2083	-0,812	14,17	18,29	8,47	24,85
38,01	27,17	4	0,2917	-0,548	27,17	21,07	12,36	27,59
31,31	27,47	5	0,3750	-0,318	27,47	23,50	15,58	30,14
27,17	30,16	6	0,4583	-0,104	30,16	25,75	18,42	32,66
32,85	31,31	7	0,5417	0,104	31,31	27,95	21,04	35,28
32,52	32,52	8	0,6250	0,318	32,52	30,20	23,56	38,12
30,16	32,85	9	0,7083	0,548	32,85	32,63	26,11	41,35
12,22	33,61	10	0,7917	0,812	33,61	35,41	28,85	45,23
5,28	37,43	11	0,8750	1,150	37,43	38,98	32,13	50,44
14,17	38,01	12	0,9583	1,732	38,01	45,10	37,36	59,81

fréquence	U de Gauss	Valeur théorique	Borne inf	Borne sup	Valeur	Fréqthéo	Pér.Ret
0,8	0,841	35,72	29,15	45,67	35,72	0,800	5,0
0,9	1,282	40,36	33,35	52,52	40,36	0,900	10,0
0,95	1,645	44,19	36,60	58,39	44,19	0,950	20,1
0,98	2,054	48,50	40,10	65,15	48,50	0,980	50,5
0,99	2,327	51,37	42,38	69,72	51,37	0,990	99,9
0,999	3,091	59,42	48,57	82,70	59,42	0,999	820,3

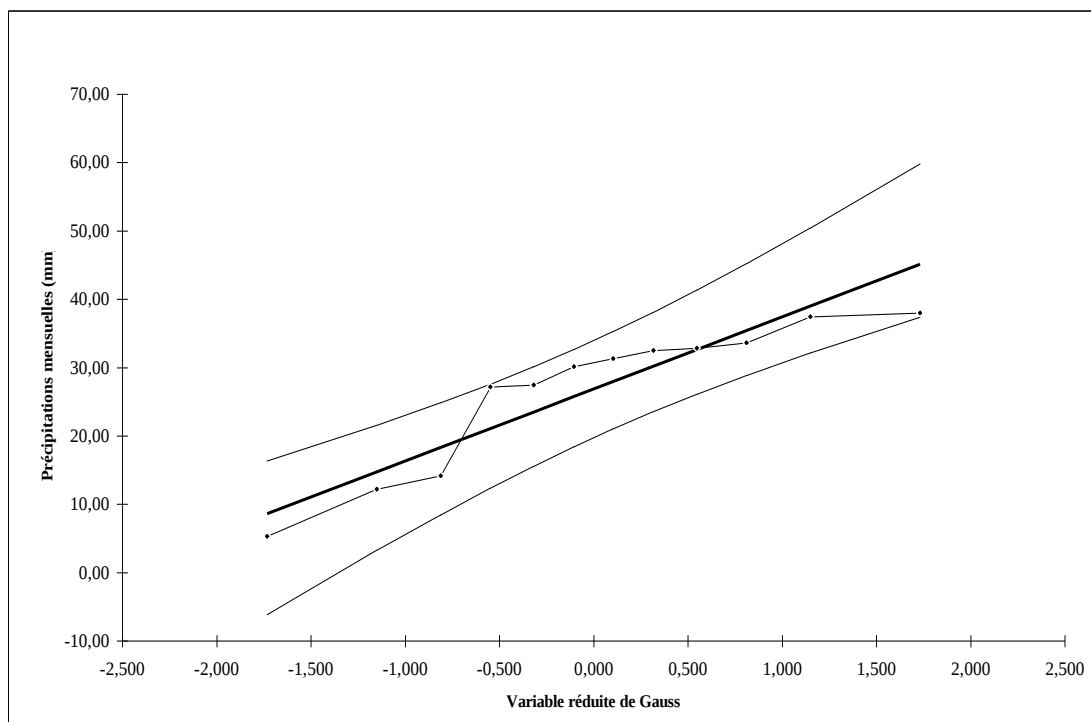


Figure (III.34) : Ajustement des précipitations mensuelles à la loi Log normale (Oul.Chalih)

Tableau (III.35) : précipitation mensuelle et leurs fréquences expérimentales (Boudilla)

Taille $n=12$ Moy. $\log(x-x_0)= 1,226$ E.T. $\log(x-x_0)= 0,207$.IC. à (en 95%).U Gauss=1.96

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
22,37	5,67	1	0,042	-1,732	5,67	7,35	3,77	10,44
26,09	9,69	2	0,125	-1,150	9,69	9,70	5,77	13,23
21,95	11,59	3	0,208	-0,812	11,59	11,40	7,30	15,36
16,33	14,36	4	0,292	-0,548	14,36	12,94	8,71	17,39
14,36	16,22	5	0,375	-0,318	16,22	14,44	10,08	19,52
16,22	16,33	6	0,458	-0,104	16,33	16,00	11,47	21,89
25,59	21,95	7	0,542	0,104	21,95	17,68	12,92	24,65
24,87	22,37	8	0,625	0,318	22,37	19,58	14,49	28,04
25,89	24,87	9	0,708	0,548	24,87	21,85	16,26	32,46
11,59	25,59	10	0,792	0,812	25,59	24,79	18,41	38,71
5,67	25,89	11	0,875	1,150	25,89	29,15	21,37	49,04
9,69	26,09	12	0,958	1,732	26,09	38,49	27,08	75,02

fréquence	U de Gauss	Valeur théorique	Borne inf	Borne sup	Valeur	Fréqthéo	Pér.Ret
0,8	0,841	25,14	18,66	39,50	25,14	0,800	5,0
0,9	1,282	31,04	22,58	53,88	31,04	0,900	10,0
0,95	1,645	36,93	26,17	70,33	36,93	0,950	20,1
0,98	2,054	44,90	30,68	95,57	44,90	0,980	50,5
0,99	2,327	51,15	34,01	117,59	51,15	0,990	99,9
0,999	3,091	73,70	45,04	211,88	73,70	0,999	820,3

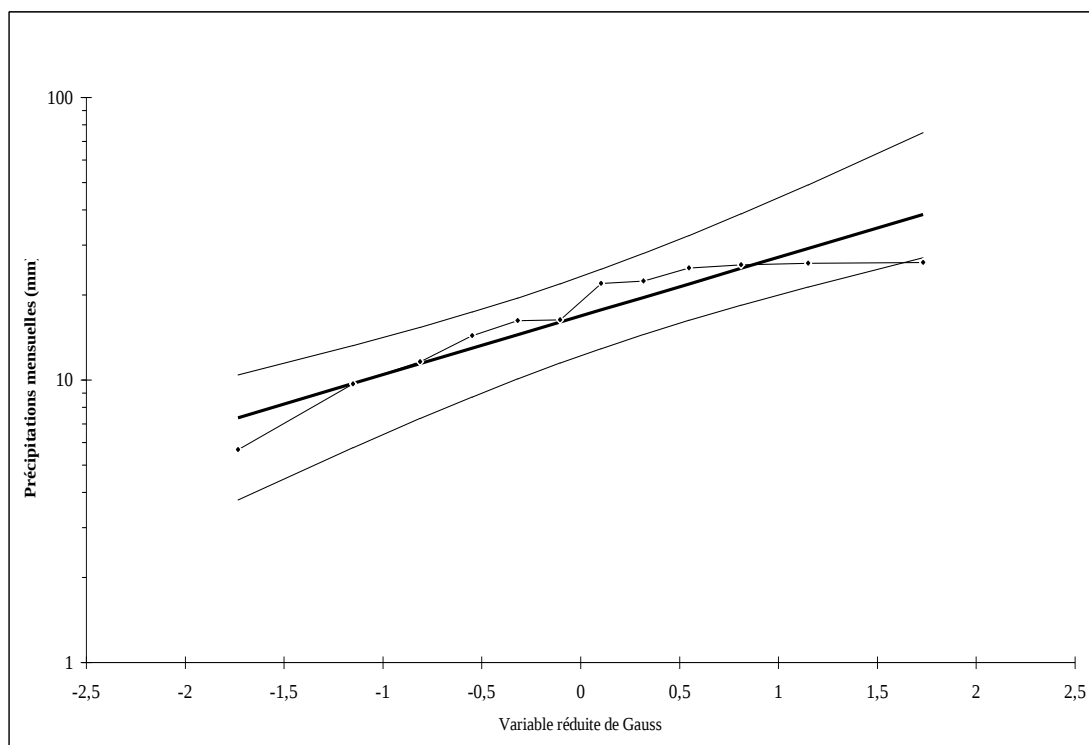


Figure (III.35) : Ajustement des précipitations mensuelles à la loi Log normale (Boudilla)

Tableau (III.36) : Ajustement à la loi normale du vecteur régional (C₂)

Taille n=40 Moy.log(x-x₀)=2.31 et log(x-x₀)=0.181 .IC. à (en 95%).U Gauss=1.96

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
-1,18	-2,47	1	0,0125	-2,242	-2,47	-2,24	-2,97	-1,74
0,02	-1,79	2	0,0375	-1,781	-1,79	-1,78	-2,39	-1,35
-0,38	-1,24	3	0,0625	-1,534	-1,24	-1,53	-2,09	-1,13
-0,59	-1,18	4	0,0875	-1,357	-1,18	-1,36	-1,88	-0,97
-0,08	-1,13	5	0,1125	-1,213	-1,13	-1,21	-1,70	-0,85
0,77	-1,08	6	0,1375	-1,092	-1,08	-1,09	-1,56	-0,74
1,61	-1,05	7	0,1625	-0,984	-1,05	-0,98	-1,43	-0,64
1,20	-0,96	8	0,1875	-0,887	-0,96	-0,89	-1,32	-0,55
0,19	-0,87	9	0,2125	-0,798	-0,87	-0,80	-1,21	-0,46
1,11	-0,66	10	0,2375	-0,714	-0,66	-0,71	-1,11	-0,39
0,62	-0,59	11	0,2625	-0,635	-0,59	-0,64	-1,02	-0,31
0,58	-0,55	12	0,2875	-0,560	-0,55	-0,56	-0,94	-0,24
0,45	-0,52	13	0,3125	-0,488	-0,52	-0,49	-0,86	-0,17
0,14	-0,47	14	0,3375	-0,419	-0,47	-0,42	-0,78	-0,10
0,69	-0,38	15	0,3625	-0,351	-0,38	-0,35	-0,70	-0,03
1,20	-0,38	16	0,3875	-0,285	-0,38	-0,29	-0,63	0,03
0,01	-0,22	17	0,4125	-0,221	-0,22	-0,22	-0,56	0,10
0,59	-0,12	18	0,4375	-0,157	-0,12	-0,16	-0,49	0,16
1,24	-0,08	19	0,4625	-0,094	-0,08	-0,09	-0,42	0,23
1,28	-0,05	20	0,4875	-0,031	-0,05	-0,03	-0,36	0,29
-0,52	0,01	21	0,5125	0,031	0,01	0,03	-0,29	0,36
1,10	0,02	22	0,5375	0,094	0,02	0,09	-0,23	0,42
-0,87	0,04	23	0,5625	0,157	0,04	0,16	-0,16	0,49
-0,05	0,14	24	0,5875	0,221	0,14	0,22	-0,10	0,56
0,56	0,19	25	0,6125	0,285	0,19	0,29	-0,03	0,63
2,41	0,45	26	0,6375	0,351	0,45	0,35	0,03	0,70
-0,38	0,56	27	0,6625	0,419	0,56	0,42	0,10	0,78
0,04	0,58	28	0,6875	0,488	0,58	0,49	0,17	0,86
-1,24	0,59	29	0,7125	0,560	0,59	0,56	0,24	0,94
-0,55	0,62	30	0,7375	0,635	0,62	0,64	0,31	1,02
-0,22	0,69	31	0,7625	0,714	0,69	0,71	0,39	1,11
-0,47	0,77	32	0,7875	0,798	0,77	0,80	0,46	1,21
-1,13	1,10	33	0,8125	0,887	1,10	0,89	0,55	1,32
-1,79	1,11	34	0,8375	0,984	1,11	0,98	0,64	1,43
-0,96	1,20	35	0,8625	1,092	1,20	1,09	0,74	1,56
-0,12	1,20	36	0,8875	1,213	1,20	1,21	0,85	1,70
-0,66	1,24	37	0,9125	1,357	1,24	1,36	0,97	1,88
-1,05	1,28	38	0,9375	1,534	1,28	1,53	1,13	2,09
-2,47	1,61	39	0,9625	1,781	1,61	1,78	1,35	2,39
-1,08	2,41	40	0,9875	2,242	2,41	2,24	1,74	2,97

fréquence	U de Gaus	Valeur théorique	Borne inf	Borne sup	Valeur	Fréqthéo	Pér.Ret
0,8	0,841	0,84	0,51	1,26	0,84	0,800	5,0
0,9	1,282	1,28	0,91	1,79	1,28	0,900	10,0
0,95	1,645	1,65	1,23	2,23	1,65	0,950	20,1
0,98	2,054	2,05	1,58	2,73	2,05	0,980	50,5
0,99	2,327	2,33	1,82	3,07	2,33	0,990	99,9
0,999	3,091	3,09	2,46	4,03	3,09	0,999	820,3

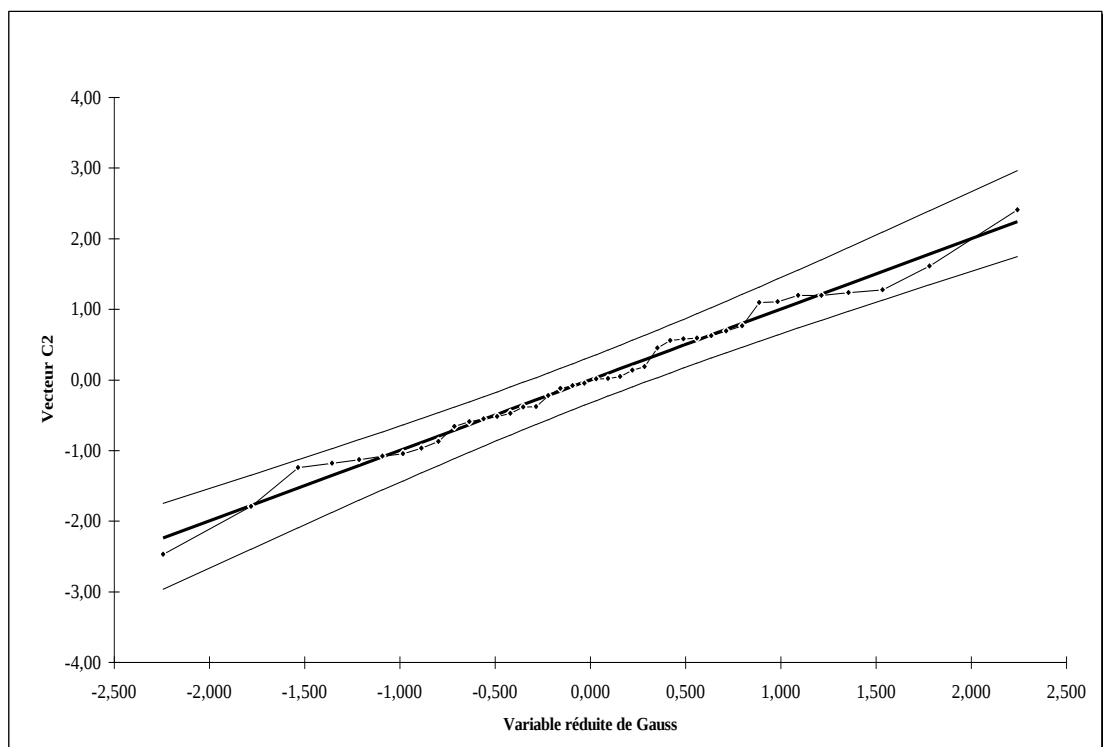


Figure (III.36) : Ajustement de vecteur régional C_2 à l'échelle annuelle

Tableau (III.37) : Ajustement à la loi normale du vecteur régional (C₃)

Taille n=40 Moyenne =-6E-09 et Ecart-Type = 0.999 .IC. à (en 95%).U Gauss=1.9604

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
-1,23	-1,30	1	0,0125	-2,242	-1,30	-2,24	-2,96	-1,74
0,08	-1,28	2	0,0375	-1,781	-1,28	-1,78	-2,39	-1,35
0,02	-1,24	3	0,0625	-1,534	-1,24	-1,53	-2,09	-1,13
-1,28	-1,23	4	0,0875	-1,357	-1,23	-1,36	-1,88	-0,97
-0,55	-1,18	5	0,1125	-1,213	-1,18	-1,21	-1,70	-0,85
0,47	-1,14	6	0,1375	-1,092	-1,14	-1,09	-1,56	-0,74
1,33	-1,14	7	0,1625	-0,984	-1,14	-0,98	-1,43	-0,64
-0,69	-0,86	8	0,1875	-0,887	-0,86	-0,89	-1,32	-0,55
-0,84	-0,84	9	0,2125	-0,798	-0,84	-0,80	-1,21	-0,46
0,11	-0,76	10	0,2375	-0,714	-0,76	-0,71	-1,11	-0,39
0,30	-0,69	11	0,2625	-0,635	-0,69	-0,64	-1,02	-0,31
-0,39	-0,64	12	0,2875	-0,560	-0,64	-0,56	-0,94	-0,24
-0,34	-0,57	13	0,3125	-0,488	-0,57	-0,49	-0,86	-0,17
-1,14	-0,55	14	0,3375	-0,419	-0,55	-0,42	-0,78	-0,10
0,26	-0,42	15	0,3625	-0,351	-0,42	-0,35	-0,70	-0,03
0,37	-0,39	16	0,3875	-0,285	-0,39	-0,29	-0,63	0,03
-0,42	-0,38	17	0,4125	-0,221	-0,38	-0,22	-0,56	0,10
-0,86	-0,37	18	0,4375	-0,157	-0,37	-0,16	-0,49	0,16
0,12	-0,34	19	0,4625	-0,094	-0,34	-0,09	-0,42	0,23
1,29	-0,19	20	0,4875	-0,031	-0,19	-0,03	-0,36	0,29
-0,37	0,02	21	0,5125	0,031	0,02	0,03	-0,29	0,36
0,45	0,02	22	0,5375	0,094	0,02	0,09	-0,23	0,42
-0,76	0,08	23	0,5625	0,157	0,08	0,16	-0,16	0,49
-1,30	0,11	24	0,5875	0,221	0,11	0,22	-0,10	0,56
-0,57	0,12	25	0,6125	0,285	0,12	0,29	-0,03	0,63
1,83	0,26	26	0,6375	0,351	0,26	0,35	0,03	0,70
-1,18	0,30	27	0,6625	0,419	0,30	0,42	0,10	0,78
0,43	0,37	28	0,6875	0,488	0,37	0,49	0,17	0,86
-1,14	0,43	29	0,7125	0,560	0,43	0,56	0,24	0,94
-0,38	0,45	30	0,7375	0,635	0,45	0,64	0,31	1,02
-1,24	0,47	31	0,7625	0,714	0,47	0,71	0,39	1,11
-0,64	0,47	32	0,7875	0,798	0,47	0,80	0,46	1,21
1,17	0,83	33	0,8125	0,887	0,83	0,89	0,55	1,32
1,95	0,90	34	0,8375	0,984	0,90	0,98	0,64	1,43
0,47	1,17	35	0,8625	1,092	1,17	1,09	0,74	1,56
0,83	1,29	36	0,8875	1,213	1,29	1,21	0,85	1,70
0,02	1,33	37	0,9125	1,357	1,33	1,36	0,97	1,88
-0,19	1,83	38	0,9375	1,534	1,83	1,53	1,13	2,09
3,11	1,95	39	0,9625	1,781	1,95	1,78	1,35	2,39
0,90	3,11	40	0,9875	2,242	3,11	2,24	1,74	2,96

fréquence	U de Gaus	Valeur théorique	Borne inf	Borne sup	Valeur	Fréqthéo	Pér.Ret
0,8	0,841	0,84	0,50	1,26	0,84	0,800	5,0
0,9	1,282	1,28	0,91	1,79	1,28	0,900	10,0
0,95	1,645	1,64	1,23	2,23	1,64	0,950	20,1
0,98	2,054	2,05	1,58	2,73	2,05	0,980	50,5
0,99	2,327	2,33	1,82	3,07	2,33	0,990	99,9
0,999	3,091	3,09	2,46	4,03	3,09	0,999	820,3

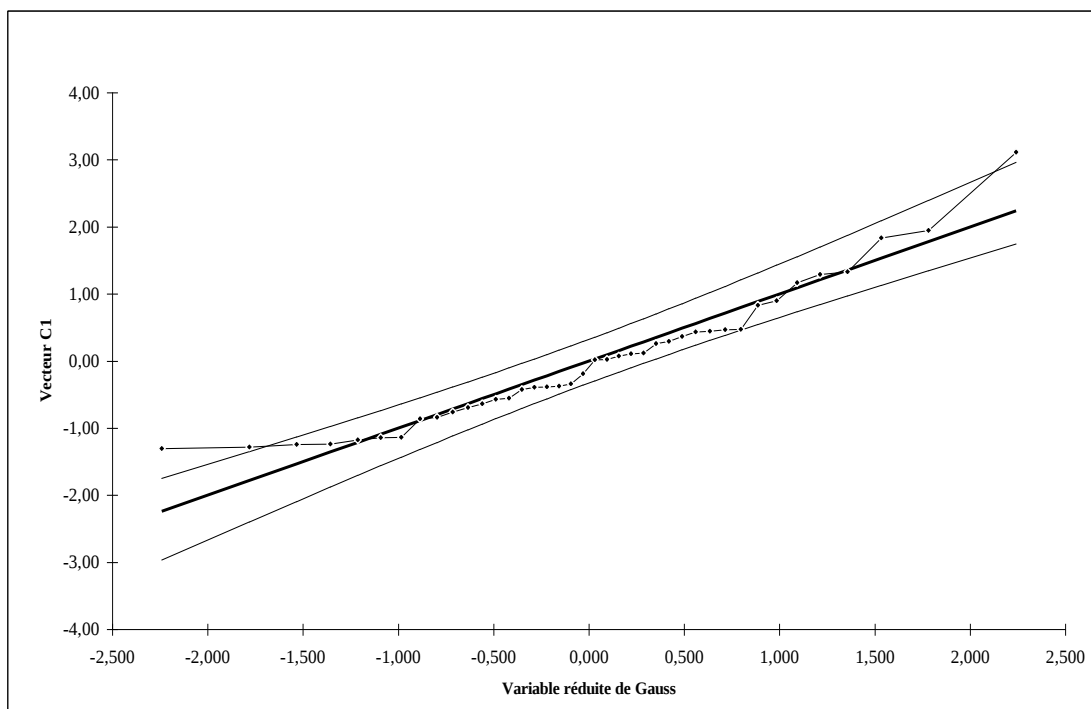


Figure (III.37) : Ajustement de vecteur régional C_3 à l'échelle annuelle

Tableau (III.38): Ajustement à la loi normale du vecteur régional (C_2)

Taille $n=13$ Moyenne= 0.006 Ecart-type.= 0.287 I.C. à (en 95%).U Gauss=1.9604

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
-0,42	-0,44	1	0,0385	-1,769	-0,44	-0,50	-0,88	-0,30
-0,05	-0,42	2	0,1154	-1,199	-0,42	-0,34	-0,64	-0,16
0,22	-0,27	3	0,1923	-0,869	-0,27	-0,24	-0,50	-0,07
0,46	-0,23	4	0,2692	-0,615	-0,23	-0,17	-0,40	0,00
0,17	-0,11	5	0,3462	-0,395	-0,11	-0,11	-0,32	0,06
-0,11	-0,05	6	0,4231	-0,194	-0,05	-0,05	-0,24	0,13
-0,44	0,03	7	0,5000	0,000	0,03	0,01	-0,18	0,19
0,23	0,15	8	0,5769	0,194	0,15	0,06	-0,11	0,26
0,15	0,17	9	0,6538	0,395	0,17	0,12	-0,05	0,33
0,34	0,22	10	0,7308	0,615	0,22	0,18	0,01	0,41
-0,23	0,23	11	0,8077	0,869	0,23	0,26	0,08	0,51
-0,27	0,34	12	0,8846	1,199	0,34	0,35	0,17	0,65
0,03	0,46	13	0,9615	1,769	0,46	0,51	0,31	0,90

fréquence	U de Gaus	Valeur théorique	Borne inf	Borne sup	Valeur	Fréqthéo	Pér.Ret
0,8	0,841	0,25	0,08	0,50	0,25	0,800	5,0
0,9	1,282	0,37	0,19	0,69	0,37	0,900	10,0
0,95	1,645	0,48	0,28	0,84	0,48	0,950	20,1
0,98	2,054	0,60	0,37	1,02	0,60	0,980	50,5
0,99	2,327	0,67	0,44	1,14	0,67	0,990	99,9
0,999	3,091	0,89	0,61	1,49	0,89	0,999	820,3

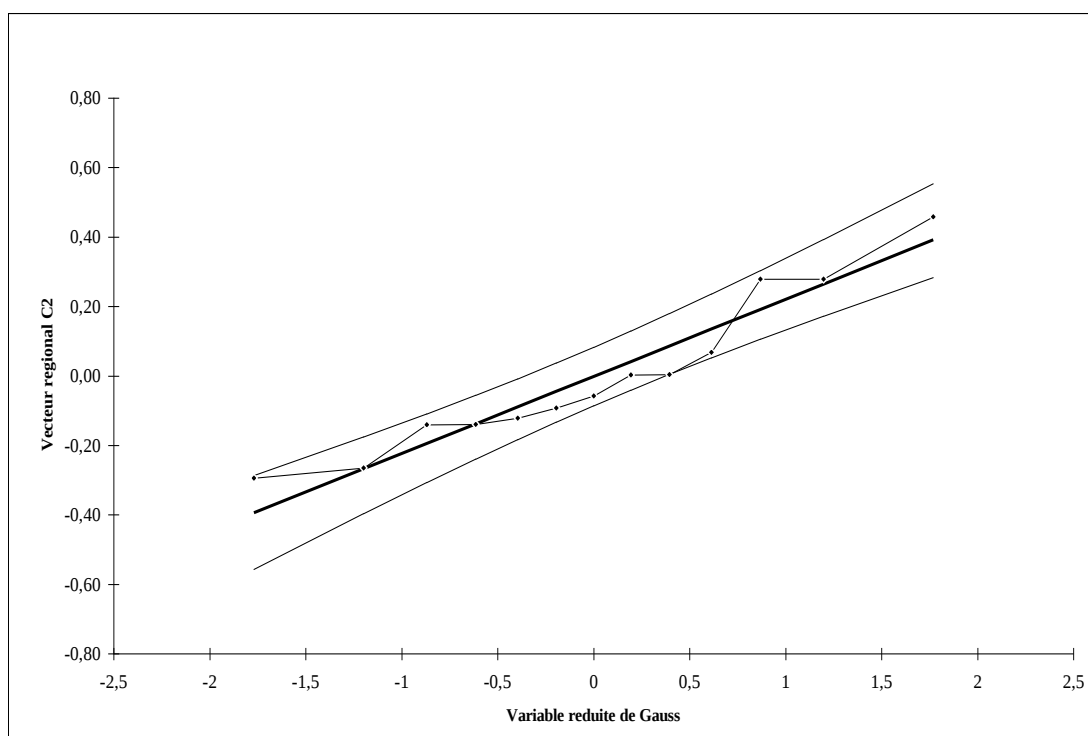


Figure (III.38) : Ajustement de vecteur régional C_2 à l'échelle mensuelle

Tableau (III.38): Ajustement à la loi normale du vecteur régional (C_3)

Taille $n=13$ Moyenne=-0.002 Ecart-type.= 0.222I.C. à (en 95%).U Gauss=1.9604

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
0,00	-0,29	1	0,0385	-1,769	-0,29	-0,39	-0,69	-0,24
0,00	-0,26	2	0,1154	-1,199	-0,26	-0,27	-0,50	-0,13
-0,06	-0,14	3	0,1923	-0,869	-0,14	-0,19	-0,39	-0,06
-0,26	-0,14	4	0,2692	-0,615	-0,14	-0,14	-0,32	-0,01
-0,29	-0,12	5	0,3462	-0,395	-0,12	-0,09	-0,25	0,04
-0,12	-0,09	6	0,4231	-0,194	-0,09	-0,04	-0,20	0,09
-0,14	-0,06	7	0,5000	0,000	-0,06	0,00	-0,14	0,14
0,28	0,00	8	0,5769	0,194	0,00	0,04	-0,09	0,19
0,28	0,00	9	0,6538	0,395	0,00	0,09	-0,05	0,25
-0,09	0,07	10	0,7308	0,615	0,07	0,13	0,00	0,31
0,07	0,28	11	0,8077	0,869	0,28	0,19	0,06	0,39
-0,14	0,28	12	0,8846	1,199	0,28	0,26	0,12	0,50
0,46	0,46	13	0,9615	1,769	0,46	0,39	0,23	0,69

fréquence	U de Gaus	Valeur théorique	Borne inf	Borne sup	Valeur	Fréqthéo	Pér.Ret
0,8	0,841	0,19	0,05	0,38	0,19	0,800	5,0
0,9	1,282	0,28	0,14	0,52	0,28	0,900	10,0
0,95	1,645	0,36	0,21	0,64	0,36	0,950	20,1
0,98	2,054	0,45	0,28	0,78	0,45	0,980	50,5
0,99	2,327	0,52	0,33	0,88	0,52	0,990	99,9
0,999	3,091	0,68	0,46	1,14	0,68	0,999	820,3

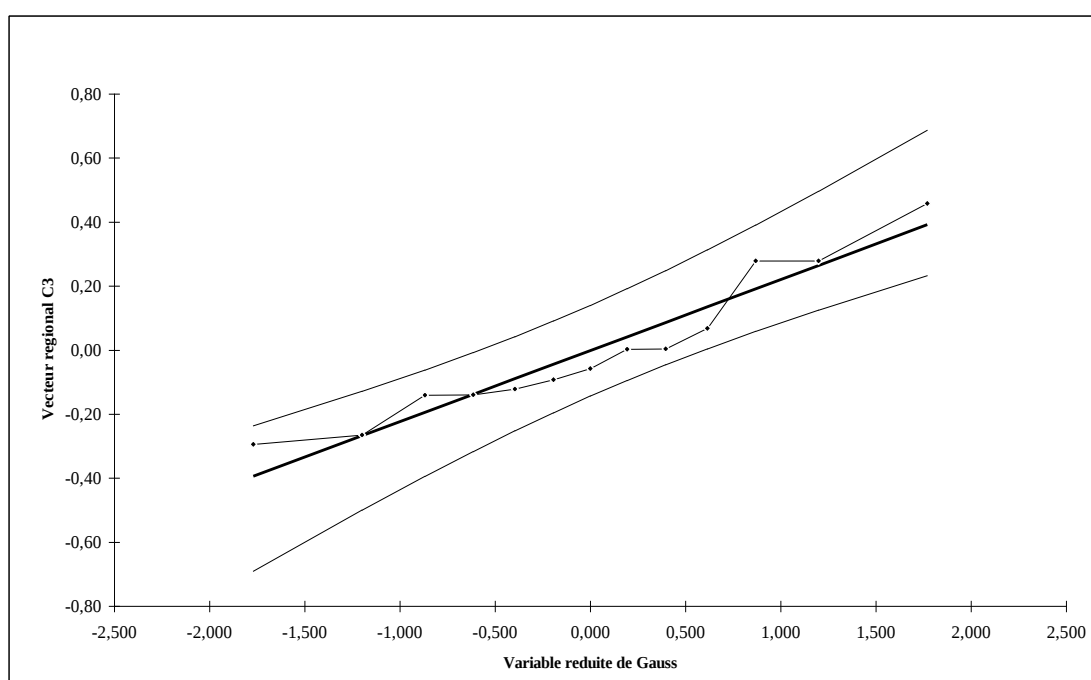
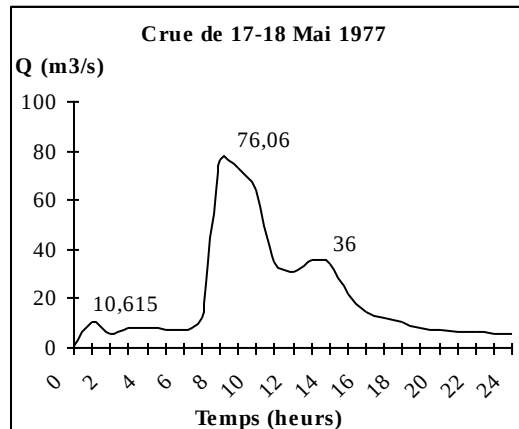
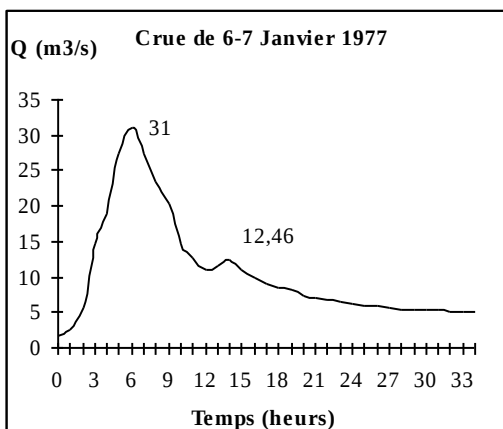
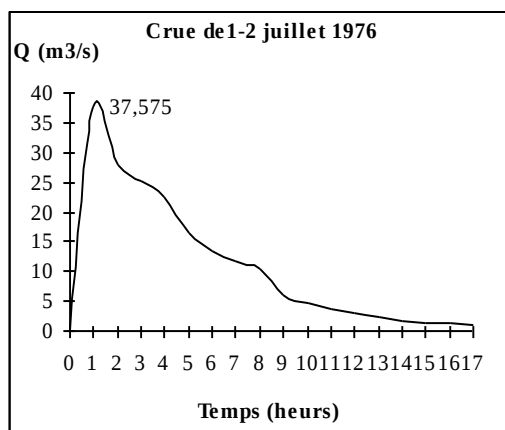
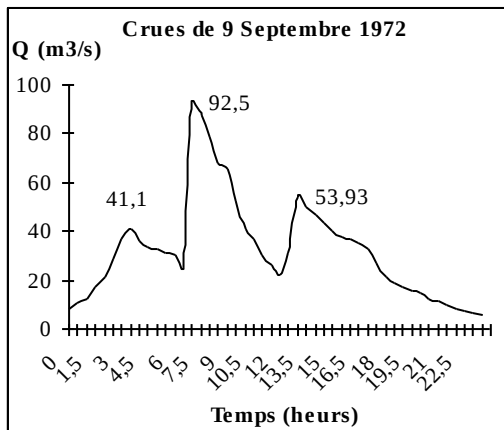
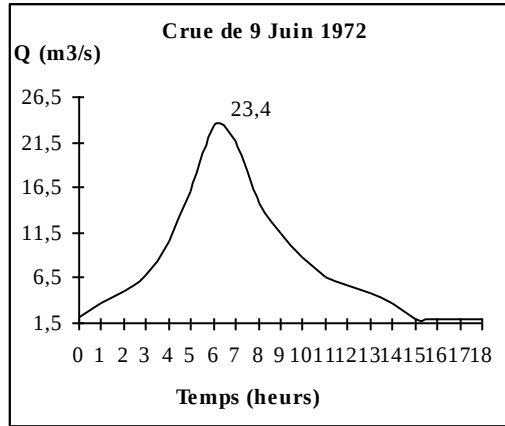
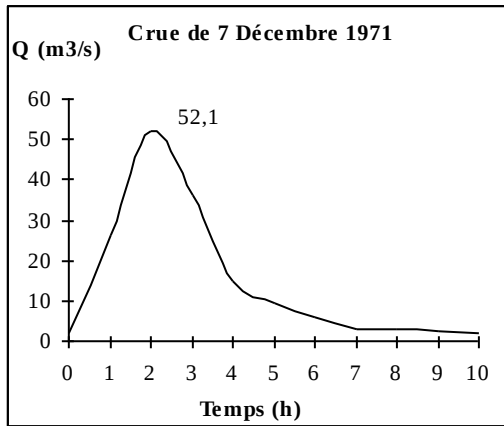
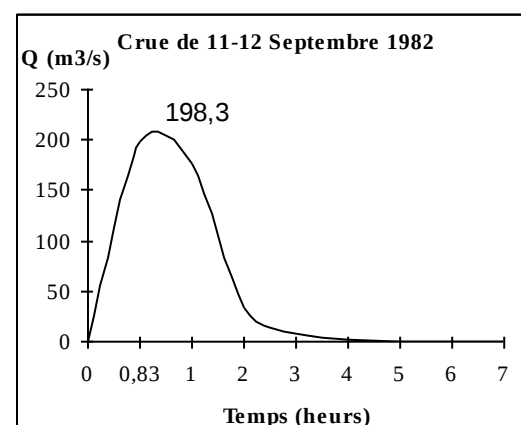
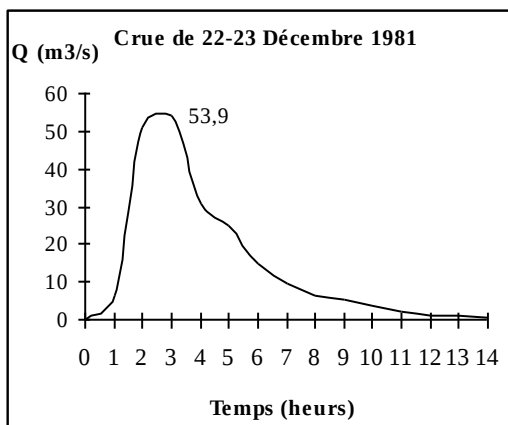
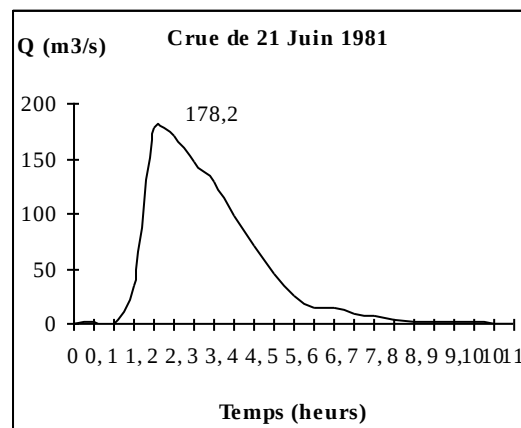
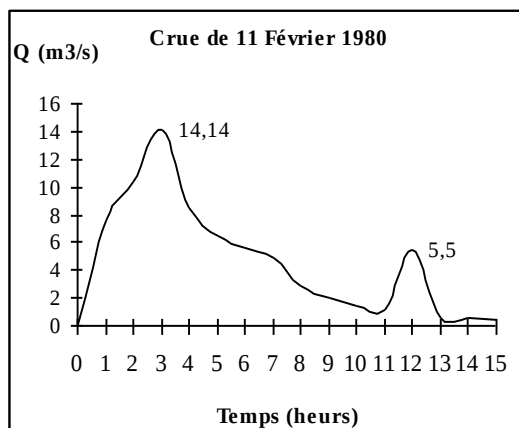
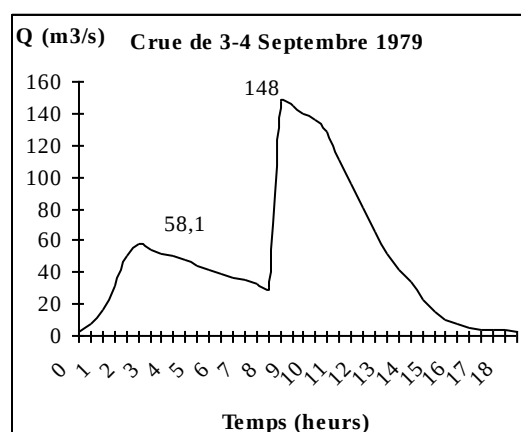
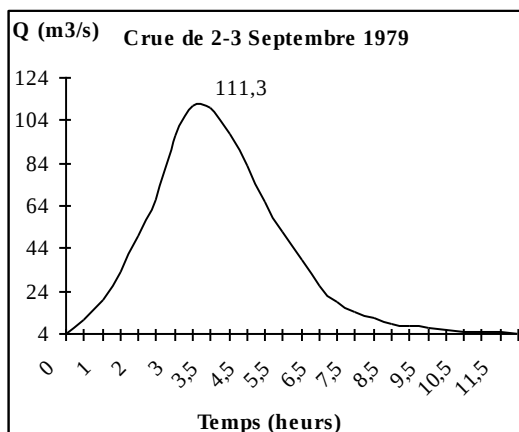
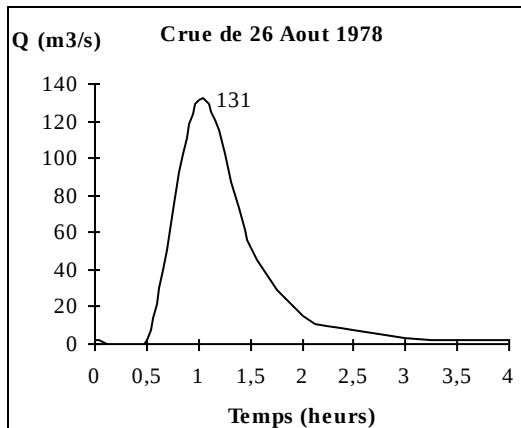
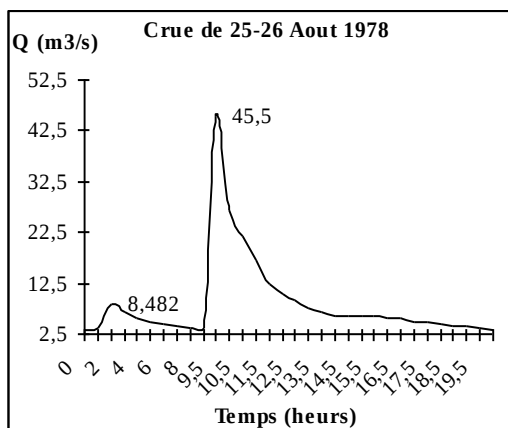
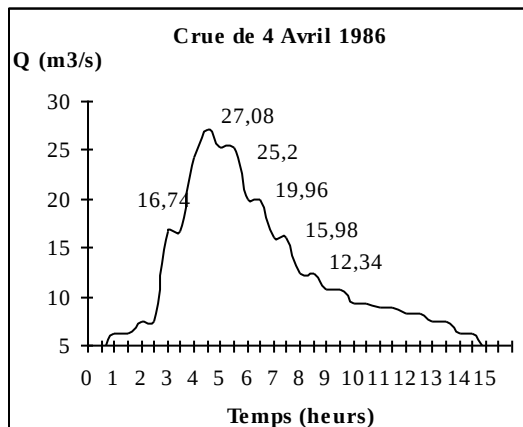
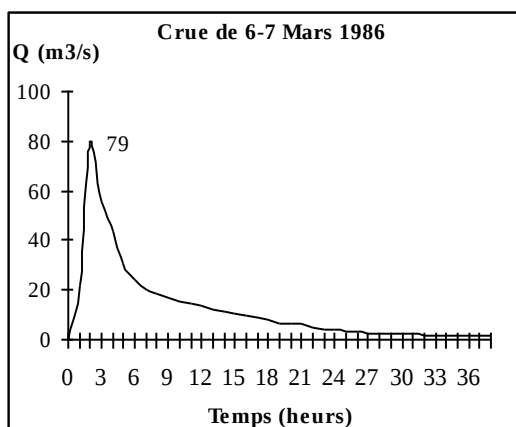
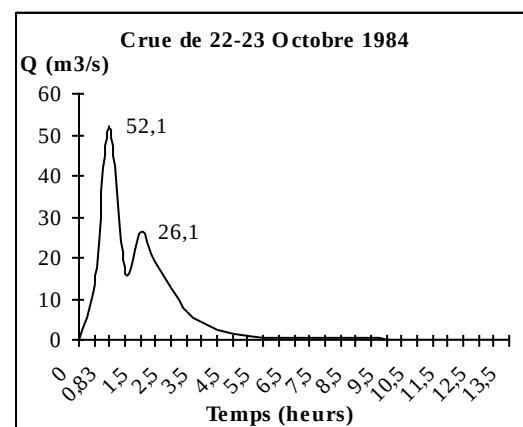
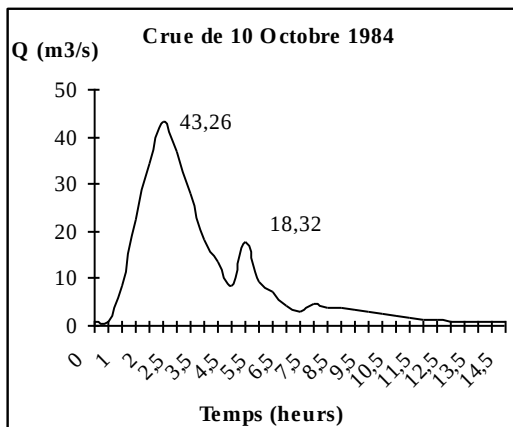
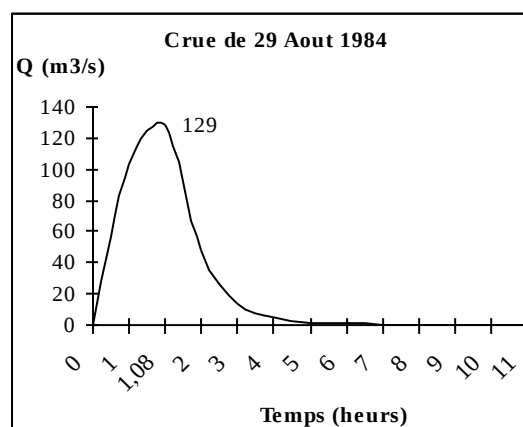
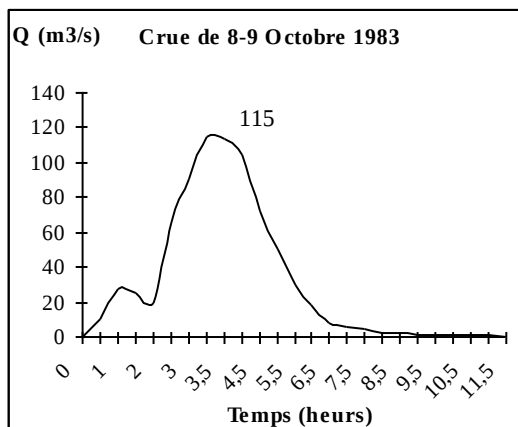
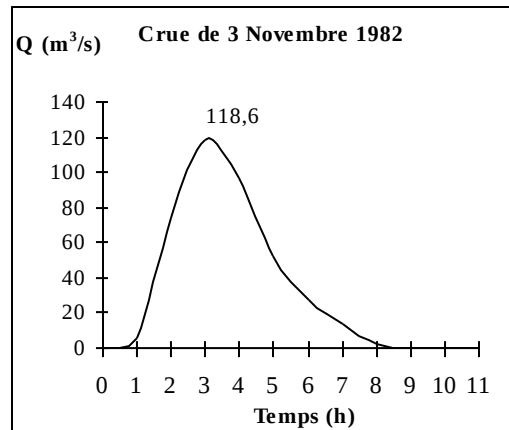
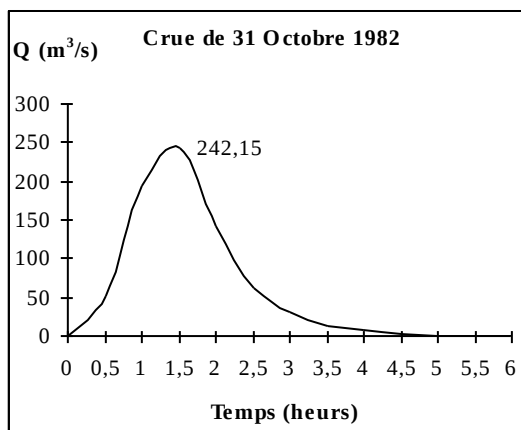


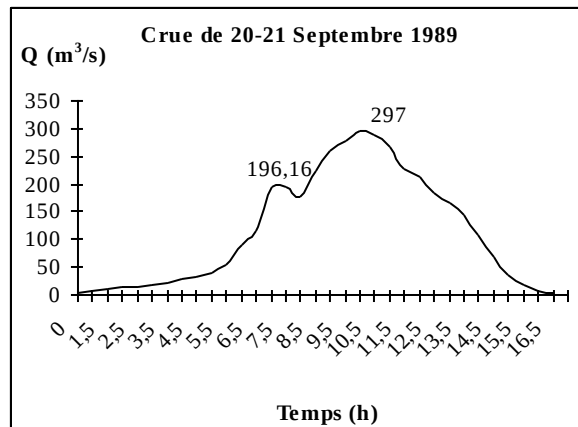
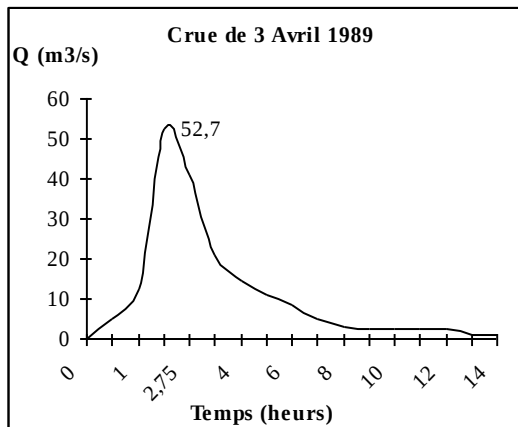
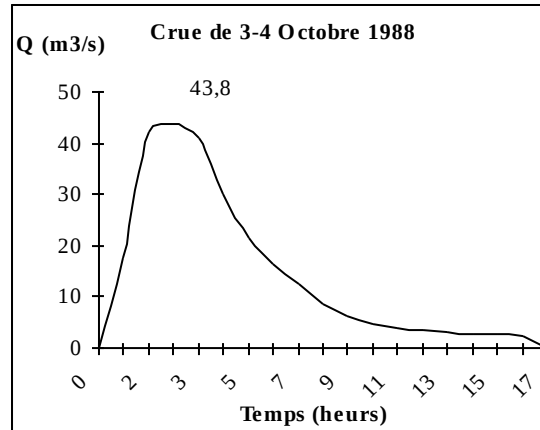
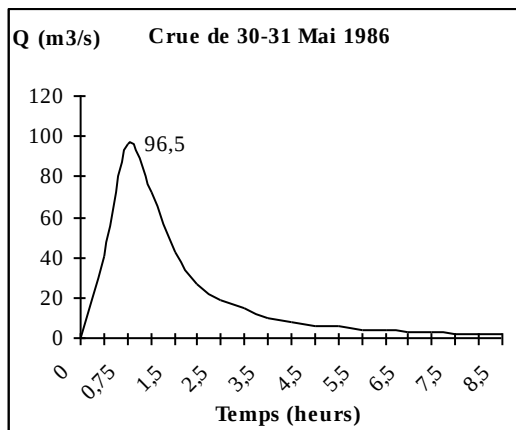
Figure (III.38) : Ajustement de vecteur régional C_3 à l'échelle mensuelle

ANNEXES III









Annexe III : Crues enregistrées d'Oued Abiod à la station de Mchounech (1970/1994)

ANNEXE : IV

Tableau (IV.1) : Répartition mensuelle des débits maximaux (m³/s).

Année	Sep	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout
1972-1973	92,50	19,96	10,36	1,20	0,80	2,68	8,48	6,51	0,97	27,08	0,15	10,36
1973-1974	0,10	0,10	0,12	4,28	2,33	0,55	5,00	1,46	0,14	1,90	0,06	0,05
1974-1975	0,10	15,82	0,16	0,16	0,16	2,77	3,92	5,87	28,18	0,07	0,06	0,06
1975-1976	58,20	0,28	0,13	0,28	0,13	3,94	4,77	3,38	7,21	37,06	37,58	0,20
1976-1977	47,15	0,12	6,70	1,49	31,00	1,35	0,33	21,60	76,06	8,91	0,09	0,10
1977-1978	52,10	10,87	3,38	0,31	0,22	0,40	0,18	0,15	0,11	0,04	0,08	131,00
1978-1979	1,14	9,84	0,24	0,18	0,11	0,18	0,36	15,82	0,06	3,26	0,10	0,05
1979-1980	148,00	28,06	0,05	0,05	0,05	14,14	12,46	5,84	11,13	0,26	0,13	0,13
1980-1981	88,00	0,65	42,72	2,32	1,76	10,00	1,18	0,32	0,09	178,20	0,03	3,54
1981-1982	52,10	34,00	0,04	53,90	0,10	0,63	0,17	12,40	18,04	1,42	0,02	0,81
1982-1983	198,30	242,15	118,60	0,34	0,18	0,18	0,13	0,08	0,07	0,30	0,04	45,42
1983-1984	6,29	115,00	0,06	0,08	0,08	12,34	0,30	0,16	0,11	0,11	0,08	129,00
1984-1985	0,03	127,66	6,84	0,17	0,46	2,86	1,85	0,63	16,05	0,23	0,01	0,03
1985-1986	1,82	0,77	1,34	0,20	0,12	0,20	79,00	27,08	96,50	0,33	0,01	0,13
1986-1987	63,06	31,00	2,79	2,32	0,40	0,40	0,44	0,22	0,14	0,14	0,08	3,77
1987-1988	0,01	1,18	0,10	0,49	0,08	0,14	0,18	0,26	19,96	14,35	0,07	2,46
1988-1989	40,59	18,73	43,80	0,27	0,20	0,42	0,29	52,70	0,02	91,00	12,34	4,12
1989-1990	297,00	0,14	0,26	0,21	1,08	1,18	0,28	1,40	3,68	0,25	0,22	0,41
1990-1991	0,27	0,34	3,00	0,12	0,13	0,17	0,35	0,36	0,61	0,15	0,12	0,33
1991-1992	0,68	0,22	0,11	0,12	0,08	0,12	0,32	0,23	0,32	0,10	0,07	1,09
1992-1993	0,32	0,35	5,50	0,13	0,18	0,23	0,25	0,05	0,11	0,17	0,11	0,11
1993-1994	0,10	0,11	1,49	0,22	0,30	0,05	1,09	0,13	0,14	0,13	0,12	0,28
1994-1995	2,40	8,48	0,15	0,08	0,08	0,07	11,90	14,70	0,13	11,13	0,00	0,00
Max	297,00	242,15	118,60	53,90	31,00	14,14	79,00	52,70	96,50	178,20	37,58	131,00
Min	0,01	0,10	0,04	0,05	0,05	0,05	0,13	0,05	0,02	0,04	0,00	0,00
Moyenne	50,01	28,95	10,78	3,00	1,74	2,39	5,79	7,45	12,17	16,37	2,24	14,50
Ecart type	75,35	57,63	26,46	11,14	6,40	4,07	16,39	12,52	24,92	40,68	8,12	37,65
Coef.Variation	1,51	1,99	2,45	3,72	3,68	1,70	2,83	1,68	2,05	2,48	3,62	2,60
Coef d'asym	2,09	2,86	3,51	4,73	4,73	2,15	4,42	2,52	2,71	3,40	4,19	2,86
Coef d'aplat	4,64	8,58	13,32	22,55	22,57	3,64	20,35	7,30	7,02	12,21	18,16	7,17

Tableau (IV.2) : Répartition mensuelle des débits minimaux (m³/s).

Année	Sep	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout
1972-1973	0,01	0,12	0,07	0,28	0,28	0,28	0,60	0,97	0,20	0,10	0,08	0,06
1973-1974	0,06	0,08	0,10	0,10	0,38	0,27	0,14	0,08	0,08	0,06	0,05	0,05
1974-1975	0,05	0,10	0,12	0,16	0,02	0,16	0,67	0,12	0,04	0,01	0,01	0,01
1975-1976	0,02	0,06	0,08	0,08	0,08	0,10	0,67	0,10	0,06	0,04	0,04	0,05
1976-1977	0,00	0,01	0,12	0,82	0,97	0,33	0,11	0,03	0,33	0,09	0,09	0,08
1977-1978	0,02	0,00	0,08	0,15	0,15	0,15	0,11	0,11	0,04	0,03	0,03	0,02
1978-1979	0,65	0,20	0,20	0,05	0,05	0,08	0,08	0,08	0,03	0,01	0,01	0,01
1979-1980	0,00	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,07	0,11	0,02	0,07	0,07	0,11
1980-1981	0,03	0,03	0,00	0,05	0,32	0,20	0,12	0,05	0,03	0,00	0,01	0,01
1981-1982	0,01	0,01	0,03	0,02	0,05	0,07	0,08	0,00	0,11	0,00	0,01	0,01
1982-1983	0,00	0,00	0,00	0,17	0,11	0,11	0,07	0,05	0,06	0,04	0,03	0,04
1983-1984	0,22	0,08	0,05	0,06	0,06	0,05	0,17	0,10	0,08	0,08	0,07	0,00
1984-1985	0,01	0,02	0,14	0,06	0,07	0,30	0,30	0,14	0,11	0,01	0,00	0,00
1985-1986	0,03	0,08	0,08	0,10	0,08	0,12	0,20	0,07	0,05	0,01	0,00	0,00
1986-1987	0,00	0,35	0,22	0,22	0,22	0,18	0,22	0,04	0,06	0,06	0,00	0,00
1987-1988	0,00	0,00	0,01	0,02	0,06	0,06	0,08	0,08	0,08	0,01	0,00	0,00
1988-1989	0,03	0,02	0,10	0,19	0,17	0,16	0,16	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00
1989-1990	0,00	0,05	0,07	0,14	0,14	0,14	0,14	0,28	0,20	0,10	0,11	0,27
1990-1991	0,22	0,22	0,06	0,04	0,11	0,13	0,17	0,19	0,07	0,06	0,06	0,06
1991-1992	0,06	0,01	0,06	0,04	0,03	0,06	0,08	0,06	0,05	0,04	0,03	0,05
1992-1993	0,06	0,18	0,07	0,08	0,15	0,15	0,04	0,02	0,01	0,03	0,01	0,07
1993-1994	0,05	0,07	0,07	0,14	0,04	0,03	0,04	0,11	0,12	0,11	0,00	0,00
1994-1995	0,13	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,06	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00
Max	0,65	0,35	0,22	0,82	0,97	0,33	0,67	0,97	0,33	0,11	0,11	0,27
Min	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,03	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Moyenne	0,07	0,08	0,08	0,13	0,16	0,14	0,19	0,13	0,08	0,04	0,03	0,04
Ecart type	0,14	0,09	0,06	0,16	0,20	0,09	0,19	0,19	0,08	0,04	0,03	0,06
Coef.Variation	1,93	1,13	0,71	1,25	1,29	0,62	1,01	1,51	0,93	0,84	1,08	1,51
Coef d'asym	3,50	1,79	1,02	3,59	3,29	0,80	1,93	4,08	2,01	0,41	0,86	2,88
Coef d'aplat	13,66	3,35	1,34	14,89	12,63	-0,15	2,64	18,06	4,74	-1,19	-0,60	10,36

Tableau (IV.3) : Répartition mensuelle des débits moyens (m³/s).

Année	Sep	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout
1972-1973	1,31	0,84	0,34	0,52	0,47	1,05	2,18	3,19	0,39	0,67	0,10	0,29
1973-1974	0,07	0,09	0,10	0,84	0,80	0,37	0,41	0,32	0,10	0,10	0,06	0,05
1974-1975	0,07	0,44	0,14	0,16	0,16	0,47	1,17	0,77	1,43	0,03	0,04	0,03
1975-1976	1,00	0,16	0,10	0,12	0,11	0,89	1,36	0,64	0,22	0,81	0,69	0,07
1976-1977	0,74	0,08	0,56	1,01	2,22	0,67	0,19	0,92	1,42	0,60	0,09	0,09
1977-1978	0,28	0,12	0,30	0,23	0,16	0,20	0,15	0,13	0,07	0,03	0,04	0,72
1978-1979	0,69	0,76	0,21	0,14	0,07	0,11	0,12	0,26	0,05	0,07	0,03	0,02
1979-1980	3,14	0,42	0,04	0,05	0,05	0,19	0,80	0,22	0,29	0,12	0,11	0,13
1980-1981	1,66	0,28	0,84	0,31	0,58	0,98	0,52	0,12	0,04	0,69	0,02	0,02
1981-1982	0,25	0,14	0,03	0,26	0,07	0,13	0,10	0,24	0,33	0,12	0,02	0,05
1982-1983	0,53	0,61	1,38	0,20	0,15	0,14	0,10	0,07	0,06	0,05	0,04	0,31
1983-1984	0,39	0,66	0,05	0,07	0,07	0,30	0,22	0,12	0,10	0,10	0,08	0,32
1984-1985	0,02	1,58	0,20	0,13	0,26	0,53	0,58	0,33	0,99	0,05	0,00	0,02
1985-1986	0,37	0,21	0,18	0,15	0,10	0,19	1,37	0,85	0,34	0,06	0,01	0,01
1986-1987	0,64	0,91	0,36	0,44	0,31	0,34	0,27	0,12	0,09	0,07	0,05	0,03
1987-1988	0,00	0,04	0,04	0,05	0,07	0,09	0,12	0,17	0,24	0,37	0,01	0,15
1988-1989	0,24	0,32	0,46	0,20	0,18	0,20	0,20	0,29	0,02	1,12	0,15	0,08
1989-1990	3,70	0,10	0,13	0,19	0,27	0,66	0,20	0,74	0,98	0,14	0,13	0,38
1990-1991	0,26	0,29	0,24	0,09	0,12	0,14	0,22	0,28	0,17	0,09	0,08	0,12
1991-1992	0,30	0,08	0,09	0,08	0,06	0,08	0,17	0,12	0,12	0,06	0,03	0,15
1992-1993	0,17	0,27	0,30	0,10	0,16	0,18	0,14	0,03	0,07	0,07	0,07	0,09
1993-1994	0,07	0,08	0,13	0,15	0,10	0,05	0,09	0,12	0,13	0,12	0,05	0,08
1994-1995	0,25	0,25	0,09	0,07	0,06	0,06	0,48	0,48	0,01	0,09	0,00	0,00
Max	0,00	0,04	0,03	0,05	0,05	0,05	0,09	0,03	0,01	0,03	0,00	0,00
Min	0,70	0,38	0,28	0,26	0,30	0,38	0,50	0,50	0,34	0,26	0,08	0,14
Moyenne	0,96	0,37	0,30	0,25	0,45	0,33	0,54	0,67	0,43	0,31	0,14	0,17
Ecart type	1,36	0,97	1,08	0,99	1,52	0,88	1,07	1,34	1,25	1,19	1,69	1,22
Coef.Variation	2,30	1,81	2,43	1,90	3,58	1,05	1,80	3,13	1,72	1,53	4,22	2,28
Coef d'asym	4,99	3,80	6,98	3,21	14,54	-0,22	3,10	11,55	1,95	1,38	19,32	6,09
Coef d'aplat		/	0,45	0,58	0,59	1,07	0,83	1,46	0,58	0,53	0,04	0,04

Tableau (IV.4) : Répartition mensuelle des Apports (hm³).

Année	Sep	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout
1972-1973	3,40	2,26	0,88	1,40	1,26	2,53	5,84	8,28	1,05	1,73	0,26	0,79
1973-1974	0,19	0,25	0,27	2,25	2,15	0,90	1,10	0,82	0,26	0,26	0,15	0,14
1974-1975	0,19	1,19	0,36	0,43	0,42	1,14	3,13	2,00	3,83	0,08	0,10	0,07
1975-1976	2,59	0,43	0,25	0,32	0,29	2,23	3,65	1,66	0,58	2,10	1,83	0,20
1976-1977	1,92	0,20	1,45	2,71	5,93	1,61	0,50	2,38	3,80	1,57	0,24	0,24
1977-1978	0,73	0,31	0,77	0,61	0,43	0,49	0,40	0,34	0,18	0,09	0,11	1,94
1978-1979	1,78	2,05	0,54	0,38	0,19	0,27	0,33	0,68	0,12	0,18	0,08	0,06
1979-1980	8,15	1,12	0,10	0,12	0,12	0,48	2,14	0,57	0,78	0,31	0,30	0,34
1980-1981	4,29	0,75	2,19	0,83	1,55	2,37	1,38	0,32	0,10	1,79	0,05	0,06
1981-1982	0,65	0,39	0,09	0,71	0,18	0,32	0,28	0,63	0,87	0,32	0,04	0,12
1982-1983	1,36	1,62	3,58	0,54	0,40	0,34	0,26	0,17	0,16	0,13	0,10	0,82
1983-1984	1,01	1,77	0,14	0,17	0,20	0,75	0,59	0,32	0,26	0,25	0,22	0,86
1984-1985	0,04	4,22	0,52	0,34	0,69	1,29	1,54	0,86	2,65	0,12	0,00	0,04
1985-1986	0,96	0,56	0,46	0,40	0,28	0,47	3,66	2,21	0,90	0,17	0,02	0,03
1986-1987	1,65	2,43	0,93	1,17	0,82	0,82	0,71	0,32	0,24	0,19	0,13	0,07
1987-1988	0,01	0,11	0,10	0,14	0,18	0,21	0,32	0,43	0,65	0,95	0,04	0,40
1988-1989	0,62	0,86	1,19	0,53	0,48	0,47	0,54	0,75	0,05	2,90	0,40	0,21
1989-1990	9,60	0,26	0,33	0,51	0,71	1,59	0,54	1,93	2,63	0,37	0,35	1,02
1990-1991	0,68	0,76	0,62	0,23	0,32	0,34	0,58	0,73	0,45	0,22	0,22	0,32
1991-1992	0,77	0,22	0,22	0,21	0,17	0,21	0,47	0,32	0,33	0,16	0,09	0,42
1992-1993	0,45	0,73	0,77	0,27	0,44	0,43	0,37	0,08	0,19	0,18	0,19	0,23
1993-1994	0,19	0,22	0,34	0,40	0,27	0,11	0,25	0,31	0,34	0,31	0,14	0,22
1994-1995	0,66	0,67	0,24	0,18	0,17	0,14	1,28	1,23	0,03	0,23	0,00	0,00
Max	1,82	1,02	0,71	0,65	0,77	0,85	1,30	1,19	0,89	0,64	0,22	0,37
Min	1,38	0,77	0,54	0,49	0,58	0,64	0,98	0,90	0,67	0,48	0,17	0,28
Moyenne	9,60	4,22	3,58	2,71	5,93	2,53	5,84	8,28	3,83	2,90	1,83	1,94
Ecart type	0,01	0,11	0,09	0,12	0,12	0,11	0,25	0,08	0,03	0,08	0,00	0,00
Coef.Variation	1,82	1,02	0,71	0,65	0,77	0,85	1,30	1,19	0,89	0,64	0,22	0,37
Coef d'asym	2,48	0,99	0,80	0,66	1,23	0,74	1,45	1,69	1,16	0,80	0,37	0,45
Coef d'aplat	1,36	0,97	1,13	1,03	1,61	0,88	1,12	1,43	1,31	1,25	1,68	1,21

ANNEXE VI

Tableau (VI.1) : Répartition mensuelle et annuelle du transport solide en suspension (kg/s).

Année	Sep	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Totale
1971-1972	0,00	2,81	79,75	37,49	0,02	1,97	6,27	5,82	2,86	15,30	0,00	1,48	153,77
1972-1973	1806,16	167,51	204,56	2,68	0,01	5,81	20,84	15,67	28,37	332,72	0,02	13,93	2598,28
1973-1974	0,73	0,29	1,48	6,18	0,01	2,52	38,61	54,15	447,43	61,25	0,01	1,91	614,57
1974-1975	0,73	82,13	2,14	0,09	0,00	0,30	17,00	1,98	11,88	15,99	0,00	0,00	132,24
1975-1976	1053,19	0,66	1,48	0,06	0,00	1,21	21,53	1,45	98,95	25,35	1,65	2,79	1208,32
1976-1977	972,65	0,25	68,02	3,02	1,20	8,18	25,20	2,39	3,77	224,23	28,66	3,70	1341,27
1977-1978	6,70	15,35	29,14	0,17	406,14	0,04	1,00	39,91	1447,92	168,01	0,00	38,94	2153,32
1978-1979	26,76	70,88	3,34	0,07	0,00	0,01	0,56	0,32	0,06	1,37	0,00	1352,87	1456,24
1979-1980	879,82	177,73	0,54	0,01	0,00	0,04	2,22	199,60	0,95	73,87	0,02	5,62	1340,42
1980-1981	514,00	2,54	203,31	0,90	0,02	117,42	30,36	4,12	186,00	20,95	0,00	0,67	1080,29
1981-1982	16,44	32,68	0,40	23,03	0,00	12,26	2,69	0,27	1,17	4174,89	1,91	53,27	4319,01
1982-1983	1004,94	2946,18	708,09	0,14	0,00	0,05	0,45	1,45	2,56	5,37	0,00	7,61	4676,84
1983-1984	17,18	1508,29	0,69	0,02	0,11	0,11	1,20	0,08	0,17	1,18	0,01	50,11	1579,15
1984-1985	0,15	13,54	12,34	1,59	0,00	1,44	4,02	0,47	6,65	0,92	0,00	148,34	189,46
1985-1986	31,98	2,21	10,97	0,08	0,00	3,94	9,41	2,34	96,15	1,14	0,31	0,67	159,20
1986-1987	128,22	103,23	21,41	1,16	0,00	0,15	221,55	133,74	8,76	1,37	0,00	1,07	620,66
1987-1988	0,00	0,60	0,54	0,23	0,00	0,01	0,56	0,15	0,71	9,98	0,00	6,61	19,39
1988-1989	621,02	176,31	246,43	0,14	0,00	0,04	1,07	0,38	24,87	167,00	26,98	55,17	1319,41
1989-1990	5679,23	0,55	4,23	0,15	0,13	0,05	1,63	290,08	52,92	2299,13	9,01	18,34	8355,45
1990-1991	3,79	1,51	20,58	0,04	0,00	0,02	1,20	0,36	0,41	1,85	0,01	5,13	34,90
1991-1992	4,53	0,25	1,32	0,03	0,01	0,00	0,87	0,08	0,24	1,14	0,00	6,61	15,08
1992-1993	2,23	1,37	40,09	0,04	0,00	0,03	0,68	0,01	0,10	1,37	0,01	31,68	77,61
1993-1994	0,73	0,25	4,05	0,08	0,00	0,00	1,21	0,08	0,27	2,61	0,00	3,25	12,54
1994-1995	7,11	2,90	1,32	0,02	0,00	0,00	1,41	0,48	0,01	1,85	0,00	0,00	15,10
Totale	12778,29	5310,02	1666,22	77,42	407,65	155,60	432,74	761,00	2423,18	7623,46	68,61	1809,77	33513,95
Max	5679,23	2946,18	708,09	37,49	406,14	117,42	221,55	290,08	1447,92	4174,89	28,66	1352,87	8355,45
Min	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,45	0,01	0,00	0,92	0,00	0,00	12,54
Moyenne	511,13	212,40	66,65	3,10	16,31	6,22	17,31	30,44	96,93	304,94	2,74	72,39	1340,56
Ecart type	1181,32	643,61	151,23	8,55	81,22	23,36	43,99	71,76	297,21	926,90	7,77	268,71	1939,22
Coef. Variation	2,31	3,03	2,27	2,76	4,98	3,75	2,54	2,36	3,07	3,04	2,83	3,71	1,45
Coef d'asym	3,81	3,81	3,55	3,49	5,00	4,87	4,51	2,82	4,30	3,72	3,04	4,89	2,41
Coef d'aplat	16,30	14,90	14,11	12,18	25,00	24,06	21,47	7,67	19,55	14,01	8,32	24,19	6,64

Tableau (VI.2) : Répartition mensuelle et annuelle du transport solide en suspension (tonne).

Année	Sep	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Totale
1971-1972	0,00	7526,30	206712,00	100413,22	53,57	4765,82	16793,57	15085,44	7660,22	39657,60	5,36	3964,03	402637,13
1972-1973	4681566,72	448658,78	530219,52	7178,11	26,78	14555,03	55817,86	41970,53	75986,21	862358,40	53,57	37310,11	6755701,62
1973-1974	1892,16	776,74	3836,16	16552,51	26,78	6096,38	103413,02	140356,80	1198396,50	158760,00	13,39	5115,74	1635236,19
1974-1975	1892,16	219977,00	5546,88	241,06	0,00	725,76	45532,80	5132,16	31819,39	41446,08	5,36	0,00	352318,64
1975-1976	2729868,48	1767,74	3836,16	160,70	0,00	2927,23	57665,95	3758,40	265027,68	65707,20	4419,36	7472,74	3142611,65
1976-1977	2521108,80	669,60	176307,84	8088,77	3214,08	20495,81	67495,68	6194,88	10097,59	581204,16	76762,94	9910,08	3481550,23
1977-1978	17366,40	41113,44	75530,88	455,33	1087805,40	96,77	2678,40	103446,72	3878108,93	435715,20	5,36	104296,90	5746619,72
1978-1979	69361,92	189845,00	8657,28	187,49	0,00	24,19	2678,40	829,44	160,70	3551,04	2,68	3623527,00	3898825,14
1979-1980	2280493,44	476032,03	1399,68	26,78	0,00	96,77	5946,05	517363,20	2544,48	191471,04	53,57	15052,61	3490479,65
1980-1981	1332288,00	6803,14	526979,52	2410,56	53,57	294207,55	81316,22	10679,04	498182,40	54302,40	0,00	1794,53	2809016,93
1981-1982	42612,48	87530,11	1036,80	61683,55	0,00	29659,40	7204,90	699,84	3133,73	10821314,88	5115,74	142678,37	11202669,80
1982-1983	2604804,48	7891048,50	1835369,28	374,98	0,00	120,96	1205,28	3758,40	6856,70	13919,04	5,36	20382,62	12377845,60
1983-1984	44530,56	4039803,94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		134214,62	4218549,12
1984-1985	388,80	36265,54	31985,28	4258,66	5,36	3608,06	10767,17	1218,24	17811,36	2384,64	0,00	397313,86	506006,96
1985-1986	82892,16	5919,26	28434,24	214,27	0,00	9531,65	25203,74	6065,28	257528,16	2954,88	830,30	1794,53	421368,48
1986-1987	332346,24	276491,23	55494,72	3106,94	8,04	362,88	593399,52	346654,08	23462,78	3551,04	0,00	2865,89	1637743,35
1987-1988	0,00	1612,39	1399,68	616,03	0,00	16,93	1499,90	388,80	1901,66	25868,16	0,00	17704,22	51007,78
1988-1989	1609683,84	472228,70	638746,56	374,98	0,00	100,22	2865,89	984,96	66611,81	432864,00	72263,23	147767,33	3444491,52
1989-1990	14720564,16	1473,12	10964,16	401,76	348,19	120,96	4365,79	751887,36	141740,93	5959344,96	24132,38	49121,86	21664465,63
1990-1991	9823,68	4044,38	53343,36	107,14	0,00	48,38	3214,08	933,12	1098,14	4795,20	26,78	13740,19	91174,46
1991-1992	11741,76	669,60	3421,44	80,35	13,39	0,00	2330,21	207,36	642,82	2954,88	2,68	17704,22	39768,71
1992-1993	5780,16	3669,41	103913,28	107,14	0,00	75,17	1821,31	20,74	267,84	3551,04	18,75	2737,15	121961,98
1993-1994	1892,16	669,60	10497,60	214,27	0,00	4,84	3240,86	207,36	723,17	6765,12	10,71	8704,80	32930,50
1994-1995	18429,12	7767,36	3421,44	53,57	0,94	7,26	3776,54	1244,16	13,39	4795,20	0,00	0,00	39508,98
Totale	33121327,68	14222362,92	4317053,76	207308,16	1091556,10	387648,03	1157015,22	1973653,35	6489776,60	19757131,20	183727,52	4765173,40	87673733,93
Max	33121327,68	7891048,50	1835369,28	100413,22	1087805,40	294207,55	593399,52	751887,36	3878108,93	10821314,88	76762,94	3623527,00	21664465,63
Min	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	32930,50
Moyenne	2547794,44	568894,52	172682,15	8292,33	43662,24	15505,92	46280,61	78946,13	259591,06	790285,25	7655,31	190606,94	3506949,36
Ecart type	6919966,80	1723856,17	392025,06	22907,80	217530,77	58534,85	117860,43	185989,32	796041,06	2402554,48	21199,67	720421,50	5051016,70
Coef.Variation	2,72	3,03	2,27	2,76	4,98	3,77	2,55	2,36	3,07	3,04	2,77	3,78	1,44
Coef d'asym	3,81	3,81	3,54	3,49	5,00	4,87	4,50	2,82	4,30	3,72	2,97	4,89	2,38
Coef d'aplat	16,30	14,90	14,11	12,18	25,00	24,10	21,46	7,67	19,55	14,01	7,85	24,19	6,44

Tableau (VI.3) : Répartition mensuelle et annuelle des Apports liquides (m³/s).

Année	Sep	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Totale
1971-1972	0,00	0,45	3,78	5,94	0,59	1,07	0,83	1,46	0,58	0,53	0,04	0,04	15,31
1972-1973	35,97	8,39	8,92	1,20	0,47	1,72	2,18	2,63	2,49	7,05	0,10	0,29	71,41
1973-1974	0,07	0,09	0,10	1,99	0,50	1,19	3,58	5,49	14,38	1,70	0,06	2,63	31,79
1974-1975	0,07	5,04	0,14	0,16	0,16	0,47	1,85	0,77	1,43	0,55	0,04	0,03	10,70
1975-1976	23,37	0,16	0,10	0,12	0,11	1,46	1,89	0,64	5,51	0,81	0,69	0,07	34,92
1976-1977	21,93	0,08	3,27	1,29	2,22	2,00	2,54	0,86	0,69	5,06	2,35	0,09	42,37
1977-1978	0,41	1,52	1,51	0,23	15,19	0,20	0,19	4,58	30,34	3,97	0,04	0,72	58,91
1978-1979	1,24	4,54	0,21	0,14	0,07	0,11	0,12	0,26	0,05	0,07	0,03	16,60	23,45
1979-1980	20,24	8,76	0,04	0,05	0,05	0,19	0,24	11,91	0,29	1,99	0,11	0,13	43,99
1980-1981	13,17	0,42	8,87	0,62	0,58	6,47	2,95	1,20	8,23	0,69	0,02	0,02	43,24
1981-1982	0,84	2,61	0,03	4,42	0,07	2,39	0,42	0,24	0,33	59,09	0,02	0,05	70,51
1982-1983	22,51	65,24	27,66	0,20	0,15	0,22	0,10	0,64	0,54	0,22	0,04	0,17	117,68
1983-1984	0,87	40,42	0,05	0,07	0,07	0,30	0,22	0,12	0,10	0,11	0,08	0,90	43,32
1984-1985	0,02	1,39	0,69	0,13	0,26	0,93	0,58	0,33	0,99	0,05	0,00	2,35	7,69
1985-1986	1,43	0,38	0,62	0,15	0,10	1,45	1,15	0,85	5,41	0,06	0,01	0,02	11,64
1986-1987	4,34	5,94	1,14	0,72	0,31	0,34	14,60	9,39	1,18	0,07	0,05	0,03	38,09
1987-1988	0,00	0,15	0,04	0,27	0,07	0,09	0,12	0,17	0,24	0,37	0,01	0,15	1,67
1988-1989	15,32	8,71	10,57	0,20	0,18	0,20	0,20	0,29	2,29	3,95	2,29	0,98	45,17
1989-1990	89,89	0,10	0,13	0,19	0,27	0,21	0,20	14,87	0,98	35,79	1,43	0,37	144,42
1990-1991	0,26	0,29	1,10	0,09	0,12	0,14	0,22	0,28	0,17	0,09	0,08	0,12	2,95
1991-1992	0,30	0,08	0,09	0,08	0,06	0,08	0,17	0,12	0,12	0,06	0,03	0,15	1,36
1992-1993	0,17	0,27	2,02	0,10	0,16	0,18	0,14	0,03	0,07	0,07	0,07	0,60	3,89
1993-1994	0,07	0,08	0,25	0,15	0,10	0,05	0,22	0,12	0,13	0,12	0,05	0,08	1,43
1994-1995	0,43	0,44	0,09	0,07	0,15	0,06	0,25	0,48	0,01	0,09	0,00	0,00	2,06
Totale	252,93	155,54	71,41	18,56	22,00	21,51	37,17	59,15	76,54	123,07	7,63	26,61	872,12
Max	89,89	65,24	27,66	5,94	15,19	6,47	14,60	14,87	30,34	59,09	2,35	16,60	144,42
Min	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,03	0,00	0,05	0,00	0,00	1,36
Moyenne	10,12	6,22	2,86	0,74	0,88	0,86	1,49	2,37	3,06	4,92	0,31	1,06	34,88
Ecart type	19,57	14,77	6,01	1,44	3,01	1,36	2,93	3,97	6,58	13,36	0,68	3,31	36,61
Coef.Variation	1,93	2,37	2,10	1,93	3,42	1,58	1,97	1,68	2,15	2,71	2,22	3,11	1,05
Coef d'asym	3,12	3,40	3,31	2,88	4,84	3,18	4,04	2,23	3,43	3,54	2,54	4,68	1,57
Coef d'aplat	11,61	11,77	12,43	8,18	23,82	12,23	18,21	4,24	12,94	12,60	5,41	22,62	2,66

Tableau (VI.4) : Répartition mensuelle et annuelle des Apports liquides (m³).

Année	Sep	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Totale
1971-1972	0,00	38836,80	326362,36	513408,96	51171,09	92859,09	71561,49	125945,28	49796,12	45518,87	3270,19	3869,42	1322599,68
1972-1973	3107635,07	724569,85	770579,19	103680,00	40681,16	148942,33	188350,10	226963,92	215402,94	609266,86	8403,10	25451,08	6169925,61
1973-1974	6451,20	8026,84	8928,00	172046,10	43412,46	103032,00	309406,50	474449,29	1242033,14	146880,00	4760,36	227134,80	2746560,68
1974-1975	6347,52	435272,66	11923,20	13824,00	13433,81	40648,88	160077,60	66808,32	123503,10	47390,40	3159,45	2290,99	924679,95
1975-1976	2019221,89	13743,18	8259,84	10231,44	9336,77	126493,00	163295,47	54921,60	476007,95	69941,64	59193,18	6368,52	3017014,47
1976-1977	1894699,69	6560,82	282373,06	111683,01	191418,68	172466,18	219456,00	73984,57	59752,80	437443,20	202867,48	7809,44	3660514,95
1977-1978	35075,84	131414,40	130055,40	19626,73	1312177,86	17588,57	16199,66	396042,33	2621640,75	343432,80	3706,84	62540,48	5089501,66
1978-1979	107136,00	392549,77	18032,97	12380,90	6279,33	9488,23	10549,63	22522,56	4030,14	6059,40	2435,92	1434520,03	2025984,89
1979-1980	1748578,62	757282,17	3473,28	3910,30	3910,30	16621,69	20408,40	1028857,01	25205,34	172259,84	9559,75	10986,74	3801053,43
1980-1981	1137801,36	36632,94	766544,46	53249,12	50132,90	558785,12	255106,86	103289,47	710985,09	59656,33	1578,61	57241,43	3791003,70
1981-1982	72581,90	225476,35	2946,24	382002,61	5900,28	206927,74	35990,78	21079,22	28087,55	5105659,23	1391,88	3918,45	6091962,24
1982-1983	1944486,81	5636418,11	2389635,06	17419,35	12976,73	18834,00	8478,35	55207,46	47038,50	19180,80	3065,81	455523,30	10608264,27
1983-1984	75429,70	3492169,23	4726,08	5628,82	6421,47	2575,77	19066,53	10506,24	8528,52	277884,00	223948,87	2413226,93	6540112,17
1984-1985	1482,05	119892,61	59616,00	11071,74	22118,41	79958,53	49717,81	28569,60	85511,56	3905,28	41,81	202954,63	664840,03
1985-1986	123740,50	33229,48	53740,40	12831,79	9030,19	125024,33	99360,00	73608,96	467279,98	5587,78	500,01	2155,89	1006089,29
1986-1987	375248,26	512973,82	98546,40	62031,60	26538,73	29311,19	1261094,33	811093,71	101583,61	6416,64	4097,03	2279,15	3291214,47
1987-1988	0,00	12532,14	3204,48	23473,15	5671,74	7379,75	10342,92	14353,92	20950,83	31772,68	1223,54	13075,33	143980,48
1988-1989	1323813,62	752129,28	913552,13	17016,77	15456,62	16865,83	17397,69	25065,92	198028,17	341182,97	198028,17	84500,29	3903037,47
1989-1990	7766677,21	8428,74	10924,42	16486,79	22980,17	17978,25	17524,71	1284531,49	84738,87	3091948,83	123704,83	31889,72	12477814,04
1990-1991	22724,93	24638,50	95040,00	7541,88	10359,08	12083,65	18651,25	24433,82	14567,59	7482,24	7000,07	10480,60	255003,62
1991-1992	25546,17	7086,47	7383,17	6672,31	5548,55	7215,89	15101,61	10668,67	10553,62	5480,06	2873,41	13387,89	117517,82
1992-1993	14886,72	23603,37	174528,00	8815,03	14113,85	15524,84	11866,90	2825,28	6016,23	5884,42	6182,34	51961,50	336208,48
1993-1994	6428,16	7178,45	21668,65	12985,64	8660,55	3963,53	19431,65	10495,29	10850,73	10359,94	4545,20	6958,82	123526,60
1994-1995	36809,28	38065,44	7970,88	5832,47	12751,91	5023,54	21511,80	41055,32	1076,93	7811,46	0,00	0,00	177909,02
Totale	21852802,48	13438711,44	6170013,66	1603850,51	1900482,66	1835591,96	3211286,83	5110726,86	6613170,07	10902047,67	875537,83	5130525,43	78644747,40
Max	7766677,21	5636418,11	2389635,06	513408,96	1312177,86	558785,12	1261094,33	1284531,49	2621640,75	5105659,23	223948,87	2413226,93	12477814,04
Min	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8478,35	2825,28	0,00	3905,28	0,00	0,00	117517,82
Moyenne	874112,10	537548,46	246800,55	64154,02	76019,31	73423,68	128451,47	204429,07	264526,80	436081,91	35021,51	205221,02	3145789,90
Ecart type	1690812,26	1276405,27	518962,76	124011,63	260277,56	117998,31	252774,10	342997,87	568370,92	1151368,08	70427,57	545755,27	3279795,00
Coef.Variation	1,93	2,37	2,10	1,93	3,42	1,61	1,97	1,68	2,15	2,64	2,01	2,66	1,04
Coef d'asym	3,12	3,40	3,31	2,88	4,84	3,16	4,04	2,23	3,43	3,54	2,06	3,48	1,42
Coef d'aplat	11,61	11,77	12,43	8,18	23,82	12,10	18,21	4,24	12,94	12,60	2,80	12,32	1,95

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUES

ABDI S., HOURIA H., 2004. Effet des pesticides sur les caractéristiques physico-chimiques et la microflore de l'eau potable de la région de Guelma. Mémoire de fin d'étude d'ingénieur Université Badji Mokhtar Annaba.

ACHITE M., TOUAIBIA B., 2000. Analyse multi variée de la variable « Erosion Spécifique » : cas du bassin versant de l'oued Mina (Algérie). Séminaire international d'hydrologie des zones méditerranéennes. Montpellier, France.

ACHITE M. 2002. Approche statistique d'évaluation du transport solide dans le bassin versant de l'oued Mina (nord-ouest Algérien). Colloque international sur l'eau dans le bassin méditerranéen : Ressources et développement durable, 10-13 octobre 2002, Monastir (Tunisie), pp 894-899.

ACHITE M., MEDDI M., 2005 Variabilité spatio-temporelle des apports liquide et solide en zone semi-aride. Cas du bassin versant de l'oued Mina (nord-ouest Algérien). Rev. Sci. Eau, 18, pp 37-56.

ACHITE M., TOUIBIA B., OUILLON.S., 2006. Erosion hydrique en Algérie du Nord : Ampleur, Conséquence & Perspectives. 14th International Soil Conservation Organisation Conference, pp 1-6.

AHAMROUNI J., 1996, Erosion hydrique dans le bassin versant de la Moulaya (Maroc Orientale). Recherche des zones sources d'envasement de la retenue du Barrage Mohamed V. Thèse de Doctorat de 3^{ème} Cycle.

ALEXEEVE V., « Analyse quantitative », 3^{ème} édition. Revue MIR (tradition française).

BENKHALED A., 2004., Contribution à l'étude u transport solide en suspension Bassin de Oued Ouahrane Bassin Hydrographique Cheliff-Zahrez. Thèse de Doctorat Science.

BENKHALED A., REMINI B., 2003. Analyse de la relation de puissance : débit solide-débit liquide à l'échelle du bassin versant de l'oued Wahrân (Algérie). Rev.Sci.Eau, 16, pp333-356.

BERGAOUI M., CAMUS H., NOUVELOT J.F., 1998. Essai de modélisation du transport solide sur les micros bassins versants de Tebaga (Tunisie Centrale), Cahier sécheresse, 9(1), pp 51-57.

BENOIT CAMENEN., MAGNUS LARSON., 2006. Transport solide en suspension sous une interaction houle-courant. IXèmes Journées Nationales Génie Civil-Génie Cotier, pp145-156.

BOUANANI A., Baba Hamed k., Mania J., 2003. Variation climatique et conséquences hydrologiques : cas du bassin versant de la Tafna (NW Algérie). Journal de l'eau et de l'environnement. INSH n°3, ISSN 1112-3834, pp 33-37.

BOUANANI A., 2004. Hydrologie, Transport solide et Modélisation, étude de quelques sous bassin de la Tafna (NW Algérie). Thèse de doctorat d'Etat.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUES

BOUCHELKIA H., REMINI B., 2003. Quantification du transport solide dans le bassin versant Algérien de chellif, n°33, pp 45-56.

BOUROUBA M., 1997. Les variations de la turbidité et leurs relations avec les précipitations et les débits des Oueds semi-arides de l'Algérie orientale. Bull. ORSTOM, n°17, pp345-360.

BOUROUBA M., 1998. Une synthèse comparative de la teneur en suspension des oueds algériens, 17 pages, 7 figures, inédit.

BOUROUBA M., 1998 b. contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides de l'Oued Medjerda supérieur (Algérie orientale). Bulletin de l'ORSTOM, n°18, pp 76-97.

BOU KHEIR R., GIRARD M-CL., KHAWLIE M. et ABADALLAH C. (2001). Erosion hydrique des sols dans les milieux méditerranéens : une revue bibliographique. Etude et gestion des sols, 8(4), pp 231-245.

CHAIBINI M., SABATIER F., MAANAN M., 2009. Quantification de transport sédimentaire longshore : Application à la baie d'El Haouzia (région d'El Jadida, Maroc). Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, Section Sciences de la Terre, n°31, pp 21-27.

CHENAOU B., 2007. Quantification du transport solide en suspension dans le bassin versant d'Oued El Ardjem. Communication. Univ. Chlef, Alger.

CHIBBANI R., DJILLI K., ROOSE E., 1999. Etude à différentes échelles des risques d'érosion dans le bassin versant d'Issir. Bull. ORSTOM, Rés. Eros., n°19, pp 85-95.

DEMMAK A., 1982. Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides en Algérie septentrionale. Th. Docteur-Ingénieur Univ. Paris, France.

DJIMIL A., MAHALAINE L., 2002-2003. Analyse phisico-chimique des eaux naturelles de la région d'OMB et évaluation de risque de pollution des eaux ions ortho phosphates. Mémoire de fin d'étude d'ingénieur.

EL OUADINI M., AIT BRAHAIM L., MOUKHCHANE M., BEN JEBARA A., 2001. Erosion et transport en suspension dans le bassin versant de l'Oued Martil (RIF Septentrional, Maroc), pp 78-86.

FANDI W., BOUANANI A., BABA HAMED K., BEKKOUCHE A., 2009 Modélisation du transport des particules du sol en suspension dans l'Oued Sikkak (Nord Ouest Algérien), colloque international sols non saturés et Environnement.

FERGUSON R.I., 1987. Accuracy and precision of methods for estimating river loads. Earth Surface Processes and Landforms, n°12, pp 95-104.

FREY. PH., 2009. Transport solide par charriage à différentes échelles, Application au cours d'eau de montagne. Mémoire présenté pour obtenir l'Habilitation à Diriger des Recherche.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUES

GHORBEL A., CLAUDE J., 1977. Mesure de l'envasement dans les retenues de sept barrages en Tunisie : estimation des transports solides, IAHS publ, n°122, pp 219-232.

GIL MICHARD., « chimie des eaux naturelles, principe de géochimie des eaux », édition publisud, Paris.

GUIGO. M., 1975., les variations de la turbidité et leurs relations avec le débit et les précipitations sur le Magra, fleuve de la Ligurie orientale, revue de géographie physique et de la géologie dynamique, volume XVII, fascicule 3, Paris, pp 259-276 in BOUROUBA M., 1998.

HEUSCH B., 1970. L'érosion du Pré-Rif, annales rech. Forestière, Maroc, n° 12, 176 p.

HEUCH B., MILLIES-LACROIX A., 1971. Une méthode pour estimer l'écoulement et l'érosion dans un bassin. Application au Maghreb. Mines et Géologie (Rabat), n°33, pp21-39.

HEUCH B., 1982. Etude de l'érosion et des transports solides en zone semi-aride. Recherche bibliographique sur l'Afrique du Nord. Projet RAB/80/04/PNUD.

HUANG J., GREIMANN B., CHIH TED YAUNG., 2009. Numerical simulation of sediment transport in alluvial river with flood plains. International Journal of sediment research, vol. 18, n°1, pp 50-59.

JODEAU M., 2004. Etude expérimentale des mécanismes de transport solide par charriage Torrentiel. Mémoire de DEA.

KASSOUL A.ABDELGADER A. et BELORGEY M., 1997. Caractérisation de la sédimentation des barrages en Algérie. Rev. Sci. Eau, 10/3, pp 339-358.

KRIMIL F., 2009. Essai de Modélisation de la Gestion du Barrage de Foum El Gherza (W. De Biskra). Thèse de Magister.

KOURI L., 1993. L'érosion hydrique des sols dans le bassin versant de l'Oued Mina. Etude des processus et type de fonctionnement des ravins dans la zone des marnes tertiaires. Thèse de doctorat. Univ. Louis Pasteur, Strasbourg, France, 238 p.

LAHLOU A., 1994 Envasement des barrages au Maroc. Edition WALLADA, Casa-blanc, Maroc. 277 p.

LOUINA A., 1992. Recherches actuelles sur les processus d'érosion au Maroc. Bull. Réseau Erosion 12, pp 292-299.

LARFI B., REMINI B., 2006. Le transport solide dans le bassin versant de l'Oued Isserimpat sur l'envasement du barrage de beniamrane (Algerie). Larhyss Journal, 5, pp63-73.

MAHMOUD H., 1987. Réservoirsédimentation. World Bank, Washington.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUES

- MAROUF N., REMINI B., 2010. Temporal Variability in Sediment Concentration and Hysteresis in the WadiKebirRumel Basin of Algeria.The Hong Kong Institution of Engineers Transactions, Vol 18, No 1, pp13-21.
- MEDI M., 1999. Etude du transport solide dans le bassin versant de l'Oued Ebda (Algérie). Zeitschrift fur Géomorphologie, n°43, pp167-183
- MEDI M., KHALDI A., MEDDI HIND., 1998. Contribution à l'étude du transport solide en Algérie du Nord, IAHS Publ, n°249, pp 393-397.
- MEGNOUNIF A, TERFOUS A., BOUANANI A., 2000. Etude du transport solide dans l'Oued Mouilah (Nord Ouest Algérien). Colloque Méditerranéen Eau-Environnement. Alger, pp 128-132.
- MEGNOUNIF A, TERFOUS A, GHENAIM A, POULET J.B, 02004. Rôle des crues dans la production de sédiments transportés en suspension dans un cours d'eau des bassins versants méditerranéens. VIII^{èmes} Journées Nationales Génie Civil-Génie Côtier, Compiègne, pp 341-346.
- MEGUENNI K., REMINI B., 2008. Evaluation du débit solide dans le Bassin versant de Harreza (Algerie). Larhyss Journal, ISS 1112-3680, n°07, pp7-19.
- MILLIMAN J.D., MEADE R.H., 1983. Worldwide delivery of river sediment to the oceans.J.Geol, 91, pp 1-21.
- MLLE MOUSA MOUMOUNI DJERMAKOYE HAMSATOU., 2005. Les eaux résiduares des tanneries et des teintureries : caractéristique physico-chimiques, bactériologiques et impact sur les eaux de surface et les eaux souterraines. Pour obtenir le grade de docteur en pharmacie.
- MOUKHCHANE M., BOUHLASSA S., BOUADDI K., 1998. Quantification de l'érosion des sols du bassin versant El Hachef, par le bais du Cesium-137 (région de Tanger, Maroc). Bulletin de l'ORSTOM, n°18, pp 106-118.
- POTELONI J., ZYSMAN K, « Le guide des analyse de l'eau potable ».
- PROBST J.L., BAZERBACHI A., 1986. Transports en solution et en suspension par la Garonne supérieure. Sci. Géol., Bull., 39, 1, pp 79-98.
- PROBST J.L., AMIOTTE SUCHET P., 1992.Fluvial suspended sediment transport and mechanical erosion in the Maghreb (North Africa). Hydrological Sciences Journal, 37, 6, 12, pp 621-637.
- RAIS S., ABIDI M., 1989. Prévision du transport solide sur un bassin versant. Application à l'envasement d'une retenue. La Houille Blanche, 3/4, pp 296-300.
- RAYMOND., « Les traitements des eaux » : 2^{ème} édition, revue et améliorer.
- REMINI B., AVENARD J.M., 1997. Evolution de l'envasement dans le barrage de Foug El Gherza (Algérie), pp 98-105.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUES

REMINI B. 1999. Envasement des barrages dans le Magreb. Bul. Int. De l'Eau et de l'Env., 22, pp 4-8.

RIAD S., SALHI A., 1999. Options for future water security in the Arab Countries. The First international Conference on the Geology of Africa. Nov. 23-25 Assiut Egypt., Vol. (1), pp 459-466.

RODIER J., « L'analyse de l'eau : eau naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer », 1996, 8^{ème} édition, Dunond, Paris.

RODIER J., « L'analyse de l'eau : eau naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer », 2009, 8^{ème} édition, Dunond, Paris.

REJEST F., « Analyse des eaux » aspects réglementaires et technique série les sciences et techniques de l'environnement, 2002, édition Aquitaine, France.

ROOSE E., ARABI M., BRAHAMIA K., CHEBBANI R., MAZOUR M., MORSLI B., 1993. Erosion en nappe et ruissellement en montagne algérienne. Cahier ORSTOM Pédol.28, 2, pp 289-308.

ROOSE E., 1994. Introduction à la GCES. Bull. Pédologique FAO n°70, Rome, 420 p.

ROOSE E., CHIBBANI., BOUROUGAA L., 1999. Ravinement en Algérie. Typologie, facteurs de contrôle, quantification et réhabilitation. Bull. ORSTOM, Rés. Eros., 19, pp 85-95.

SEMAOUNE M., KETTAB A., GAFSI M., BENMMAR S. Impact de l'eutrophisation de l'eau sur l'environnement, application sur le lac Hallwil en Suisse.

SERRAT P., LUDWIG W., NAVARRO B., BLAZI j., 2001. Variabilité spatio-temporelle des flux des matières en suspension d'un fleuve méditerranéen : le têt (France), C.R. Acad. Sci.Paris, Science de la terre et des planètes, 333, 389-397.

SIE-YAN-YU T.O., ROUSSELLE J., JACQUES G., NGUYEM V.T.V., 1998. Régionalisation du régime des précipitations dans la région des Bois-francs et de l'Estrée par l'analyse en composantes principales. Can. J. Civ. Eng., 25, pp 1050-1058 in ACHITE M, MEDDI M., 2005.

SNOUSSI M., JOUANNEAU J.M., LATOUCH C., 1990. Flux de matières issus de bassins versants des zones semi-arides (bassins du Sebou et du Souss, Maroc). Importance dans le bilan global des apports d'origine continentale parvenant à l'océan Mondial. J. Afric. Earth. Sci., 11, pp 43-54.

SOGREAH-INRH., 1981. Etude de l'érosion et des transports solides en zones semi arides, implantation des bassins-versants expérimentaux ; définition et dispositif de mesure, ANRH, Bir Mourad Rais, Alger, 46 pages.

SOGREAH., 1967. Etude générale des aires d'irrigation et d'assainissement agricole en Algérie, Dossier, Ministère de l'agriculture et de la réforme agraire, Alger.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUES

- TERFOUS A., MEGNOUNIF A., BOUANANI A., 2001. Etude du transport solide en suspension dans l'oued Mouliah (Nord Ouest Algérien). Rev.Sci.Eau 14 (2), pp175-185.
- TIXERONT J., 1960. Les débits solides des cours d'eau d'Algérie et de Tunisie. Secrétariat Agricole. Etude Hydrologiques. Série II. Tunis.
- TOUAIBIA B., GOMER D., AIDAOUÏ A., 2000. Estimation de l'index d'érosion de wischmeier dans les micros bassins expérimentaux de l'Oued Mina en Algérie du Nord, 20, pp 478-484.
- TOUAIBIA B., GOMER D., AIDAOUÏ A., ACHITE M., 2001. Quantification et variabilité temporelles de l'écoulement solide en zone semi-aride de l'Algérie du Nord. Hydrol Sci, 46, pp 41-53.
- TOUAIBIA B., BENLAOUKLI ., BOUHENICHE S., 2003. Approche quantitative de l'envasement au droit de 15 barrages en exploitation dans l'Algérie du Nord. Conférence Internationale « Hydrologie des régions méditerranéennes et semi-arides ». Montpellier : IRD, 2003.
- TOUAIBIA B., 2010. Problématique de l'érosion et du transport solide en Algérie septentrionale. Sécheresse vol. 21, n°1, pp 1-6.
- TOUAT.S (1989) : Contrôle de la représentativité de l'échantillon des transports solides en suspension, revue Eaux et Sols de l'Algérie n°2, ANRH, Bir Mourad Rais, Alger, pp 48,54.
- WALLING D.E., QUINE T.A., 1990. Calibration of Cs-137 measurements to provide quantitative erosion rate data. Land Degradation and Rehabilitation, vol. 2, pp 161-175.
- WALLING D.E., QUINE T.A., 1993. Use of Cesium as a tracer of Erosion and Sedimentation: Handbook for the application of the Caesium-137 Technique. Deep of Geography, University of Exeter.
- WISCHMEIR WH., SMITH DD., 1978. Predicting rainfall erosion losses. A guide to soil conservation planning. USDA-ARS, Handbook n°537, 58p.
- ZEGGANE H., 2004. Approche cartographique de l'érosion hydrique a partir des ouvrages hydrauliques existants, cas du Bassin versant de l'Oued Isser (W. Boumerdes). Memoire de magister.
- WILLAMS G.P., 1989. Sediment concentration versus water discharge during single Hydrologic events in rivers. J. Hydrol., 111, pp 437-455.
- WOOD P.A., 1937. Controls of variation in suspended sediment concentration in river Rother, West Sussex, England. Sedimentology 24, pp437-445.