



**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**

**Etude et Quantification de Transport Solide  
et de pollution à Oued Enndja (Bassin Dehamecha)**

Présenté par : Tamrabet Zineb

Soutenue publiquement le 21/06/2014

**Devant le jury composé de :**

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

## Remerciements

*Au nom du dieu le miséricordieux dont nous prions nuits et jour de nous avoir données la volonté de créer cette petite synthèse sur : "Etude et Quantification du transport solide et de la pollution à Oued Enndja Bassin Déhamcha"*

*Au terme de ce travail, qu'il me soit permis de remercier chaleureusement tous ceux qui ont adhéré à réaliser ce présent mémoire.*

*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 toutes ses orientations précieuses qu'il m'a pensé pour l'enrichissement de ce travail.*

*Son assiduité et son suivi permanent m'ont été un apport sans égal. Mes remerciements s'adressent aux membres de jury pour m'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 Oum El Bouaghi,  
Mr S. Hamoudi, professeur à l'université de Chlef,  
Mr D. Botataou, maître de conférences à l'université d'Ouargla pour bien également accepter de juger le contenu de ce travail et participer au jury,*

*J'adresse également mes remerciements vers le personnel de l'ANRH et de l'ABH de Constantine et celui de CRD de Bumerdes.*

*Je tiens ainsi de remercier tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin à élaborer ce travail.*

**Z.T**

## **Dédicace**

**Je tiens à dédier ce modeste travail à :**

**-Ceux qui méritent le plus ma reconnaissance, ma gratitude et mon grand amour, ceux qui m'ont apporté toujours soutien et bonheur dans ma vie : Ma très chère mère et mon père.**

**Mon petit ange : Rayhana.**

**-Mes chers frères : Zohyr, Hossem et Djaber, que dieux vous garde et illumine vos chemins.**

**- Ma chère sœur Leila, son époux Iheb et sa petite chahd que dieux la garde.**

**-Ma chère Foufa sa petite Coucou, et le petit Mouad.**

**-Toute ma belle-famille.**

**-Mes amies : Fadila et Souad**

**-Mes collègues de travail : Nawel, Warda, Amina, Kenza, Asma Abla, et Karima.**

## ملخص

نظرا للصعوبات المتباينة التي تتسبب بها ظاهرة الحمل العالق و خاصة في المناطق الشبه جافة و المعتدلة، فإن تحليل هذه الظاهرة و محاولة تكميمها اصبحت اليوم تكتسي أهمية كبرى. على الرغم من الدراسات العلمية العديدة التي أجريت لمعالجة هذه الصعوبات المطروحة في مختلف ميادين الري (توحد السدود، صعوبة انجاز الدراسات الخاصة بالمنشات... )، إلا إن هذه الظاهرة لا تزال غامضة و غير مفهومة نظرا لتعدد و تعقيد العوامل المحددة لها و المرتبطة بها، إضافة إلى نقص المعطيات الخاصة بها و طابعها العشوائي.

إن الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو تحسين فهم هذه الظاهرة في منطقة دراستنا "واد النجا- حوض الدحامشة- و هذا بالبحث عن نماذج رياضية تسمح بتقدير كمية الحمل العالق و مصدرها و ذلك بالأخذ بعين الاعتبار مختلف السلالم الزمنية.

إن نتائج دراسة الحمل العالق على مستوى المحطة الهيدروميترية و التي اعتمدت على النماذج الرياضية التي تربط التدفق بتركيز المواد الصلبة و ذلك لمختلف السلالم الزمنية قد أظهرت بشكل جلي الدور الرئيسي للأحداث الهيدرولوجية "الزخات" -التدفق القصوي في تشكيل كميات كبرى من الرواسب.

### **الكلمات المفتاحية:**

النقل، الحمل العالق، التركيز، التدفق، تدفقات متساوية، تلوث، توحد.

## **Résumé**

Vu les sérieux problèmes causées par le phénomène du transport solide en suspension surtout en zones semi-arides et dans les régions à climats tempérées, son analyse et sa quantification ont devenu aujourd'hui d'un grand intérêt. Malgré les nombreuses recherches scientifiques réalisées à fin de résoudre les difficultés posées par ce dernier aux divers domaines d'hydrauliques (envasement des retenus et des barrages, difficulté d'études de réalisation des ouvrages hydrauliques ...), ce processus reste encore mal connu et mal quantifié en raison de la diversité et complexité de ses facteurs déterminant, son caractère aléatoire ainsi du manque de données.

Notre étude se compose de deux parties : la première concerne l'étude du transport solide en suspension à l'endroit de "Oued Enndja –sous bassin Déhamcha-", et la deuxième "Pollution du cour d'eau" qui est une partie complémentaire de al première consiste à une analyse des eaux d'oued afin de prendre une idée générale sur la nature des polluants transporté par ce dernier.

L'objectif principal de cette présente étude est l'amélioration de la compréhension de ce phénomène dans notre zone d'étude, et cela par la recherche des modèles mathématiques permettant la prévision de la quantification des sédiments en suspension et de leurs sources en tenant compte des différentes échelles temporelles.

Les résultats d'étude du transport solide en suspension au niveau de la station hydrométrique " Tassadane" basés sur les modèles régressifs reliant les débits liquides- débits solides pour les différentes échelles temporelles ont montrés le rôle primordial des événements extrêmes –donc du débit max- dans la contribution aux grands apports solides.

### **Mots clés :**

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

## **Abstract**

According to the serious problems caused by the phenomenon of suspended sediments specially in half arid zones and areas with thim climate, it's analysis and quantification had became of great interest in nowadays. Despite the numerous scientific researches that had been done in this subject in order to resolve the difficulties faced by this phenomenon in deferent hydraulics domains (alluvium of barriers and dams, realization studies .....), this process still badly known and badly quantified because of the complexity and diversity of its determinant factors, its random manner as well as lack of data.

Our study consists of two parts: the first one concern the sediment discharge in "Oued Enndja-sub-basin Déhamcha", the second one: "pollution in Oued Enndja" is a complete part of the first and it consists on many analysis of the "Oued" water in order to take a view of decheas carried by this one.

The principal object of this study is to improve the comprehension of the phenomenon on our area of study and this by appling mathematic models that serve the prevision of quantification of suspended sediments and their resources by taking in account of deferent gradual scales.

The study results of sediments discharge in the gauging station of «Taasadane" based on regressif models relating liquid flows-sediment discharge in deferent gradual scales had showed the great importance of hydrological event "flood"- peak flow- in making huge quantities of sediments.

### **Key words:**

Transport, suspended sediments, concentration, discharge, hysteresis loop, pollution, alluvium, gradual scales.

# SOMMAIRE

## CHAPITRE I

Introduction générale.....	1
I-Erosion et transport solide .....	2
I.1 Erosion des bassins versants .....	2
I.1.1 Généralités.....	2
I.1.2- Les principaux agents de l'érosion hydrique : .....	2
I.1.2.1 -Intensité et agressivité des précipitations : .....	2
I.1.2.2 – Le ruissellement .....	3
I.1.2.3- Etat hydrique initial : .....	4
I.1.3 Formes de manifestation de l'érosion hydrique .....	5
I.1.3.1 Erosion en nappe .....	5
I.1.3.2 Erosion linéaire .....	5
I.1.4 Quantification de l'érosion :.....	6
I.1.4.1 Formule du Wischmeier (1959) .....	6
I.1.4.2 Mesure de l'érosion (F. Fournier).....	6
I.1.4.2.1 La mesure de l'effet du splash .....	7
I.1.4.2.2 La mesure directe de l'ablation subie par les sols.....	7
I.1.4.2.3 La mesure des transports solides .....	8
I.1.5 Les conséquences de l'érosion.....	8
I.2 Transport solide.....	8
I.2.1 Nature des phénomènes.....	8
I.2.2 Rappel bibliographique des travaux sur le transport solide en Algérie.....	10
I.2.3 Formules de transport solide, études empiriques .....	12
I.2.3.1 Hypothèse de Bagnold .....	12
I.2.3.2 Quelques formules de transport solide .....	12
I.2.4 La mesure des transports solides.....	14
I.2.4.1 Approches méthodologiques pour la quantification du transport des sédiments .....	14
I.2.4.2 Le transport solide en suspension.....	14
I.2.4.2.1 Effectués en suspension par les cours d'eau .....	15
I.2.4.2.2 Principes des méthodes de mesure .....	15
I.2.4.2.3 Appareillage utilisé pour la mesure : .....	15
I.2.4.3 les transports solides charriés sur le fond du lit des cours d'eau .....	16
I.2.4.3.1 Description du phénomène.....	17

I.2.4.3.2 Approches méthodologiques pour la quantification du transport des sédiments .....	17
I.2.5 Les méthodes modernes de mesure du charriage .....	18
I.2.5.1 La méthode des peintures et résines .....	19
I.2.5.2 La méthode des traceurs luminescents .....	19
I.2.5.3 La méthode des traceurs radioactifs .....	19
Conclusion.....	22

## **CHAPITRE II**

Introduction .....	23
II.1 Situation géographique .....	24
II.2 Morphologie de la zone d'étude .....	24
II.2.1 Structure géologique de la zone d'étude .....	24
II.2.1.1 Le piémont Sud-tellien.....	25
II.2.1.2 Les massifs telliens du nord.....	26
II.2.3 Caractéristiques morpho métriques générales de la zone d'étude .....	26
II.2.3.1 Superficie, altitude et forme des unités hydrologiques .....	27
II.3 Le réseau hydrographique :.....	29
II.3.1 Le tracé d'ensemble et les modalités de drainage.....	31
II.3.1.1 Représentation .....	31
II.3.1.2 Types et densités de drainage .....	32
II.3.1.3 Profils en long.....	32
II.3.2 Lithologie et capacités de rétention souterraine de la zone d'étude .....	33
II.3.2.1 La répartition des zones de perméabilité dans les trois sous- bassins.....	33
II.4 Les principales formations lithologiques et leurs capacités aquifères .....	34
II.4.1 Les formations à forte capacité de rétention souterraine .....	36
II.4.1.1 Les réservoirs calcaires .....	36
II.4.1.2 Les formations à faibles capacité de rétention souterraine .....	36
II.4.1.2 .1 Les formations à dominance argileuse ou marneuse .....	36
II.4.1.2 .2 Les formations quaternaires .....	37
II-5 Les facteurs climatiques et leur variabilité .....	37
II.5.1 Les précipitations et leur variabilité.....	38
II.5.1.1 Critique et homogénéisation des données pluviométriques .....	38
II.5.1.2 L'état du réseau pluviométrique .....	39
II.6 Le couvert végétal et sa discontinuité spatiale dans la zone d'étude .....	39
II.6.1 Types de végétation et leur répartition géographique .....	40
II.6.1.1 Classification des types de végétation .....	40

II.6.2 Approche numérique.....	41
II.6.3 Approche cartographique.....	41
II.6.3.1 Faible extension de la couverture forestière .....	41
II.6.3.2 Dominance de la couverture végétale" saisonnière" .....	42
II.6.3.3 Influence de la discontinuité du couvert végétal sur les débits liquides et solides.....	42/43
Conclusion.....	44

### CHAPITRE III

Introduction .....	45
III.1 Variations spatio-temporelles des précipitations annuelles.....	46
III.1.1 Interprétation des caractéristiques statistiques.....	48
III.1.2 Analyses en composantes principales (ACP) .....	48
III.1.2.1 Analyse des résultats de l'ACP : .....	49
III.1.3 Ajustement du vecteur C1 à une loi de probabilité: .....	52
III.1.4 Ajustement des précipitations annuelles à une loi de probabilité :.....	54
III.2 Précipitations mensuelles .....	58
III.2.1 Analyse du régime pluviométrique mensuelle par ACP : .....	58
III.2.2 Ajustement des précipitations mensuelles à une loi de probabilité .....	59
III.2.3 Interprétation des résultats d'ACP mensuel : .....	61
III.2.4 Ajustement de vecteur C1 à une loi de probabilité :.....	61
III.3 Variation saisonnière des précipitations :.....	65
III.4 Ajustement des précipitations maximales journalières à une loi de probabilité.....	66
III.5 Courbes Intensité-Durée-Fréquence :.....	69
Conclusion.....	69
<b>Conclusion.....</b>	<b>71</b>

### CHAPITRE IV

Introduction .....	72
IV.1 Influences des paramètres .....	73
IV.1.1 Influence des paramètres sur le débit moyen (Qmoy).....	75
IV.1.2 Influence des paramètres Débit max (Qmax).....	76
IV.1.3 Intereprétation .....	80
IV.2 Le bilan hydrologique et le déficit annuel de l'écoulement .....	82
IV.3 Variation Précipitations- Ecoulement .....	83
IV.4 Les débits extrêmes .....	84
IV.4.1 Etudes des crues .....	85
IV.4.2 Genèses, Gravité et fréquence des crues. Leur rapport avec la turbidité.....	86

IV.4.3 La genèse de crues et leur extension dans le temps et l'espace.....	86
IV.4.3.1 Les crues de la saison froide.....	86
IV.4.3.2 Les crues de la saison chaude.....	89
IV.5 Analyse fréquentielle des crues maximales annuelles.....	91
IV.5.1 Saison froide.....	93
IV.5.2 Saison chaude.....	94
IV.6 La puissance des crues et leur durée de récurrence.....	95
IV.6.1 Puissance des crues .....	95
IV.6.2 Le rapport débit de pointe / Débit moyen maximal journalier .....	98
IV.7 Détermination du volume des crues .....	98
Conclusion.....	99

## CHAPITRE V

Introduction .....	100
V.1 Collecte des données .....	101
V.2 Dépouillement de données.....	101
V.2.1 Données de débits instantanés .....	101
V.2.2 Données de débits moyens journaliers .....	101
V.3 Analyse des crues .....	102
V.4 Présentation et mise en forme.....	105
V.4.1 Classification des données.....	105
V.5 Répartition des Débits liquides-Débits solides .....	106
V.5.1 Répartition de la totalité des données .....	106
V.5.2 Répartition mensuelle .....	107
V.5.3 Répartition annuelle.....	109
V.5.4 Répartition saisonnière .....	110
V.5.5 Répartition des données pour les saisons humide et sèche .....	111
V.6 Répartition Débit liquide-Concentration .....	111
V.6.1 Répartition mensuelle .....	111
V.6.2 Répartition mensuelle .....	112
V.6.3 Répartition annuelle.....	114
V.6.4 Répartition saisonnière .....	115
V.6.5 Répartition des données pour les saisons humide et sèche .....	115
Conclusion.....	117

## CHAPITRE VI

Généralités.....	118
------------------	-----

VI.1 Méthodes de régression linéaire .....	119
VI.1.1 Avantage d'un modèle .....	119
VI.1.2 Méthode de moindres carrés.....	119
VI.1.3 Coefficient de corrélation.....	119
VI.1.4 Modèle linéaire « type de droite ».....	120
VI.1.5 Modèle Logarithmique .....	120
VI.1.6 Modèle Exponentiel .....	120
VI.1.7 Modèle puissance .....	120
VI.1.8 Modèle polynomiale.....	121
VI.2 Traitement des données .....	121
VI.2.1 Recherche des relations .....	121
VI.3 Evaluation des apports annuels .....	122
VI.4 Calcul des débits et quantification.....	122
VI.4.1 Calcul du débit solide .....	122
VI.4.2 Quantification du transport solide en suspension :.....	124
VI.4.2.1 Quantification des apports solide : .....	126
VI.5 Variation des apports solides-apports liquides.....	133
VI.6 Calcul du transport solide par charriage.....	133
VI.7 L'érosion spécifique.....	134
VI.7.1 Calcul du taux d'érosion spécifique .....	134
VI.7.2 Estimation du taux d'érosion spécifique par différentes méthodes.....	135
VI.7.2.1 Méthode de Tixeront .....	135
VI.8 Discussion des résultats.....	136
VI.8.1 Résultats du transport solide en suspension .....	136
VI.8.2 2 Erosion spécifique-Crués .....	137
VI.9 Influences des paramètres hydro-climatologiques sur l'érosion .....	138
VI.9.1 Recherche de relation entre l'érosion spécifique et le coefficient d'écoulement	138
VI.9.2 Influence du débit maximum sur l'érosion.....	142
VI.9.3 Relation entre la dégradation spécifique et lame d'eau ruisselée.....	143
VI.9.4 Variation du taux d'érosion et de la pluie annuelle.....	144
Conclusion.....	147

## **CHAPITRE VII**

Introduction .....	148
VII.1 Données .....	149
VII.2 Identification des classes de relation C-Q.....	150
VII.3 Caractérisation des boucles d'hystérésis.....	157

VII.4 Interprétation.....	157
VII.5 Variabilité de la concentration des sédiments en suspension.....	159
VII.6 Analyse de l'hystérésis .....	160
VII.6.1 Classe I.....	160
VII.6.2 Classe II .....	161
VII.6.3 Classe III et Classe IV.....	162
VII.7 Sources de l'hystérésis.....	162
Conclusion.....	163

## **PARTIE II                      CHAPITRE I**

Introduction .....	164
I-1-Définition de la pollution.....	165
I-2 Les principales pressions que les rivières subissent : .....	165
I-2-1 Les pressions domestiques .....	165
I-2-2 La pression industrielle.....	165
I-3 Les signes caractéristiques de la pollution.....	165
I -3.1 Les Signes Caractéristiques physiques de la pollution .....	165
I-3.2 Les signes caractéristiques chimiques de la pollution .....	165
I-3.3 Les signes caractéristiques biologiques de la pollution .....	165
I-4 Pollution localisée et pollution diffuse .....	166
I-5 Classification des polluants .....	166
I.5.1 Matière organique ou minérale .....	166
I-5-2 Matière soluble ou insoluble.....	167
I-5-3 Matières toxiques ou non.....	168
I-5-4 Matière inerte ou vivante.....	168
I-5-5 La température.....	168
I-6 Principaux sources de pollution.....	168
I.6.1 Les pesticides .....	168
I.6.2 Le transport des polluants par érosion hydrique .....	169
I.6 .3 Les matières organiques :.....	169
I.6.4 Le phosphore.....	169
I.6.5 Les nitrates .....	170
I.6.6 L'azote .....	170
I.6.7 Les compléments alimentaires et les antibiotiques .....	171
I.6.8 L'industrie.....	171
I.6.9 La médecine .....	172

I.6.10 D'autres polluants à prendre en compte .....	172
I-7 Paramètres mesurés pour caractériser une eau.....	172
I-7.1 Les matières en suspension (MES).....	172
I-7.2. Les matières volatiles en suspension (MVES).....	173
I-7.3. La « Demande Chimique en Oxygène » ou DCO.....	173
I-7.4. La Demande Biologique en Oxygène ou DBO.....	173
I-7.5. Le carbone organique total COT.....	173
I-7.6. Les matières toxiques.....	173
I-7.7. La pollution azotée.....	174
I-7.8. La pollution phosphorée .....	174
I-7.9. Conductivité.....	174
II-7.10. Germes pathogènes.....	174
I-7.11. Les autres caractéristiques (pH, température, couleur... ).....	174
I-8 Quel impact.....	174
I-8.1 L'eutrophisation .....	175
I.8.2 Sur le milieu naturel .....	176
I.8.3 Sur l'économie .....	176
I.8.4 Sur la santé.....	177
Conclusion.....	178

## **CHAPITRE II**

Introduction .....	179
II.1 Prélèvement d'un échantillon d'eau .....	179
II.2 L'analyse qualitative.....	180
II.3 L'analyse quantitative.....	180
II.4 Les paramètres physico-chimiques.....	181
II.4.1 Mesure de PH.....	181
II.4.2 Détermination de la durée totale .....	181
II.4.3 Détermination de la conductivité électrique .....	182
II.4.4 Dosage des matières en suspension (MES) par centrifugation.....	182
II.4.5 Détermination de l'alcalinité totale et composite (TAC) et (TA).....	183
II.4.6 Détermination de la turbidité .....	184
II.4.7 Dosage des chlorures .....	184
II.4.8 Dosage des sulfates.....	185
II.4.9 Dosage d'ammonium (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) .....	186
II.4.10 Dosage des phosphates PO <sub>4</sub> .....	187
II.4.11 Dosage des Nitrates .....	187

II.4.12 Mesure d'oxygène dissous.....	187
II.4.13 Mesure de la DBO et la DCO .....	188
II.5. L'analyse granulométrique .....	188

### **CHAPITRE III**

Introduction .....	189
III.1 Analyses en composantes principales (ACP) des paramètres de pollution .....	189
III.1.1 Analyse des résultats de l'ACP .....	189
III-2 Résultats de la régression multiple.....	214
III-2-1 Régression linéaire.....	214
III-2-2 Régression non linéaire.....	221
III-3 Paramètres indicateurs de pollution .....	231
III.4 Résultats organoleptiques et physico-chimiques des eaux de l'oued étudié .....	237
III.5 Relation entre les paramètres de pollution .....	237
III.6 Paramètres indicateurs de pollution Stations Comparatives : Menia, Béni Haroun....	239

## Liste des Tableaux

N°	Titre	Page
<b>PARTIE I : TRANSPORT SOLIDE</b>		
<b>II.1</b>	Caractéristiques mopho-métriques des trois sous-bassins.	29
<b>II.2</b>	densités de drainage.	32
<b>II.3</b>	Zones lithologiques et zones de perméabilité	34
<b>II.4</b>	Répartition en % des types d'occupation du sol.	41
<b>III.1</b>	Tableau (III.1) : Code des stations représentatives. (A.N.R.H de Constantine)	46
<b>III.2</b>	Précipitations annuelles (mm) aux différentes stations pluviométriques.	47
<b>III.3</b>	Moyenne, Ecart type des variables initiales	49
<b>III.4</b>	Matrice des coefficients de corrélation entre les variables.	49
<b>III.5</b>	Valeurs propres, Variances expliquées et Variances cumulées.	50
<b>III.6</b>	Pourcentage d'inertie.	50
<b>III.7</b>	projection des variables actives.	50
<b>III.8</b>	Projection des observations.	51
<b>III.9</b>	Ajustement à la loi normale du vecteur régional ( $C_1$ ).	52
<b>III.10</b>	précipitations annuelles et leurs fréquences expérimentales -Koudiat100208-	54
<b>III.11</b>	Equations d'ajustement des précipitations annuelles à la loi log normale des différentes stations	55
<b>III.12</b>	Précipitations annuelles (mm) pour différentes périodes de retour.	55
<b>III.13</b>	Précipitations moyennes mensuelles des stations.	58
<b>III.14</b>	Equation d'ajustement des précipitations mensuelles à la loi log normale.	59
<b>III.15</b>	Précipitations mensuelles pour différentes périodes de retour.	59
<b>III.16</b>	Moyenne, Ecart Type des variables initiales.	60
<b>III.17</b>	Matrice des coefficients de corrélation entre variables.	60
<b>III.18</b>	Valeurs propres, Variances expliqués et Variances cumulées.	60
<b>III.19</b>	Projection des variables actives	60
<b>III.20</b>	Projection des observations actives.	60
<b>III.21</b>	Ajustement à la loi normale du vecteur $C_1$	61
<b>III.22</b>	Précipitations maximales journalières en mm aux stations représentatives	66
<b>III.23</b>	Précipitations maximales journalières et leurs fréquences expérimentales.	67
<b>III.24</b>	Equations de la droite de Galton : Précipitations maximales journalières.	67
<b>III.25</b>	Précipitations maximales pour différentes périodes de retour.	68
<b>III.26</b>	Pluies courtes 24 h pour –station Koudiat-.	69
<b>III.27</b>	Intensité-Durée-Fréquence pour la station d'el Koudiat.	69
<b>IV.1</b>	Caractéristiques de l'écoulement à la station de Tassadane 100109	73
<b>IV.2</b>	Variation interannuelle de l'écoulement de la station Tassadane ( $Q_{max}$ )	79
<b>IV.3</b>	Variation interannuelle de l'écoulement de la station Tassadane ( $Q_{min}$ )	79
<b>IV.4</b>	Variation interannuelle de l'écoulement de la station Tassadane ( $Q_{mens}$ )	79
<b>IV.5</b>	Variation interannuelle de l'écoulement de la station Tassadane (Apport)	79
<b>IV.6</b>	Ajustement du débit annuel à la loi log normale (station Tassdane)	81
<b>IV.7</b>	Equation d'ajustement du débit moyen annuel à la loi log normale.	81
<b>IV.8</b>	Débit maximaux pour différentes périodes de retour	82
<b>IV.9</b>	Caractéristiques de la cour d'eau (Endja).	83
<b>IV.10</b>	Ajustement des débits maximaux de la station Tassadane.	84

<b>IV.11</b>	Equation d'ajustement du débit maximal à la loi log normale.	85
<b>IV.12</b>	Débit maximaux pour différentes périodes de retour.	85
<b>IV.13</b>	Crues de Saison Froide (Novembre-Avril) Débits journaliers et Instantanés Maximaux observés.	87
<b>IV.14</b>	Crues de Saison Chaude (Novembre-Avril) Débits journaliers et Instantanés Maximaux observés.	90
<b>IV.15</b>	Ajustement du débit maximal annuel à la loi log normale-saison froide- (station Tassdane)	93
<b>IV.16</b>	Equation d'ajustement du débit moyen annuel à la loi log normale.	93
<b>IV.17</b>	Ajustement du débit maximal annuel à la loi log normale-saison chaude- (station Tassdane)	94
<b>IV.18</b>	Equation d'ajustement du débit moyen annuel à la loi log normale.	95
<b>IV.19</b>	Caractéristiques des crues saison froide-saison chaude.	96
<b>IV.20</b>	Puissance des crues pour la saison froide	96
<b>IV.21</b>	Puissance des crues pour la saison chaude.	97
<b>IV.22</b>	volume des crues.	98
<b>V.1</b>	Inventaire de fichiers de données.	101
<b>V.2</b>	moyennes mensuelle et annuelle des concentrations des sédiments en suspension.	106
<b>V.3</b>	Modèles retenues et leur coefficient de corrélation calculés à l'échelle mensuelle –Tassadane-	108
<b>V.4</b>	Modèles retenus et leur coefficient de corrélation calculés à l'échelle annuelle –Tassadane.	109
<b>V.5</b>	Modèles retenues et leur coefficient de corrélation calculés à l'échelle saisonnière –Tassadane-.	111
<b>V.6</b>	Modèles retenues et leur coefficient de corrélation calculés pour la saison humide-saison sèche – Tassadane-.	111
<b>V.7</b>	Modèles retenues et leur coefficient de corrélation calculés à l'échelle mensuelle –Tassadane-.	113
<b>V.8</b>	Modèles retenues et leur coefficient de corrélation calculés à l'échelle annuelle –Tassadane-.	114
<b>V.9</b>	Modèles retenues et leur coefficient de corrélation calculés à l'échelle saisonnière -Tassadane.	115
<b>V.10</b>	Modèles retenues et leur coefficient de corrélation calculés pour la saison humide-saison sèche – Tassadane-.	116
<b>VI.1</b>	Variation mensuelle du débit liquide (m <sup>3</sup> /s).	125
<b>VI.2</b>	Variation mensuelle des débits solides (kg/s)	126/127
<b>VI.3</b>	Variation mensuelle des apports solides (kg).	128/129
<b>VI.4</b>	Variation mensuelle des débits solides (kg/s).	130
<b>VI.5</b>	Variation moyennes mensuelle des apports solides (kg)	131/132
<b>VI.6</b>	Résultats de l'érosion spécifique.	134/135
<b>VI.7</b>	Taux d'érosion extrêmes.	138
<b>VI.8</b>	fluctuations interannuelles des paramètres Es-Ce-Qmoy-Lr-P.	139
<b>VI.9</b>	Résultats d'analyse graphique de la variation du taux d'érosion et de la pluie annuelle.	144
<b>VII.1</b>	Chronologie des crues sélectionnées.	149
<b>VII.2</b>	paramètres statistiques des crues sélectionnées.	156
<b>VII.3</b>	Classement et caractéristiques des crues.	158
<b>VII.4</b>	Rapport de variation de la concentration	159

## PARTIE II : POLLUTION DU COUR D'EAU

<b>I.1</b>	Effets environnementaux et sanitaires des polluants.	175
<b>II.1</b>	Conservation des prélèvements	179
<b>II.2</b>	Facteurs de conversion de l'alcalinité exprimé en milli mol/l ou en milli équivalent /l ou en d'autres unités d'alcalinité.	184
<b>II.3</b>	jaugeage successif d'une série de fiole.	187
<b>II.4</b>	Echelle granulométrique de Wentworth	188
<b>III.1</b>	Paramètres de pollution –Oued Endja-	190
<b>III.2</b>	Moyenne, Ecart type des variables initiales.	190
<b>III.3</b>	Matrice des coefficients de corrélation entre les variables.	191
<b>III.4</b>	Valeurs propres, Variances expliquées et Variances cumulées.	192
<b>III.5</b>	Pourcentage d'inertie.	192
<b>III.6</b>	Projection des variables actives	192
<b>III.7</b>	Projection des observations.	193
<b>III.8</b>	Ajustement à la loi normale du vecteur régional ( $C_1$ ).	193
<b>III.9</b>	Paramètres de pollution –station Béni Haroun-	196/197
<b>III.10</b>	Moyenne, Ecart type des variables initiales.	197
<b>III.11</b>	Matrice des coefficients de corrélation entre les variables.	198
<b>III.12</b>	Valeurs propres, Variances expliquées et Variances cumulées.	198
<b>III.13</b>	Pourcentage d'inertie	199
<b>III.14</b>	projection des variables actives.	109
<b>III.15</b>	Projection des observations.	200
<b>III.16</b>	Ajustement à la loi normale du vecteur régional ( $C_1$ ).	201
<b>III.17</b>	Paramètres de pollution –Menia-	205/206
<b>III.18</b>	Moyenne, Ecart type des variables initiales.	207
<b>III.19</b>	Matrice des coefficients de corrélation entre les variables.	207
<b>III.20</b>	Valeurs propres, Variances expliquées et Variances cumulées	208
<b>III.21</b>	Pourcentage d'inertie	208
<b>III.22</b>	Projection des variables actives.	208
<b>III.23</b>	Projection des observations.	209
<b>III.24</b>	Ajustement à la loi normale du vecteur régional ( $C_1$ ).	210
<b>III.25</b>	Moyennes et écarts-Types des paramètres de pollution-Oued Endja-.	214
<b>III.26</b>	Matrice des coefficients de corrélation-Oued Endja-.	214
<b>III.27</b>	Résultat de la régression-Oued Endja-.	214
<b>III.28</b>	Moyennes et écarts-Types des paramètres de pollution-Oued Endja-.	214
<b>III.29</b>	Matrice des coefficeint de corrélation-Oued Endja-.	214
<b>III.30</b>	Résultat de la régression-Oued Endja-.	215
<b>III.31</b>	Moyennes et écarts-Types des paramètres de pollution-Oued Endja-.	215
<b>III.32</b>	Matrice des coefficeint de corrélation-Oued Endja-.	215
<b>III.33</b>	Résultat de la régression-Oued Endja-.	215
<b>III.34</b>	moyennes et écarts-Types des paramètres de pollution-Oued Endja-.	215
<b>III.35</b>	Matrice des coefficeint de corrélation-Oued Endja-.	215
<b>III.36</b>	Résultat de la régression-Oued Endja-.	216
<b>III.37</b>	moyennes et écarts-Types des paramètres de pollution-Béni Haroun-.	216
<b>III.38</b>	Matrice des coefficeint de corrélation-Béni Haroun-.	216
<b>III.39</b>	Résultat de la régression-Béni Haroun-.	216
<b>III.40</b>	moyennes et écarts-Types des paramètres de pollution-Béni Haroun-.	216

<b>III.41</b>	Matrice des coefficients de corrélation-Béni Haroun-.	216
<b>III.42</b>	Résultat de la régression-Béni Haroun-.	217
<b>III.43</b>	moyennes et écarts-Types des paramètres de pollution-Béni Haroun-.	217
<b>III.44</b>	Matrice des coefficients de corrélation-Béni Haroun-.	217
<b>III.45</b>	Résultat de la régression-Béni Haroun-.	217
<b>III.46</b>	moyennes et écarts-Types des paramètres de pollution-Béni Haroun-.	217
<b>III.47</b>	Matrice des coefficients de corrélation-Béni Haroun-.	217
<b>III.48</b>	Résultat de la régression-Béni Haroun-.	218
<b>III.49</b>	moyennes et écarts-Types des paramètres de pollution-Béni Haroun-.	218
<b>III.50</b>	Matrice des coefficients de corrélation-Béni Haroun-.	218
<b>III.51</b>	Résultat de la régression-Béni Haroun-.	218
<b>III.52</b>	moyennes et écarts-Types des paramètres de pollution-Béni Haroun-.	218
<b>III.53</b>	Matrice des coefficients de corrélation-Béni Haroun-.	218
<b>III.54</b>	Résultat de la régression-Béni Haroun-.	218
<b>III.55</b>	Moyennes et écarts-Types des paramètres de pollution-Béni Haroun-.	219
<b>III.56</b>	Matrice des coefficients de corrélation-Béni Haroun-.	219
<b>III.57</b>	Résultat de la régression-Béni Haroun	219
<b>III.58</b>	moyennes et écarts-Types des paramètres de pollution-Béni Haroun-	219
<b>III.59</b>	Matrice des coefficients de corrélation-Béni Haroun-.	219
<b>III.60</b>	Résultat de la régression-Béni Haroun-.	219

## Liste des figures

N°	Titre	Page
<b>PARTIE I : TRANSPORT SOLIDE</b>		
II.1	Différents types de transport solide en rivière (Remini, Boualem, 2005).	10
II.2	Pièges à sédiment.	14
II.1	Découpage administratif de la zone d'étude (les 03 sous-bassins) (ABH.Constantine).	24
II.2	Structure géologique du bassin versant Kébir-Rhumel.	25
II.3	Carte des altitudes moyennes de la zone d'étude. (livre : Ressources en eau et aménagement en Algérie)	28
II.4	Réseau hydrographique + stations pluviométrique et hydrométriques situées dans la zone d'étude. (ABH de Constantine).	30
II.5	Situation des forages dans la zone d'étude. (ABH de Constantine).	31
II.6	Les principales formations lithologiques –Bassin Kébir Rhumel- (livre : Ressources en eau et aménagement en Algérie)	34
II.7	Courbes isohyètes bassin versant Kébir Rhumel –ANRH- Constantine.	37
II.8	Couverture végétale –Bassin versant Kébir Rhumel. ( <b>Livre : Ressources en eau et aménagement en Algérie</b> ).	39
III.1	Ajustement du vecteur régional C1 à l'échelle annuelle.	52
III.2	Ajustement des précipitations annuelles à la loi log normale (Koudiat).	54
III.3	Projection des variables sur le plan (ACP annuel) C <sub>1</sub> C <sub>2</sub> .	55
III.4	Projection des variables sur le plan (ACP annuel) C <sub>2</sub> C <sub>3</sub>	55
III.5	Projection des variables sur le plan (ACP annuel) C <sub>1</sub> C <sub>3</sub> .	55
III.6	Projection des observations sur la première composante C <sub>1</sub>	56
III.7	Ajustement du vecteur régional C <sub>1</sub> à une loi normale.	61
III.8	Projection des variables sur le plan C <sub>1</sub> , C <sub>2</sub> (ACP mensuel).	61
III.9	Projection des variables sur le plan C <sub>2</sub> , C <sub>3</sub> (ACP mensuel).	62
III.10	Projection des variables sur le plan C <sub>1</sub> , C <sub>3</sub> (ACP mensuel).	62
III.11	Variation mensuelles des précipitations au niveau des postes pluviométriques	63
III.12	Projection des variables sur la première composante C <sub>1</sub> .	63
III.13	Projection des observations sur la première composante C <sub>1</sub> .	63
III.14	Variation saisonnière des précipitations.	64
III.15	Ajustement des précipitations maximales journalières à la loi log normale (Koudiat).	67
III.16	Courbes intensité-Durée-Fréquence pour la station el Koudiat.	69
IV.1	Variation annuelle du Débit moyen et d'apport liquide.	74
IV.2	Variation annuelle du Débit moyen et de M <sub>0</sub> .	74
IV.3	Relation Débit moyen-M <sub>0</sub> .	74
IV.4	Variation annuelle du Débit moyen et de la lame écoulée.	75
IV.5	Relation Débit moyen-Lame écoulée.	75
IV.6	Variation annuelle du Débit moyen et du coefficient d'écoulement.	75
IV.7	Relation Débit moyen-Lame écoulée.	76
IV.8	Variation annuelle du Débit max et de l'apport liquide.	76
IV.9	Relation : Débit max-apport liquide.	76
IV.10	Variation annuelle du Débit max et de M <sub>0</sub> .	77
IV.11	Relation : Débit max-M <sub>0</sub> .	77

<b>IV.12</b>	Variation annuelle du Débit max et de la lame écoulée.	77
<b>IV.13</b>	Relation : Débit max-Lame écoulée.	78
<b>IV.14</b>	Variation annuelle du Débit max et du coefficient d'écoulement.	78
<b>IV.15</b>	Relation : Débit max-Coefficient d'écoulement.	78
<b>IV.16</b>	Variation interannuelle de l'écoulement (débit max).	79
<b>IV.17</b>	Variation interannuelle de l'écart-type.	80
<b>IV.18</b>	Variation interannuelle du coef de variation	80
<b>IV.19</b>	Ajustement des débits moyen à la loi log normale : Station Tassadane.	82
<b>IV.20</b>	Histogramme précipitations (ST : Belaa) et des écoulements (ST : Tassadane).	83
<b>IV.21</b>	Histogramme précipitations (ST : Koudiat) et des écoulements (ST : Tassadane).	83
<b>IV.22</b>	Histogramme précipitations (ST : koudiat) et des écoulements (ST : Tassadane).	84
<b>IV.23</b>	Ajustement des débits maximaux de la station de Tassadane.	86
<b>IV.24</b>	l'ensemble des crues de la station de Tassadane.	86
		87
<b>IV.25</b>	Crue du 3-4 Février 1984.	89
<b>IV .26</b>	Crue du 24-27 Janvier 2003.	90
<b>IV .27</b>	Crue du 20 Décembre1980.	90
<b>IV.28</b>	Crue du 25 Septembre 1973.	92
<b>IV.29</b>	Principales étapes de l'analyse fréquentielle (P. Meylan et A. Musy, EPFL, 1999).	93
<b>IV.30</b>	Ajustement des débits maximal annuel-saison froide- à la loi log normale : Station Tassadane.	95
<b>IV.31</b>	Ajustement des débits maximal annuel-saison Chaude- à la loi log normale : Station Tassadane.	96
<b>V.1</b>	Relation entre la concentration des sédiments et le débit d'écoulement.	103/104/105
<b>V.2</b>	Représentation graphique des débits solides et des débits liquides pour 23 crues durant la période de1987-1997 (a- la montée de l'hydrogramme).	106
<b>V.3</b>	Représentation graphique des débits solides et des débits liquides pour 23 crues durant la période de1987-1997 (b- la décrue de l'hydrogramme).	106
<b>V.4</b>	Répartition débit solide-débit liquide : totalité des données de1987-1997 à la station de Tassadane (690 couples).	107
<b>V.5</b>	Répartition mensuelle des débits solides-débits liquides.	108/109
<b>V.6</b>	Répartition annuelle des débits solides-débits liquides	110
<b>V.7</b>	Répartition annuelle des débits solides-débits liquides.	111
<b>V.8</b>	Répartition saison humide-saison sèche des débits solides-débits liquides	112
<b>V.9</b>	Répartition de la totalité des données débits liquide-Concentration.	112
<b>V.10</b>	Répartition mensuelle des débits liquides-Concentrations	113/114
<b>V.11</b>	Répartition annuelle des débits liquides-Concentrations.	115
<b>V.12</b>	Répartition saisonnière des débits liquides-Concentrations	116
<b>V.13</b>	Répartition saison humide-saison sèche des débits liquides-Concentrations.	116
<b>VI.1</b>	Variation des apports annuels liquides.-Koudiat-	123
<b>VI.2</b>	Calcul du transport solide total.	125
<b>VI.3</b>	Evolution des apports solides et des apports liquides.-Koudiat-	134
<b>VI.4</b>	Variation des apports solides en fonction du temps.-Koudiat-	138
<b>VI.5</b>	Influence des crues sur le taux annuel des apports solides.-Koudiat-	138
<b>VI.6</b>	Evolution temporelle de l'érosion spécifique.-Koudiat-	139
<b>VI.7</b>	Variation annuelle de l'érosion spécifique et du coefficient d'écoulement.-Koudiat	141
<b>VI.8</b>	Relation : Erosion spécifique-Coefficient d'écoulement-Koudiat-.	142

<b>VI.9</b>	Variation annuelle de l'érosion spécifique et du Débit moyen.-Koudiat-	142
<b>VI.10</b>	Variation annuelle de l'érosion spécifique et du Débit moyen.-Chelgoum-	142
<b>VI.11</b>	Variation annuelle de l'érosion spécifique et du Débit moyen.-Chelgoum-	143
<b>VI.12</b>	Variation annuelle de l'érosion spécifique et du Débit moyen.-Belaa-	143
<b>VI.13</b>	Relation : Erosion spécifique-Débit moy annuel.-Chelgoum-	144
<b>VI.14</b>	Relation : Erosion spécifique-Débit moy annuel.-Ain el Kebch	144
<b>VI.15</b>	Relation : Erosion spécifique-Débit moy annuel.-Belaa-	145
<b>VI.16</b>	Relation : Erosion spécifique-Débit moy annuel.-Koudiat-	145
<b>VI.17</b>	Influence du débit maximum annuel sur l'érosion spécifique.-Koudiat-	146
<b>VI.18</b>	Relation : Erosion spécifique-débit maximum annuel-Koudiat-	146
<b>VI.19</b>	Evolution temporelle de l'érosion spécifique et la lame d'eau écoulée-Koudiat-.	146
<b>VI.20</b>	Relation : Erosion spécifique-lame d'eau ruisselée.-Koudiat-	147
<b>VI.21</b>	Evolution temporelle de l'érosion spécifique et de la pluie annuelle.-Koudiat-	147
<b>VI.22</b>	Relation : Erosion spécifique-Pluie annuelle.-Koudiat-	147
<b>VII.1</b>	Boucles d'hystérésis pour les 21 crues retenues.	151/152/ 153/154/ 155/156

N°	Titre	Page
<b>PARTIE II : POLLUTION DU COUR D'EAU</b>		
<b>III.1</b>	Ajustement du vecteur régional $C_1$ à l'échelle annuelle.	195
<b>III.2</b>	Projection des variables sur le plan ( $C_1, C_2$ ) -Oued Enndja-.	195
<b>III.3</b>	Projection des variables sur le plan ( $C_2, C_3$ ). )-Oued Enndja-.	196
<b>III.4</b>	Projection des variables sur le plan ( $C_1, C_3$ )-Oued Enndja-.	196
<b>III.5</b>	Ajustement du vecteur régional $C_1$ à l'échelle annuelle.	204
<b>III.6</b>	Projection des variables sur le plan ( $C_1, C_2$ )-Béni Haroun-.	204
<b>III.7</b>	Projection des variables sur le plan ( $C_2, C_3$ )-Béni Haroun-.	205
<b>III.8</b>	Projection des variables sur le plan ( $C_1, C_3$ )-Béni Haroun-.	205
<b>III.9</b>	Ajustement du vecteur régional $C_1$ à l'échelle annuelle.	213
<b>III.10</b>	Projection des variables sur le plan ( $C_1, C_2$ )-Menia-.	214
<b>III.11</b>	Projection des variables sur le plan ( $C_2, C_3$ )-Menia-.	214
<b>III.12</b>	Projection des variables sur le plan ( $C_1, C_3$ )-Menia-.	215
<b>III.13</b>	Relation du paramètre DCO avec les paramètres : $MES_{105}, NO_2, SO_4$	223
<b>III.14</b>	Relation du paramètre $O_{2dis}$ avec les paramètres : $Mo_{ac}, PO_4$ .	224
<b>III.15</b>	Relation du paramètre $MES_{105}$ avec les paramètres : $NO_2, PO_4$ .	224/225
<b>III.16</b>	Relation du paramètre $Mo_{ac}$ avec les paramètres : $O_{2dis}, NH_4, PO_4$ .	225/226
<b>III.17</b>	Relation du paramètre $PO_4$ avec les paramètres : $MES_{105}, O_{2dis}, DCO, NH_4, MOac$ .	226/227
<b>III.18</b>	Relation du paramètre $SO_4$ avec les paramètres : $MOac, N_{O_2}$ .	228
<b>III.19</b>	Relation du paramètre $NH_4$ avec les paramètres : $O_{2dis}, PO_4$ .	228/229
<b>III.20</b>	Relation du paramètre $NO_2$ avec les paramètres : $NH_4, PO_4$ .	229/230
<b>III.21</b>	Relation du paramètre $NH_4$ avec les paramètres : $DCO, NO_2, O_{2dis}, S_{O_4}$ .	230/231
<b>III.22</b>	Relation du paramètre $NO_2$ avec les paramètres : $NH_4, O_{2dis}, SO_4$ .	231/232
<b>III.23</b>	Relation $Moac-NH_4$ .	232
<b>III.24</b>	Relation $O_{2dis}-PO_4$ .	233
<b>III.25</b>	Variation moyenne mensuelle du paramètre $NH_4^+$ durant la période de (2010/2012).	233
<b>III.26</b>	Variation moyenne mensuelle du paramètre $NO_2$ durant la période de (2010/2012).	234
<b>III.27</b>	Variation moyenne mensuelle de l' $O_2$ dissous durant la période (2010/2012).	234
<b>III.28</b>	Variation moyenne mensuelle du $NO_3$ dissous durant la période (2010/2012).	235
<b>III.29</b>	Evolution temporelles $NO_3^-$ et $NO_2^-$ dissous durant la période (2010/2012).	235
<b>III.30</b>	Variation moyenne mensuelle du paramètre $SO_4$ durant la période de (2010/2012).	236
<b>III.31</b>	Variation moyenne mensuelle de la <b>turbidité</b> durant la période de (2010/2012).	236
<b>III.32</b>	Variation moyenne mensuelle du paramètre $PO_4$ durant la période de (2010/2012).	237
<b>III.33</b>	Variation moyenne mensuelle du paramètre <b>DCO</b> durant la période de (2010/2012).	237
<b>III.34</b>	Variation moyenne mensuelle du paramètre <b>DBO<sub>5</sub></b> durant la période de (2010/2012).	238
<b>III.35</b>	Variation moyenne mensuelle des paramètres de pollution à la station Oued Endja.	238
<b>III.36</b>	Variation de la <b>turbidité</b> et des matières en suspension ( <b>MES</b> ) au niveau du cours d'eau.	239
<b>III.37</b>	Variation de l'ammonium ( $NH_4^+$ ) et les Nitrates ( $NO_3^-$ ) au niveau du cours d'eau.	240
<b>III.38</b>	Variation de l'ammonium ( $NH_4^+$ ) et les Nitrites ( $NO_2^-$ ) au niveau du cours d'eau.	240
<b>III.39</b>	Variation de l'oxygène dissous $O_{2diss}$ et l'oxygène saturé $O_{2sat}$ au niveau du cours d'eau.	241
<b>III.40</b>	Variation de la <b>DBO<sub>5</sub></b> et <b>DCO</b> au niveau du cours d'eau	
<b>III.40</b>	Variation moyenne mensuelle du $NH_4^+$ durant la période de (2007/2011) pour les stations Menia-	241
<b>III.41</b>	Béni Haroun.	
<b>III.41</b>	Variation moyenne mensuelle du $NO_2$ durant la période de (2007/2011) pour les stations Menia-	242
<b>III.41</b>	Béni Haroun.	

<b>III.42</b>	Variation moyenne mensuelle du <b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b> durant la période de (2007/2011) pour les stations Menia-Béni Haroun	242
<b>III.43</b>	Variation moyenne mensuelle du <b>SO<sub>4</sub></b> durant la période de (2007/2012) pour les stations Menia-Béni Haroun.	243
<b>III.44</b>	Variation moyenne mensuelle de <b>la turbidité</b> durant la période de (2007/2011) pour les stations Menia-Béni Haroun.	243
<b>III.45</b>	Variation moyenne mensuelle du <b>PO<sub>4</sub></b> durant la période de (2007/2011) pour les stations Menia-Béni Haroun.	244
<b>III.46</b>	Variation moyenne mensuelle du <b>DCO</b> durant la période de (2007/2011) pour les stations Menia-Béni Haroun	244
<b>III.47</b>	Variation moyenne mensuelle du paramètre <b>DBO<sub>5</sub></b> durant la période de (2007/2011) pour les stations Menia-Béni Haroun.	244
<b>III.48</b>	Variation moyenne mensuelle du paramètre <b>DBO<sub>5</sub></b> durant la période de (2007/2011) pour les stations Menia-Béni Haroun.	245

## **Introduction générale**

L'eau est une ressource naturelle semi-renouvelable car son stock n'est pas inépuisable. C'est un bien vital puisqu'elle est essentielle à toute forme de vie, et qui plus est, ne possédant aucun substitut parfait. Ses usages sont multiples : domestiques, industriels, agricoles.... L'eau est aussi caractérisée par sa valeur écologique, esthétique et récréative.

Il s'agit d'un bien fragile, volumineux et lourd, et donc difficile à transporter. Malgré toute l'importance que nous reconnaissons à l'eau pour notre santé et pour celle de l'environnement, de la faune et de la flore, nous contribuons, par toutes les activités de notre société industrielle, à la polluer et à en dégrader la qualité. Aucun aspect de notre vie moderne n'y échappe : la fabrication des produits de consommation, l'agriculture, l'enfouissement des déchets et même les sports de loisir tels que le nautisme (et particulièrement les motomarines) ont des impacts négatifs importants sur l'eau, l'environnement et notre santé.

Des milliers de produits chimiques différents sont utilisés dans la fabrication des biens de consommation courants. Bien souvent, ces produits chimiques se retrouvent dans l'eau, puis rejetés dans l'environnement après que les eaux aient été traitées. C'est le cas de plusieurs usines manufacturières, métallurgiques et de fabriques de pâtes et papiers notamment. Cependant, il faut savoir que les traitements que l'on fait subir aux eaux usées sont surtout efficaces pour les débarrasser des coliformes d'origine fécale comme la bactérie E. coli, mais ne peuvent neutraliser tous les produits chimiques qui s'y retrouvent.

Ainsi, en juillet 2001 le ministère de l'Environnement du Québec a publié une étude qui démontrait que les eaux usées traitées rejetées dans les cours d'eau demeuraient toxiques.

Elles contenaient par exemple des pesticides, des déchets industriels, de l'arsenic, des métaux, des graisses, des diluants à peinture, de l'antigel, de l'huile à moteur, etc.

Parce que les traitements effectués ne sont pas suffisants pour assurer la qualité de l'eau rejetée dans l'environnement, il est fondamental de réussir à réduire à la source la contamination de l'eau par les produits chimiques.

Une autre source importante de contamination de l'eau est l'agriculture. L'agriculture a connu de profondes mutations au cours des dernières décennies. On a ainsi vu la spécialisation des entreprises, l'augmentation de la taille des cheptels, la généralisation de la gestion liquide des effluents d'élevage, lesquels ont grandement contribué à faire évoluer l'agriculture, et notamment la production porcine, vers des modes de production industriels. Cette évolution est responsable d'une pression accrue sur l'environnement et de là, a émergé une prise de conscience sociale de la nécessité de protéger cet environnement et particulièrement les ressources en eau.

L'eau est également indispensable pour les activités industrielles et commerciales.

Le développement industriel et artisanal avec utilisation successive d'eau et de produits chimiques dans la fabrication et le traitement industriel, constitue une menace pour la qualité de l'eau.

La plupart des industries évacuent leurs effluents dans les proches cours d'eau, pensant les diluer ainsi. La solution de la pollution ne doit être la dilution, déplacer les déchets liquides d'un lieu à un autre ne saurait résoudre le problème d'assainissement. Ces options ne sont que des alternatives provisoires qui ne font que transférer le problème. D'où la nécessité de lutter contre la pollution sous toutes ses formes notamment la pollution des eaux.

L'évacuation non contrôlée de ces déchets liquides par manque de stations d'épuration ou par des stations non opérationnelles, le cas de fonctionnement des stations d'épuration en Algérie, aboutit à la pollution des eaux de surface et des eaux souterraines, véritable danger pour la faune et la flore. Les rejets d'eaux usées constituent donc un élément fondamental en matière de pollution car lieu de nombreuses réactions chimiques et de la reproduction de nombreux vecteurs de maladies. L'eau transporte les métaux lourds, les insère dans la chaîne alimentaire (poissons, etc...).

Même si ceux-ci sont le plus souvent présents à l'état de traces dans les rejets industriels et artisanaux, ils n'en restent pas moins très dangereux puisque leur toxicité se développe par bioaccumulation dans l'organisme.

L'inquiétude progresse et les contentieux se multiplient, les rejets industriels et artisanaux représentent eux-mêmes un danger de part leurs qualités physico-chimiques et microbiologiques mais aussi pour l'environnement qu'ils contaminent.

Au regard de tout ce qui précède l'assainissement en milieu urbain constitue un véritable problème de santé.

En Algérie, à priori le constat est rassurant, l'eau distribuée au robinet est de bonne qualité bactériologique. Les programmes d'approvisionnement en eau dans les villes algériennes ont surtout visé à développer les sources de stockage (barrages et transfert hydraulique) ce qui nécessite à modifié les cours d'eau des oueds mais malheureusement sans tenir compte à la gestion des eaux usées domestiques et industrielles déversées dans les cours d'eau des bassins.

Si l'on ne saurait trop insister sur la nécessité d'un approvisionnement suffisant en eau des citoyens, il faut aussi considérer que la pression démographique due à ces populations, l'industrialisation et les contraintes croissantes subies par l'environnement exigent que les politiques de l'eau soient envisagées dans l'optique d'un développement durable.

Les nappes aquifères peuvent s'épuiser et les écosystèmes peuvent être perturbés, il sera impossible de satisfaire les besoins en eau d'une meilleure qualité dans les grandes villes dans les années à venir ; des mesures de protections d'eau ne propagent pas les infections et ne soient pas responsables d'une exposition chronique à des substances nocives.

Les rejets industriels et artisanaux sont soumis à des lois, même si la réglementation n'empêche ni les rejets délictueux qui doivent être poursuivis avec la plus extrême rigueur, ni les difficultés issues des petites entreprises du secteur informel.

Partie I:  
Transport solide

Chapitre I  
Recueils  
Bibliographiques  
et Théoriques

## Introduction générale

Le cycle érosion, transport, sédimentation est particulièrement important pour les milieux méditerranéens et tropicaux même sur des très faibles pentes (BERNOUX, 2004). Dans ces régions la pluviométrie est marquée par une irrégularité et une intensité importantes. Ceci est à l'origine de l'arrachement de mottes et leur fractionnement en agrégats ou en particules élémentaires par l'énergie de la battance des pluies et du ruissellement ; ou aussi par éclatement des agrégats lors de l'humectation. Les sols sont plus vulnérables au ruissellement et à l'érosion hydrique (LAL, 1983 ; BEP et al. 2004) si leur surface n'est pas protégée par une litière ou une couverture végétale (ROOSE, 1981 ; CASENAVE et VALENTIN, 1989 ; BEP et al., 1995).

La conséquence la plus dramatique de l'érosion des bassins versants et du transport solide est sans aucun doute l'envasement des barrages. Actuellement, il y a un cumul de dépôt de vase de plus de 650 106 m<sup>3</sup> dans plus de 110 barrages algériens.

Plusieurs techniques de lutte contre ce phénomène ont été expérimentées dans de nombreux sites, mais sans avoir de bons résultats. Cet échec est dû surtout à la non-maîtrise du mécanisme de l'envasement et à la quantité de matériaux solides transportée dans les cours d'eau et plus particulièrement la fraction solide entrante dans les retenues.

Devant l'importance de ce problème et le manque de données, la quantification du transport solide s'avère indispensable.

Le transport solide des sédiments dans le lit des cours d'eau (ou entraînement des matériaux) se caractérise par le rapport entre le mouvement du matériau et le mouvement de l'eau. L'approche anglo-saxonne s'intéresse aux impacts de chaque fraction sur la morphologie du lit et distingue washload (« auto-suspension » qui n'a pas d'action sur la morphologie du lit) et bedload (interaction avec le lit). L'approche française, plus mécaniste, distingue transport par charriage (en général pour les matériaux plus grossiers) et transport par suspension (pour les particules fines). Le charriage se caractérise alors comme le transport sur le fond d'un matériau non cohésif, par roulement, glissement, ou saltation.

Les processus élémentaires qui gouvernent le transport solide par charriage sont complexes, et font intervenir de nombreux paramètres. Certaines formules essaient de prédire les volumes solides mobilisés au cours d'une crue. Quoiqu'elles fonctionnent bien dans certaines conditions, des mesures du transport solide en conditions naturelles sont nécessaires, pour déterminer leur champ d'application et pour améliorer le calage des modèles.

Afin de mesurer le transport solide en rivière, une des techniques utilisées est le traçage sédimentaire, qui consiste à marquer certaines particules puis à suivre leurs déplacements au cours du temps. Une nouvelle technique de traçage sédimentaire, permettant l'identification radio des particules (RFID pour Radio Frequency Identification), devrait permettre d'améliorer les conditions de suivi des particules in situ. L'estimation du transport solide en suspension se fait à partir des débits liquides uniquement.

Notre objectif est de fournir les informations indispensables pour mieux connaître la durée de vie de nos barrages et définir le dimensionnement des ouvrages futurs. Dans l'immédiat, notre préoccupation n'est donc pas de procéder à une estimation d'apport pour un ou plusieurs événements (crues), néanmoins dans nos travaux futurs nous tenterons d'évaluer le transport solide par des crues séparées mais pour des bassins versants ayant une production très importante en période de crues.

Le transport solide en Algérie est évalué au niveau des stations hydrométriques des bassins versants pour la quasi-totalité des épisodes d'écoulement.

Généralement, on se limite au débit en suspension. 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.

## I-Erosion et transport solide

### I.1 Erosion des bassins versants

#### I.1.1 Généralités

L'érosion hydrique correspond à la séparation entre la particule et son support, sans inclure le transport solide 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 versants de l'Algérie, la Tunisie, et le Maroc sont caractérisés par une forte dégradation spécifique dépassant 2000 t/km<sup>2</sup>.an. A titre d'exemple, dans les bassins versant marocains, le taux d'érosion spécifique est :

- Supérieur à 2000 t/km<sup>2</sup>.an au niveau des bassins de Martil, de l'Ouergha, de Lakhdar, et de Tessaout.
- Compris entre 1000 et 2000 t/km<sup>2</sup>.an au niveau des bassins de Neckor, de M'Harhar, et de Loukkos.
- Compris entre 500 et 1000 t/km<sup>2</sup>.an au niveau des bassins versants de Sebou, de L'Inanouène, de l'Oued El Abid, et du Massa.
- Inférieur à 500 t/km<sup>2</sup>.an au niveau du reste du pays [Badraoui A. et Hajji A., 2001].

En Tunisie, l'érosion hydrique dégrade les terres cultivables. Au total, 1,2 millions d'hectares sont gravement affectés par l'érosion dans le nord, et le centre de la Tunisie, soit 25% de la superficie totale des terres (Bouزيد A., 1991). En Algérie, le taux d'érosion dépasse 2000 t/km<sup>2</sup>.an sur la plupart des bassins versant de l'Atlas Tellien (Rhiau, Sly, Fodda, Mazafran, Isser). Il atteint 4000 t/km<sup>2</sup>.an sur la chaîne côtière de Dahra, et 5000 t/km<sup>2</sup>.an sur le bassin très dégradé de l'Oued Agrioum (Demmak A., 1982).

#### I.1.2- Les principaux agents de l'érosion hydrique :

##### I.1.2.1 -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  $E_c$ .

$$E_c = \frac{1}{2} m \cdot V^2$$

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).

$$E_c = 11.9 + 8.73 \log I_p'$$

Avec,  $E_c$  : Energie cinétique en j/m<sup>2</sup>/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).

$$D_p = a \cdot E_c^b$$

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.1.2.2 – Le ruissellement

Le ruissellement apparaît dès que l'intensité d'une pluie devient supérieure à la vitesse d'infiltration du sol. Il est nettement plus élevé sur sol nu que sous cultures. Les plus faibles ruissellements proviennent des pluies tombantes après une période sèche. Par contre, les ruissellements et les pertes en terres les plus élevées ont eu lieu à une époque où le sol est déjà très humide et dans le cas de pluies exceptionnelles et des orages d'automne et de printemps (Chebbani, R. et al. 1999).

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).

Ces seuils de hauteur dépendent en partie des caractéristiques des pluies (intensité, mais aussi du volume de pluie tombant après saturation du sol) et surtout de l'état de surface du sol (plus le sol est dégradé plus le ruissellement est rapide).

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 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) :

$$V_R = (I^{0.33} \cdot Q_R^{0.33}) / n^{0.66}$$

Où  $V_R$  : vitesse de ruissellement

$I$  : pente du terrain

$Q_R$  : Débit du ruissellement

$n$  : rugosité du sol.

Les facteurs qui régissent le ruissellement sont principalement :

- **L'infiltration :**

Tous les sols sont plus ou moins perméables. Le coefficient de perméabilité qui représente la vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol dépend essentiellement de la porosité du sol.

Pour un sol homogène initialement non saturé, la surface du sol présente une certaine

infiltrabilité définie comme le flux maximum qu'elle peut absorber lorsqu'elle est maintenue en contact avec l'eau et la pression atmosphérique. Au cours du temps cette baisse par l'action de la compaction des sols, que ce soit sous l'action des agents climatiques ou par l'action de l'homme, conduit à une réduction de la porosité et donc de la conductivité hydraulique. La diminution de la capacité d'infiltration constitue ainsi un facteur défavorable générateur de ruissellement et de transport de sédiments.

En revanche, cette même diminution de l'infiltrabilité joue un rôle positif contre l'érosion puisqu'elle renforce la résistance au cisaillement des sols. L'équation de Coulomb donnant la charge de rupture ( $\tau$ ) montre le rôle des deux paramètres essentiels :

$$\tau = c + \sigma \tan \phi$$

avec, C : la cohésion qui dépend des forces capillaires et de la teneur en eau du sol.

$\Phi$  : l'angle de frottement interne qui dépend de la porosité du matériau et donc de la compacité du sol.

- **Détention superficielle et rugosité du sol.**

Elle correspond à la capacité de stockage temporaire de la surface du sol vis-à-vis de l'eau. La détention superficielle se fait sous forme de flaques dans les micro-dépressions, dont la capacité de stockage est liée à la rugosité.

- **Pente et longueur de pente.**

L'influence de la pente est complexe. Le plus souvent, l'érosion augmente avec la pente.

Il se développe une érosion en rigoles dix fois plus agressive que l'érosion en nappe (Roose, E. et al. 1998). Quant à la longueur des pentes, il semble que son influence sur la naissance de rigoles dépend de diverses interactions avec la rugosité et la perméabilité du sol, le type et l'abondance du couvert végétal.

- **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.1.2.3- Etat hydrique initial :**

L'état hydrique du sol au moment d'une pluie a une très forte influence sur la dégradation, la formation des croûtes et la réduction de l'infiltrabilité résultante (Lebissonais, Y.1992). Les agrégats secs sont plus sensibles à l'éclatement. En effet l'intensité de ce processus croît avec le volume d'air piégé (Boiffin, J. 1984 ; Le Bissonais, Y. 1988) en particulier sous des pluies de forte intensité qui peuvent former des croûtes très rapidement.

L'état hydrique initial influence aussi la succion exercée à la surface du sol par les couches sous-jacentes et donc l'infiltration au travers de cette surface.

Lorsque le sol en surface est argileux sensible à la dispersion par l'effet de l'impact des gouttes de pluie à la désagrégation mécanique par l'alternance des cycles de dessiccation et d'humectation, il y a mobilisation des particules argileuses sous l'action de l'impact des pluies (Chibbani, R. et al. 1997). En effet, l'humectation des sols argileux entraîne un gonflement qui est une forme analogue de désagrégation. Cette argile mobilisée migre dans l'eau de l'infiltration, couvre la périphérie des agrégats et colmate les interstices intra-agrégats ou bien se dépose à la surface du sol pour former une croûte. La formation des croûtes ou organisation pelliculaire de surface, entraîne une réduction de l'infiltrabilité, accroît les risques de ruissellement et d'érosion.

### **I.1.3 Formes de manifestation de l'érosion hydrique**

#### **I.1.3.1 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.

Quantitativement, l'érosion en nappe est très modeste. En Algérie, les chercheurs de l'INRF et de l'OROSTOM ont évalué les pertes en terres par ce type d'érosion de 0,10 à 20 t/ha/an (Chebbani, R. et al. 1999).

Ce type d'érosion entraîne des conséquences morphologiques et pédologiques fâcheuses suite à un décapage de l'horizon superficiel diminuant insidieusement sa réserve en éléments fertilisants et un entraînement préférentiel des particules les plus fines, de la matière organique et du carbonate de calcium.

#### **I.1.3.2 Erosion linéaire**

Elle se manifeste lorsque la concentration des eaux conduit à la formation de chenaux de dimension croissante : griffes (quelques centimètres de profondeur), rigoles (incision dans la couche labourée), ravines (incision dépassant la couche labourée).

- **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.

- **Erosion par ravinement**

Les ravines suivent la ligne de plus grande pente des versants. Puisque le ruissellement provenant des versant peut atteindre 50 à 80% durant les averses exceptionnelles tombant sur les terres battues ou compactées, l'essentiel du transport solide provient des ravines et des oueds (Heush, B. 1970 ; Arabi, M. et al. 1991).

Lorsque le sol est peu perméable, saturé et peu couvert, le ruissellement est abondant.

Ce dernier creuse des ravines et augmente les pointes de crue des oueds, ce qui favorise le sapement des berges et les glissements de terrain, et par conséquent l'envasement des barrages, la destruction des infrastructures et la dégradation des terres. En Algérie, l'érosion ravinante a déplacé 90 à 300 t/ha/an ce qui correspond à une vitesse d'altération des versants de 8 à 17 mm/an (Chibbani, R. et al. 1999).

### I.1.4 Quantification de l'érosion :

Plusieurs formules et méthodes sont utilisées afin de quantifier le phénomène de l'érosion la plus ancienne formule est celle de Wischmeier.

#### I.1.4.1 Formule du Wischmeier (1959)

L'intensité de l'érosion peut se caractériser la mesure des pertes de terre subies par les sols. Ces pertes de terre peuvent s'estimer par cette équation mise au point par le service Américain de conservation des sols.

$$A = R * (K * L_s * C * P) \dots\dots\dots(I.1).$$

Avec :

**A** : perte de terre (T/Ha) ;

**R** : Indice de pluie caractérisant l'agressivité de la pluie en T/Ha ;

**K** : Indice de sol mesurant le plus ou moins grande la susceptibilité du sol à l'érosion ;

**L<sub>s</sub>** : Indice de pente, permettant de comparer les conditions topographiques locales à des conditions standards ;

**C** : Indice de culture permet de tenir compte du degré de protection du sol par le couvert végétal ;

**P** : Indice de remède de conservation de sol.

#### I.1.4.2 Mesure de l'érosion (F. Fournier)

L'érosion du sol par l'eau engendre la destruction des terres, lorsqu'elle prend une forme accélérée. Elle engendre également l'envasement d'ouvrages construits par l'homme sur le chemin de l'eau. Aussi conçoit-on aisément toute l'importance que revêt l'étude de ce phénomène.

Celui-ci débute par une phase de production d'éléments entraînés dans laquelle les précipitations atmosphériques jouent un rôle particulièrement important. Le sol se présente en effet sous une forme plus ou moins agrégée et c'est en grande partie sous l'effet du « splash » que les agrégats et les mottes se désagrègent et libèrent des éléments fins. L'eau entraîne ensuite en suspension, en saltation et par traction, les matériaux détachés du sol. Elle ruisselle avec sa charge solide vers le bas des pentes où elle se concentre. Puis elle s'écoule des dépressions où elle s'est concentrée pour s'intégrer à un réseau hydrographique. Pendant tout son parcours, elle est également un agent érosif.

Les matériaux entraînés sont donc transportés par l'eau ruisselant et passent de filets d'eau en ruisselets, de ruisselets en ruisseaux, de ruisseaux en rivières, de rivières en fleuves et des fleuves à la mer. Au cours de ce voyage, certains ne sont déplacés qu'à courte distance et s'accumulent au bas des versants. D'autres vont jusqu'aux cours d'eau mais sont déposés : ils forment les alluvions. D'autres enfin vont jusqu'à la mer.

L'érosion du sol est donc un phénomène complexe et sa mesure, pour être complète et introduire des connaissances totales, doit comporter :

- la mesure du détachement d'éléments entraînés;
- la mesure directe, sur le terrain, de l'ablation subie par les sols ;
- la mesure des transports solides effectués par les cours d'eau de différentes tailles :

transports solides en suspension, transports solides par charriage.

Des appareils et des méthodes ont été mis au point pour effectuer ces mesures.

Ils ont atteint, dans certains domaines, un certain niveau de perfectionnement, mais elles nécessitent encore de nouvelles recherches.

#### I.1.4.2.1 La mesure de l'effet du splash

Cette mesure n'est encore que peu pratiquée sur le terrain lui-même, les chercheurs s'étant surtout orientés vers la mesure au laboratoire de la susceptibilité des sols à l'action des gouttes d'eau.

Les mesures pratiquées sur le terrain ont été effectuées à l'aide d'un appareillage simple selon le principe suivant : une très petite surface est délimitée et on essaye de recueillir des gouttes d'eau qui rebondissent de cette surface sur la surface d'un appareil de capture. Par exemple une bouteille surmontée d'un entonnoir peut être enfoncée dans le sol de manière à ce que l'entonnoir surmonte de très peu le niveau du sol (mais le surmonte assez pour éviter la capture du ruissellement). Une aire d'où proviennent des gouttes d'eau rebondissant est délimitée autour de cet appareil. Il est essayé d'évaluer le poids des particules terreuses entraînées au cours du « splash » et retombant sur la surface de l'entonnoir.

Il est évidemment difficile d'obtenir des mesures d'une très grande rigueur de l'effet du « splash », mais des ordres de grandeur du phénomène peuvent être ainsi obtenus.

#### I.1.4.2.2 La mesure directe de l'ablation subie par les sols

Deux méthodes sont couramment employées pour mesurer directement l'ablation subie par les sols :

- la méthode des parcelles expérimentales;
- la méthode des repères.

- **La méthode des parcelles expérimentales**

Cette méthode consiste à délimiter un champ expérimental qui a quelques centaines de m<sup>2</sup> et qui fonctionne comme un véritable bassin hydrologique (pente, sol, végétation), ce dernier est limité à sa base par un système qui reçoit l'eau et la terre qui en proviennent lors de chaque précipitation suivie d'un ruissellement.

Les données chiffrées résultant de l'étude de champs expérimentaux ne peuvent fournir, lorsqu'on les considère individuellement, qu'une indication approchée de l'ampleur que peut présenter un phénomène dans une région et dans des conditions données. Mais elles peuvent fournir un bon ordre de grandeur de mesure de l'érosion réelle sur une petite surface.

- **La méthode des repères**

Le désir de mesurer le phénomène d'érosion tel qu'il se déroule réellement dans le milieu naturel a conduit à placer sur le terrain des repères stables qui permettent d'évaluer les variations du niveau du sol.

Ces repères consistent soit en un simple piquet, mince et bien stabilisé, soit en un fil tendu ou une règle placée horizontalement, selon la direction des isohypses, entre deux points d'appui fixes et stables, distants d'un à deux mètres. Ils peuvent être répétés tout le long d'un versant.

Le déchaussement ou le recouvrement des piquets, la variation de la surface comprise entre un fil ou une règle et sa projection verticale sur le terrain servent à estimer l'ablation ou l'apport de terre. Mais étant donné l'épaisseur que représente une ablation de terre annuelle, le micro-relief du terrain et la présence de débris végétaux, la méthode des repères est très délicate à employer et comporte des possibilités d'erreurs graves. La mesure directe de l'ablation subie par les sols est finalement plus sûrement fournie par les parcelles expérimentales, malgré la signification des données obtenues grâce à elles.

**I.1.4.2.3 La mesure des transports solides** : elle comporte la mesure du transport solide en suspension et ainsi celui par charriage.

### **I.1.5 Les conséquences de l'érosion**

Le sol est une fine couche de matières minérales et organiques qui permettent la rétention et la circulation de l'eau et de l'air à la surface de la Terre. Cette fine couche, dont l'épaisseur varie de quelques cm à quelques m, fait vivre pratiquement toutes les formes de vie de la planète. Le sol est une ressource « non-renouvelable » qui, lorsqu'il subit une forte érosion, est perdu à l'échelle de millénaires.

- **La biodiversité**

Le sol est un milieu vivant où des milliards de bactéries, champignons, et insectes de tous genres habitent. Sa dégradation provoque une perte d'espèces dont nous avons peu conscience à cause des difficultés de mesure et de suivi de ces micro-organismes et parce que ces familles d'espèces se trouvent rarement parmi les espèces « emblématiques » (comme le loup, l'aigle, le panda, le dauphin, etc.). De plus, la dégradation du sol provoque inévitablement une perte d'habitat pour divers espèces à la surface de la terre et dans les milieux aquatiques, où l'augmentation de la turbidité et de la pollution jouent un rôle important dans la dégradation de ces environnements.

- **La désertification**

Il est à noter que la perte du sol dans les milieux semi-arides conduit à la création de vastes zones « stériles » et des conditions de sécheresse aggravée par une augmentation du ruissellement et par la diminution de la réserve hydrique du sol.

- **La pollution des eaux**

Pratiquement toute l'eau qui tombe sur une surface terrestre entre en contact avec le sol. L'eau peut s'infiltrer et percoler vers la nappe phréatique et les cours d'eau, et dans ce cas, elle lessive une partie de ce qui est soluble dans le sol (nitrates, pesticides...). Elle peut également ruisseler à la surface et transporter vers les cours d'eau les sédiments et tout ce qui y sont associés : pesticides, engrais, matières organiques...

Aujourd'hui, l'érosion des sols participe à plusieurs grands problèmes environnementaux qui perturbent la planète.

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 existantes.

## **I.2 Transport solide**

### **I.2.1 Nature des phénomènes**

Le transport solide représente l'entraînement de granulats sous l'action d'un écoulement fluide. Il existe dans différents phénomènes physiques, naturels ou industriels, et constitue un écoulement à surface libre ou en charge.

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).

Les matériaux alluvionnaires constituant le lit des cours d'eau proviennent de : (Probst, J.L. et al. 1992).

- L'élaboration des éléments de surface, en général des matériaux meubles du bassin versant. Si l'on ne tient compte que de l'érosion en nappe évaluée au maximum à 20t/ha/an, cette ablation est de l'ordre de 1.3 mm/an (Chebbani, R. et al.1999).

L'érosion des berges du lit des cours d'eau et de leurs affluents. D'après les travaux effectués sur le fleuve du Sénégal, la Garonne et sur des rivières des Etats Unis, ce type d'érosion produit 20 à 30% du tonnage total des sédiments exportés (Propst, J.L. et al. 1989). Ces sédiments localisés dans les lits des oueds sont transportés par les crues pour être déposés soit sur des plaines à faible pente, soit dans des cuvettes de barrage ou encore en arrivant jusqu'à la mer.

Deux types de transport solide peuvent être observés:

➤ **Le transport solide par suspension**

Il 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. La quantité de matériaux en suspension dépend uniquement des quantités d'éléments fins, qui proviennent de l'érosion des bassins versants, due au ruissellement des eaux de pluie.

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. Ces matériaux proviennent préférentiellement -mais pas seulement- des zones de houiller. Ce phénomène correspond -de loin- à l'essentiel du volume solide transporté.

Les concentrations d'éléments en suspension des oueds Algériens dépassent souvent les 100g/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 265 g/l en période de crue. Par contre dans les rivières Françaises, la concentration des matériaux fins est d'environ 2 g/l en moyenne et atteint fréquemment 20 g/l en crue. (Remini, Boualem, 2005).

➤ **Le transport solide par charriage**

Le charriage "Bed-Load transport" ou le transport sur le fond d'éléments non cohésifs, correspond aux éléments grossiers. L'effet des forces hydrodynamiques exercées par l'écoulement d'eau se traduit sur les particules par un mouvement de roulement, de glissement, ou de saltation (petits sauts successifs). On peut donc définir un seuil de début de transport, correspondant au débit d'eau minimal nécessaire pour commencer à déplacer les grains. Il est alors possible de quantifier l'intensité du charriage à partir du rapport entre le débit d'eau actuel et ce seuil de début de transport. Pour un débit liquide qui n'est que faiblement supérieur au seuil de transport, on parle de **charriage partiel**. Seuls les matériaux les plus fins en surface du lit sont affectés par le transport. Dans ce régime, il n'y a pas de relation univoque entre débit liquide et débit solide transporté. Pour un débit liquide nettement supérieur au seuil de transport, on parle de **charriage hyperconcentré**. Ce régime se traduit par la mobilité de toutes les classes granulométriques, et aboutit à la destruction des structures morphologiques qui pouvaient être formées par les crues précédentes. En outre, ce régime est caractérisé par une forte corrélation entre débits liquides et débits solides : ces deux quantités sont à peu près proportionnelles entre elles.

Dans le transport solide par charriage les interactions avec le lit sont 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.

Parmi les nouvelles méthodes utilisées on peut citer celle de : L'enregistrement par hydrophone et l'analyse du signal émis par les matériaux en transport sur le fond du lit. Cette méthode fait l'objet d'un travail exploratoire (Belleudly et al ., 2009), celle à Acoustique passive, dans cette méthode la puissance et le contenu fréquentiel du son généré dépend de la granulométrie des matériaux et du flux solide.

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 Poncon, il descend aux environs de  $20 \text{ m}^3/\text{km}^2.\text{an}$  à Cadarache, il était de 25 à l'ancienne prise de Briliane sur le Verdon, le flux à hauteur de Greoux est de  $25 \text{ m}^3/\text{km}^2.\text{an}$ . (Remini, Boualem, 2005)

La figure suivante schématise les deux types de transport solide, rencontrés dans un bassin versant :



*Figure (I.1) : Différents types de transport solide en rivière (Remini, 2005).*

### I.2.2 Rappel bibliographique des travaux sur le transport solide en Algérie

- **Medinger (1960)**

En 1960, il regroupe des travaux effectués sur les méthodes de mesure et présente les données de mesure recueillis sur une trentaine de bassins durant la période 1946-1957. Ses essais ont portés sur la mise en forme d'une relation entre débits et concentrations instantanées. Les résultats qu'il obtenait n'étaient pas satisfaisant (Demmak 1982).

- **Tixeront (1960)**

Ses travaux sont basés sur les données de 32 bassins d'Algérie et les bassins de Tunisie, dont la superficie varie de 90 à 22300  $\text{Km}^2$ .

L'auteur a d'abord 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 maximum en saison végétative est favorable aux faibles teneurs ;

-Une zone de 300 à 700 mm où l'érosion est très active ( $1200 \text{ Tonnes}/\text{Km}^2/\text{an}$ ).

- **Capolini (1965-1969)**

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

Il a basé son étude sur l'analyse morphologique des réseaux (densité de drainage, coefficient de torrentialité) mise au point par les géographes Américain Schumm et Horton.

L'application a permis de trouver des résultats encourageant sur les bassins de Rhiou et du Fodda. A partir de ces résultats l'auteur a généralisé la méthode à l'ensemble du bassin versant de l'Oued Cheliff.

Les résultats ont a 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 susceptibilités à l'érosion à partir de la carte du coefficient de torrentialité.

- **Sogreah (1969)**

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

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

Leurs résultats ont été présentés sous forme d'une relation graphique traduisant des relations de forme :  $T = aR^b$  .....(I.2).

Où

T : la dégradation spécifique exprimé en T/Km<sup>2</sup>/an.

R : la lame d'eau annuelle moyenne écoulée exprimée en mm.

b=0,15

a : un paramètre empirique variant avec le degré de perméabilité des bassins de 3,3 (perméabilité élevée) à 3200 (bassins imperméables).

- **Demmak (1982)**

En se basant sur les données observées, durant la période 72/79, sur trente bassins versant 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 anti-érosives. Il a démontré que :

- Le pourcentage de marne et d'argiles affleurantes.
- Le pourcentage des précipitations journalières supérieures à certain seuil (20 ou 30mm).
- Le coefficient de torrentialité.

Ils 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.

### I.2.3 Formules de transport solide, études empiriques

#### I.2.3.1 Hypothèse de Bagnold

Devant la difficulté d'étudier analytiquement les propriétés des flux biphasiques, de nombreuses hypothèses simplificatrices ont été proposées pour l'élaboration de modèles. Une des hypothèses les plus utilisées est celle proposée par Bagnold (1948). Cette hypothèse suppose un équilibre dynamique entre le flux liquide et le flux solide. Bagnold affirme que le flux solide est directement proportionnel à la différence entre la contrainte de cisaillement sur le lit, et la contrainte critique  $\tau_c$ . Le flux solide s'écrit alors sous la forme

$$q_s = (\tau - \tau_c) \dots \dots \dots (I.33).$$

Cette hypothèse a été remise en cause par Seminara et al. ils ont montré que cette formule n'est plus valable pour des pentes au-dessus d'une valeur qui est bien au-dessous de la valeur de l'angle de repos des particules. Ils ont, en particulier, souligné que dans ces conditions aucune concentration solide dans l'écoulement n'est suffisante pour réduire la contrainte de cisaillement du fluide sur le lit ( $\tau_0$ ) à la valeur critique. Ils proposent une hypothèse alternative selon laquelle l'équilibre dynamique est maintenu par un équilibre entre l'entraînement des grains et leur dépôt.

Cette formulation rappelle celle de H.A. Einstein décrite plus loin. Le taux d'entraînement des grains est une fonction croissante de la différence  $(\tau - \tau_c)$ . Cette nouvelle formulation valable pour les pentes de 0 à 22 % donne un bon modèle. L'essentiel des formules utilisées pour évaluer le transport solide sont basées sur l'hypothèse de Bagnold, plusieurs modèles numériques entraînent des commentaires sur cette hypothèse (Wiberg & Smith (1989), Ninõ & Garcia (1994)), c'est pourquoi il était essentiel de rappeler cette hypothèse.

#### I.2.3.2 Quelques formules de transport solide

L'expérience montre que le débit solide dépend :

- du débit liquide ;
- de la nature des particules (taille, masse, répartition granulométrique, forme) ;
- de la hauteur d'eau ;
- de la pente.

Il existe de nombreuses formules permettant de quantifier le transport solide en fonction de ces paramètres, ces formules sont en général établies à partir de données expérimentales en régime permanent, pour des canaux uniformes et contraints latéralement, à la capacité maximale de transport. Elles sont généralement basées sur une analyse dimensionnelle.

- **Formule de Meyer-Peter (1948)**

Elle s'écrit :  $q_s = 8 (t_* - 0,047)^{3/2} \sqrt{(s-1)gd^3} \dots \dots \dots (I.34).$

$$\tau_* = \left( \frac{k_s}{k_r} \right)^{3/2} \frac{Q_e}{Q} \frac{h I}{(s-1)d} \dots \dots \dots (I.35)$$

$q_s$  Débit solide par unité de largeur du lit ( $m^2/s$ ).

$\tau_*$  : Contrainte de cisaillement adimensionnelle  $\tau_* = NSh$ .

$N_{Sh}$  Nombre de Shields

$s$  Densité du sédiment  $s = P_s / P$ .

$P$  Pression (Pa).

$g$  Gravité ( $ms^{-2}$ ).

$d$  Diamètre des particules ( $m$ ).

$k_s$  Coefficient de rugosité du lit ( $m^{1/3}/s$ ).

$kr$  Coefficient de rugosité du grain ( $m^{1/3}/s$ ).

$Q_e$  Débit liquide concourant au charriage ( $m^3/s$ ).

$h$  Hauteur d'eau ( $m$ ).

$I$  Pente du canal  $I = \tan(\theta)$ .

$\theta$  Angle de la pente.

Les conditions expérimentales qui ont permis l'établissement de cette formule ne correspondent à des pentes qui ne dépassent pas les 2.2%, avec des sédiments de granulométrie uniforme. Cette formule établie pour le transport solide fluvial n'est donc pas directement applicable pour le transport solide torrentiel.

- **Formule de Rickenmann (1990)**

La formule proposée par Rickenmann à partir de ses données expérimentales et de celles de Meyer-Peter et Smart et Jaeggi ne fait plus appel à un excès de contrainte mais à un débit critique  $q_{cr}$

$$q_s = 12,6 \left( \frac{d_{90}}{d_{30}} \right)^{3/2} \frac{I^2}{(s-1)^{1,6}} (q - q_{cr}) \dots \dots \dots (I.36)$$

$$q_{cr} = 0,065(s-1)^{1,67} \sqrt{gd_{50}^{1,5}} I^{-1,12} \dots \dots \dots (I.37)$$

$q$  Débit liquide par unité de largeur du lit ( $m^2/s$ ).

Cette formule est valable pour des pentes comprises entre 0.2 et 20%.

- **Formule simple**

Il existe quelques formules simples qui permettent une évaluation rapide du débit solide lorsque le débit liquide de début de mouvement est négligeable devant le débit liquide total.

**Formule de Meunier :**

$$\frac{Q_s}{Q} = 6,3I^2 \dots \dots \dots (I.38)$$

$Q_s$  Débit solide ( $m^3/s$ )

Toutes ces formules prennent en compte le caractère global du mélange eau+sédiments. Une analyse plus fine est nécessaire pour une meilleure compréhension de la physique des phénomènes physiques qui entrent en jeu.

### I.2.4 La mesure des transports solides

#### I.2.4.1 Approches méthodologiques pour la quantification du transport des sédiments

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. 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.

Une 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.

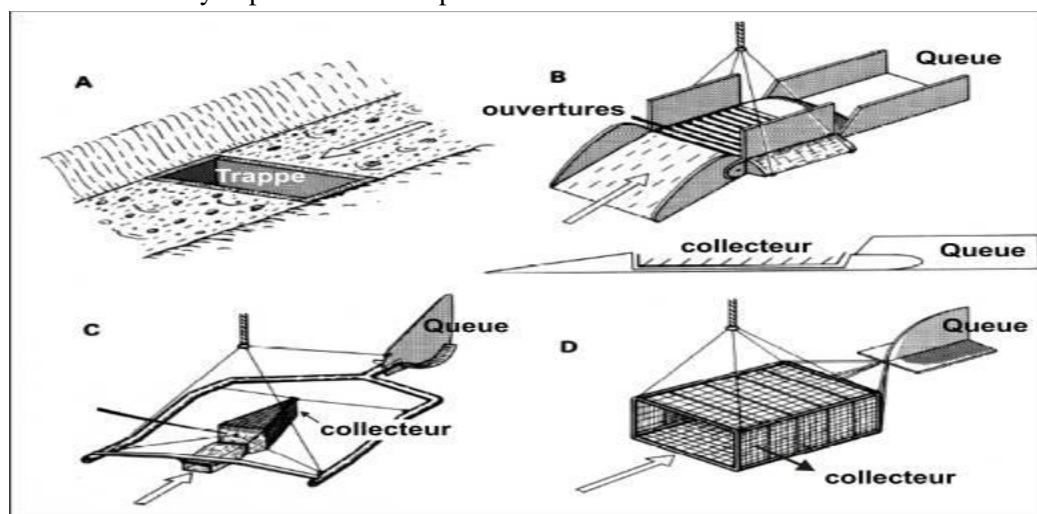


Figure (I.2) : Pièges à sédiment.

#### I.2.4.2 Le transport solide en suspension

La mesure des transports solides en suspension faite actuellement partie des problèmes très mal résolus. On doit apprendre à gérer les masses sédimentaires comme on a pris l'habitude de le faire pour l'eau. A l'heure actuelle, les faibles turbidités sont mesurées par les méthodes optiques, par contre la mesure des concentrations importantes est réalisée par prélèvement. Une bouteille immergée dans le lit de l'oued et recueille un volume de mélange eau-sédiments, dont la concentration en matière en suspension est déterminée par différentes méthodes : mise à sec puis pesée, filtration ou pycnomètre directe. Cette dernière méthode fournit d'une façon quasi-instantanée une mesure précise. Cependant, on se heurte à l'environnement majeur des prélèvements : leur aspect discontinu dans le temps et dans l'espace.

- Dans le temps : entre deux mesures, les informations sont perdus.
- Dans l'espace : difficulté de positionner la bouteille en profondeur surtout dans les forts courants des rivières en crue, qui ont tendance à donner au dispositif une trajectoire horizontale, incompatibles avec les prélèvements en profondeur.

#### **I.2.4.2.1 Effectués 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.

#### **I.2.4.2.2 Principes des méthodes de mesure**

Un principe fondamental règle la méthodologie des mesures 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.

#### **I.2.4.2.3 Appareillage utilisé pour la mesure :**

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 :** 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.

**\*Le Bathimètre-Tachy mètre de Glouchkoff** c'est un appareil plus perfectionné, mais il a le défaut de perturber la vitesse d'écoulement au moment des retournements.

**\*les turbidisondes** ce sont les appareils de prélèvement les plus perfectionnés. Elles sont conçues pour s'ouvrir sous l'eau et sont sujettes, de ce fait, à un afflux initial. L'un des défauts des turbidisondes actuelles est leur manque d'aérodynamisme.

**-la turbidisonde Neyrpic et la turbidisonde de « 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.

- la turbidsonde de l'Électricité de France utilise les phénomènes de transmission de la lumière à travers une eau chargée de sédiments.

#### **-Prélèvement continu**

\*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 E.D.F (Services des Études et Recherches 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.

#### **I.2.4.3 les transports solides charriés 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 à 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 seules 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.

Le charriage dit transport du fond, constitue un sérieux problème en régularisation des débits de cours d'eau, et dans la construction des ouvrages hydrotechniques. Plusieurs recherches ont été entamées et axées sur le transport des sédiments en régime fluvial, aussi bien voie théorique que par voie expérimentale, mais il n'existe pas encore de théorie générale du mécanisme et il est difficile de donner une définition universelle acceptable de la charge du fond.

Du boys (1879), a été l'un des pionniers de cette recherche sur le charriage. Ce n'est que vers 1930, que cette recherche s'intensifie avec Meyer-Peter et Einstein. Ils ont basé leurs travaux sur l'équilibre d'une particule au sein d'un liquide en mouvement en régime fluvial, pour un canal de forme régulière.

Mais ces études ne peuvent pas s'appliquer directement à des transports de particules non homogènes pour des formes de lit non régulières.

Einstein a dressé une liste de caractéristiques qui y sont généralement associées :

- Il y'a échange de particules, permanent et intense entre la charge du fond en mouvement et le lit.
- La charge du fond se déplace lentement vers l'aval et le mouvement de chaque particule, individuellement, se fait à coups rapides séparés par des intervalles de repos relativement longs.
- Le saut moyen d'une particule est à peu près indépendant des conditions d'écoulement, de l'intensité du transport solide et de la composition des sédiments.
- Les vitesses de déplacement des différentes particules varient selon qu'elles se déplacent plus ou moins souvent.

### I.2.4.3.1 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 stabilisatrices.
- 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 «  $\tau_c$  ».

Ce mouvement de granulats se traduira par un transport sur le fond dans le sens de l'écoulement.

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

$$\tau = \rho * g * R_h * J \quad (\text{N/m}^2) \dots \dots \dots (\text{I.39}).$$

$\tau$  : La contrainte sur le fond de la rivière ( $\text{N/m}^2$ ) ;

$J$  : Perte de charge régulière de l'écoulement ;

$\rho$  : Masse volumique du liquide ( $\text{kg/m}^3$ ) ;

$R_h$  : Rayon hydraulique (m) ;

$g$  : Accélération de pesanteur ( $\text{m}^2/\text{s}$ ).

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

Vu la complexité de mesure, le charriage n'a pas été mesuré, les valeurs utilisées dans la quantification sont inspirées de travaux réalisés en Algérie par d'autres chercheurs.

### I.2.4.3.2 Approches méthodologiques pour la quantification du transport des sédiments

- **Les anciennes méthodes de mesure du charriage et leur examen critique**

Ces méthodes sont de différents genres.

1) **des formules semi-théoriques:** Tout d'abord les chercheurs en tenter de les appliquer aux cours d'eau pour calculer les transports solides qu'ils effectuent par traction sur le fond de leur lit. Mais cette application présente une extrapolation osée et les hydrologues recherchent des méthodes de mesure directe du charriage par prélèvement d'échantillons.

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 :

- **les grillages :** Les nasses présentant ce système de retenue sont celles d'Ehrentberger, de Muhlhofer, d'Einstein, du Service de l'Aménagement de l'Isère (France), du Rijkswaterstaat (Arnhem, Pays Bas);
- **b) Plaque à profil sinusoïdal :** placée au milieu d'un canal, elle provoque une sédimentation d'éléments charriés par l'eau leur de son passage sur cette dernière. Cette conception est celle du Service de la Navigation des Grands Fleuves de Hongrie.

Quel que soit leur type, les nasses de prise en rivière posent des problèmes d'emploi.

-Elles doivent être déposées sur le fond du lit en position horizontale, immergées en position horizontale et parallèlement au courant.

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. Les très gros matériaux mis en mouvement ne peuvent être captés par des nasses. Les nasses de prise en rivière ne peuvent donc donner aucune idée des valeurs paroxysmales possibles du charriage.

**3) Les chicanes** c'est autre solution qui a été portée solutions au problème de la capture des éléments charriés par les cours d'eau en vue de leur évaluation quantitative. Mais les critiques faites à propos des nasses restent entièrement valables pour les chicanes.

**4) Les ouvrages de dessablage** : 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. Mais les matériaux qui peuvent être éliminés limitent 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.

Les résultats de mesures sont jugés bons seulement dans le cas des petites retenues. ainsi 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.

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.

### **1.2.5 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.

#### **I.2.5.1 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.

#### **I.2.5.2 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 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.

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.

#### **I.2.5.3 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.

### ✓ 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 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.

### ✓ 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.

#### - 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, elles pouvant servir de traceurs. 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 absorbés par seulement quelques centimètres d'eau, ce qui oblige à pratiquer des prélèvements.

##### -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. Le chrome (Cr 51) et l'irridium (Ir 192), sont également utilisables.

**\* Utilisation de sédiments artificiels**

**- Inclusion de radio-éléments dans du verre :**

Cette méthode de fabrication consiste à fondre un traceur 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.

✓ **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 :

1)- **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, soit à l'aide d'un moyen photographique selon la nature du rayonnement.

2)-**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  $\gamma$ .

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).

## Conclusion

Il apparait, en passant en revue les méthodes et appareils qui existent actuellement de par le monde pour mesurer l'érosion du sol par l'eau, que presque toutes les phases de ce phénomène peuvent être appréciées.

Un niveau de certitude acceptable peut être atteint en ce qui concerne la mesure, au champ ou au laboratoire, de la détachabilité du sol, la mesure directe sur le terrain de l'ablation subie par le sol, la mesure des transports solides effectués en suspension par les cours d'eau de toutes tailles. Mais bien des recherches restent à être faites pour perfectionner la mesure du charriage bien que, déjà, un aspect important de ce phénomène puisse être étudié : celui de la vitesse de déplacement des éléments charriés.

Étant donné les possibilités actuelles, l'étude de l'érosion hydrique dans l'unité topographique qu'est le bassin fluvial doit comporter la mesure du débit solide, en tout cas en suspension si la mesure du charriage est encore très difficile.

Le débit solide exprime un résultat global de toutes les actions qui se sont produites à la surface du bassin en amont du point de mesure. Mais à la surface d'un grand bassin, les actions locales varient dans l'espace en fonction des valeurs que prennent localement les facteurs de l'érosion. Aussi ne faut-il pas se contenter, pour un grand bassin, de mesurer le débit solide en un point. Il faut effectuer simultanément la mesure du débit solide dans les sous-bassins qu'il comporte, tout en relevant les caractères locaux des facteurs de l'érosion : cartes climatiques, pédologiques, géologiques, topographiques et de la végétation.

La comparaison du débit solide du grand bassin et des débits solides des sous-bassins permet de déterminer d'où proviennent les éléments entraînés et de reconnaître les milieux les plus ou les moins susceptibles à l'attaque hydrique. Si les caractères locaux des facteurs de l'érosion sont connus, des conclusions sur la capacité d'intervention, de ceux-ci dans le phénomène d'érosion hydrique peuvent être tirées.

Mais le débit solide ne fournit pas une mesure exacte des déplacements locaux, qui se produisent sur les versants à la surface du bassin. Il est alors important de mesurer directement sur le terrain l'ablation subie par les sols afin de comparer les dégradations spécifiques des champs et de l'ensemble du bassin dans lequel ils s'inscrivent.

Si l'écart est grand, cela signifie que des mouvements locaux importants existent sans affecter les cours d'eau.

Enfin, le sol peut être fortement battu sans que les particules détachées soient entraînées. La mesure de l'effet du « splash » liée à la mesure de l'érosion dans les champs expérimentaux permet d'apprécier l'importance de ce phénomène.

Cet ensemble de mesures permet une connaissance plus approfondie de l'érosion hydrique et l'établissement plus sûr des plans de lutte anti-érosive ou d'aménagement des bassins versants pour conserver au milieu naturel un niveau de productivité voulu.

Chapitre II  
Présentation de la  
région d'étude

## Introduction

Un régime ne peut être totalement perçu sans une étude préalable aussi fine que possible des conditions physico-géologiques de l'écoulement dont l'interaction complexe détermine l'intensité et la variabilité des phénomènes hydrologiques dans le temps et l'espace. De ce fait, on s'efforcera de montrer dans cette partie les caractéristiques et l'importance relative de chacun des facteurs de l'écoulement envisagés comme suit :

-L'étude du contexte morpho-structural du bassin et des caractéristiques du réseau hydrographique permettra de situer le cadre de réception des eaux précipitées et l'organisation du drainage.

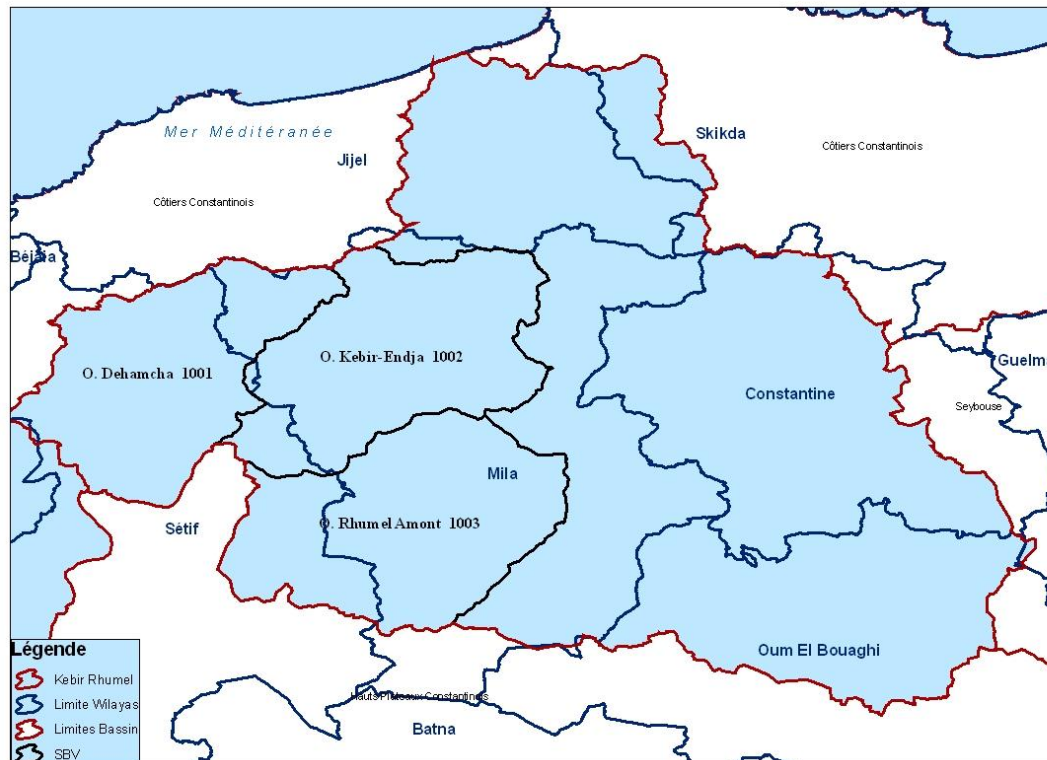
-Les caractéristiques lithologiques des trois sous bassin d'études le 10-01 « Oued Déhamcha-Kébir amont », le 10-02 « Oued Kébir amont-Endja » et le 10-03 « Oued Kébir amont » seront abordées afin de déterminer les possibilités de l'écoulement souterrain en fonction de la capacité de rétention des roches.

-Les facteurs climatiques, phénomènes aléatoires les plus déterminants du comportement hydrologique des cours d'eau et de l'alimentation des nappes, seront plus longuement analysés. Ils interviennent dans l'écoulement essentiellement par les précipitations et par les températures.

-Enfin, la végétation, déterminée en grande partie par les facteurs climatiques, sera également prise en compte, car elle agit sur le ruissellement et l'infiltration des eaux ; de plus, sa plus ou moins faible protection du sol conditionne l'efficacité de l'érosion hydrique.

## II.1 Situation géographique

Notre étude se limite seulement en trois sous bassins le 10-01 Oued Déhamcha-Kébir amont , 10-02 Oued Kébir amont-Enndja et le 10-03 Oued Rhumel amont qui font partie du bassin kébir-Rhumel (bassin numéro10) s'étendant entre la Mer Méditerranée et Les Hautes Plaines Des lacs Sales au Sud, il est juxtaposé aux autres unités hydrologiques recouvrant également Tell et Hautes plaines : le bassin de la Seybouse à l'Est et le bassin de la Soummam à l'Ouest.



*Figure (II.1) : Découpage administratif de la zone d'étude (les 03 sous-bassins) (ABH.Constantine).*

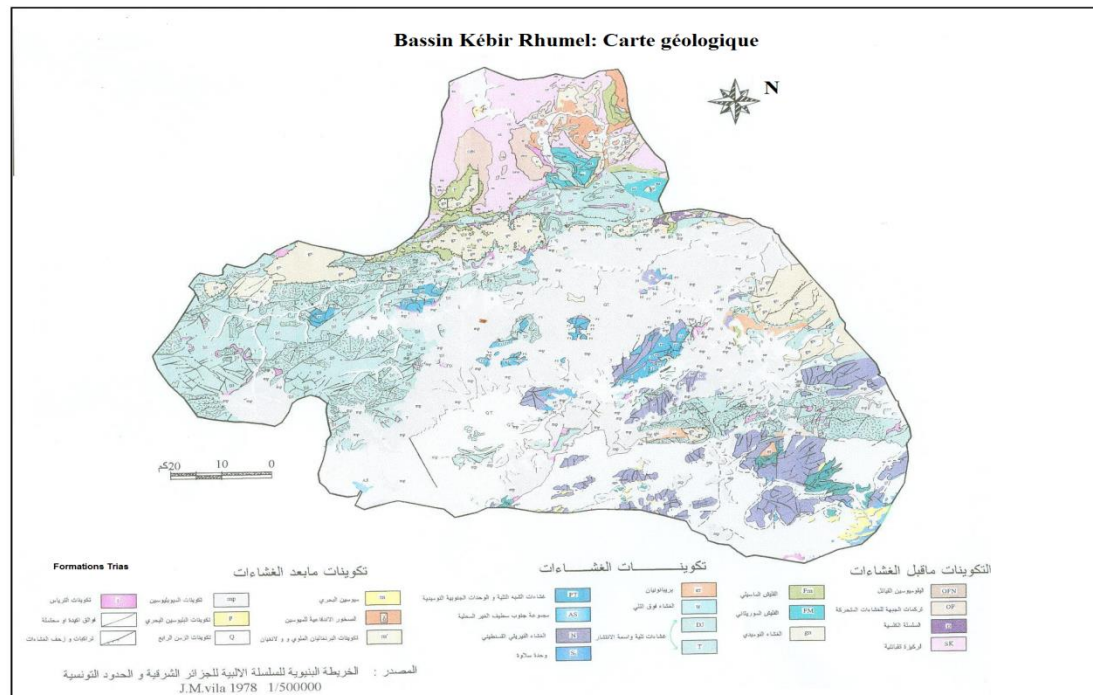
## II.2 Morphologie de la zone d'étude

### II.2.1 Structure géologique de la zone d'étude

Le type de formations géologiques qui affleurent dans les bassins versants a une influence sur la répartition des écoulements superficiels. En effet, un bassin formé de matériaux très perméables avec une couverture végétale continue aura en générale une densité de drainage faible assurant une meilleure infiltration des eaux superficielles. Par ailleurs, un bassin formé de roches imperméables mais meubles et érodables, comme des marnes et des argiles, avec une végétation moyenne, présente souvent une densité de drainage élevée, ce qui favorise le ruissellement des eaux superficielles aux dépend de l'infiltration.

Pour notre zone d'étude on distingue de l'amont à l'aval du bassin : les hautes plaines, le piémont sud-tellien et les massifs telliens du nord (**Figure II.2**) :

- Notre zone d'étude (les trois sous bassins) est presque totalement située dans la partie Nord sud du grand bassin Kébir rhumel situé de part dans le piémont sud tellien et d'autre part dans les massifs telliens du Nord.



**Figure (II.2) : Structure géologique du bassin versant Kébir-Rhumel. (Livre : Ressources en eau et aménagement en Algérie)**

### II.2.1.1 Le piémont Sud-tellien

Il correspond au bassin néogène de Constantine qui se prolonge à l'ouest par la nappe de Djemila.

- **Le bassin néogène de Constantine**

Cette grande dépression mio- pliocène s'étend de Ferjioua à l'ouest jusqu'à Zighoud Yousef, à l'est, est limitée par les hautes plaines, au sud. Il s'agit de basses collines (500- 600 m) aux formes molles, taillées dans un matériel détritique tendre et où un réseau de ravins dense donne au relief un aspect très disséqué.

Ce vaste bassin lacustre comporte quelques reliefs calcaires isolés correspondant à des séries telliennes charriées vers le sud pendant la phase alpine.

Les puissants dépôts continentaux accumulés dans cette dépression sont composés, dans l'ensemble, d'argile où affluent parfois des niveaux conglomératiques rouges et de calcaires lacustres.

- **La nappe tellienne de Djemila**

Le bassin néogène est relayé à l'ouest par des collines dont l'ossature est constituée de séries telliennes connues sous le nom de " La nappe de Djemila ". Cette dernière comporte des formations marneuses ou argileuses d'âge Crétacé supérieur-Eocène dominées par endroits par des séries de calcaires ou de calcaires-marneux.

Dans cette partie sud-tellienne du bassin, la tectonique complexe et la lithologie assez différenciée déterminent, avec l'influence des agents climatiques, des processus morphodynamiques variés et d'autant plus intenses que les pentes sont fortes et le couvert végétal discontinu. Ainsi, le matériel tendre largement répandu aussi bien dans le bassin néogène de Constantine que dans la nappe de Djemila se prête à des phénomènes de solifluxion, de coulées boueuses, de décapage et de ravinement concentré.

L'évolution de ce dernier provoque en maints endroits l'apparition de badlands.

### II.2.1.2 Les massifs telliens du nord

On distingue la chaîne numidique au sud et les massifs anciens de petite Kabylie au nord, dans notre étude on s'intéresse seulement à la chaîne Numidique.

- **La chaîne Numidique :**

D'orientation sensiblement WSW-ENE, elle est composée essentiellement de massifs calcaires jurassiques (Dj. M'sid Aicha, 1462 m ; Dj.Sidi Driss, 1364m, etc...) et de massifs gréseux oligocènes (chainons de Zouagha, 1292 m et des Mouais, 1215 m, Dj. Bou affroun, 1352 m ; Dj.Tamesguida, 1620 m).

Ces reliefs forment une imposante barrière rocheuse qui partage la petite Kabylie d'El Milia au Nord et le pays constantinois au sud.

Les massifs calcaires, affectés par une tectonique complexe, percent en forme d'écaillés d'épaisses couches à dominante marneuse. Ils sont recouverts par endroits par le charriage du socle Kabyle (ex. Dj. Sidi Driss).

La liaison de ces massifs jurassiques de la chaîne numidique avec ceux des Babors, plus à l'Ouest, se fait par une bande de Trias diapir qui jalonne le chevauchement bordier Kabyle sur plusieurs kilomètres.

Les massifs gréseux sont plaqués sur un complexe marneux sénonien-éocène assez tectonisé. Ils ont un aspect stable mais sont impliqués à leur bordure dans des plis violents.

Dans ces secteurs aux pentes fortes, les processus d'érosion ont, selon la nature lithologique des terrains, une ampleur plus ou moins grande. Les phénomènes aboutissant à la formation d'éboulis sont fréquentes ; le détachement de blocs calcaires et surtout gréseux se fait aussi bien par gravité que par glissement. Il n'est pas rare, en effet, d'observer sur le terrain des niches d'arrachement toutes fraîches comme c'est le cas sur les versants situés à l'entrée de la clause Beni Haroun.

D'autre part, la solifluxion est très active dans les secteurs de matériel tendre, en contrebas des corniches de roches dures et d'autant plus accentuée par la présence de sources en amont des versants.

Les sapements des berges des oueds font l'objet d'une activité intense pendant la saison humide ; outre l'élargissement des lits des thalwegs, ils contribuent à l'alimentation des transports solides fluviaux.

### II.2.3 Caractéristiques morpho métriques générales de la zone d'étude

Les différents paramètres morphométriques de la zone d'étude (forme, altitude, pente, relief, etc....) interviennent et souvent d'une façon combinée, dans les modalités de l'écoulement. Ils ont l'avantage de se prêter à une analyse quantifiée, mais l'emploi des méthodes de mesures correspondantes doit être mené avec une prudence vu l'extrême interférence des facteurs physiques et l'influence, parfois prononcée, de certains paramètres qu'il est difficile d'exprimer par des méthodes précises et définies.

Aussi pour que la quantification de cet aspect du milieu physique par le biais de la morphométrie soit rigoureuse et valable, il faut que cette dernière soit appliquée à des bassins de taille réduite et homogène du point de vue géologique. "la morphométrie, écrivait H.Baulig (1959), peut rendre des services appréciables à condition qu'elle se propose des problèmes simples et bien définis. Elle choisira alors comme terrain de très petites étendues aussi homogènes que possible quant à la structure, aux processus en jeu, au stade d'évolution. Des mesures répétées en nombre suffisant pourront se prêter à un traitement statistique susceptible d'éliminer les erreurs d'observations et de dégager, peut-être quelques facteurs dominant...".

Dans le cas de Kébir-Rhumel, la taille importante du bassin versant (8800 km<sup>2</sup> en chiffre rond) et même celle des bassins partiels contrôlés par des stations hydrométriques ainsi que sa complexité géologiques, notamment dans sa partie Nord, rendent une telle étude fort délicate. Aussi, l'échelle de travail adoptée correspondant au 1/200 000 ne permet-elle pas d'affiner les mesures des paramètres morpho métriques susceptibles d'identifier le bassin et ses divers unités et de comparer ces derniers entre elles, sans pour autant prétendre en tirer des conclusions exhaustives.

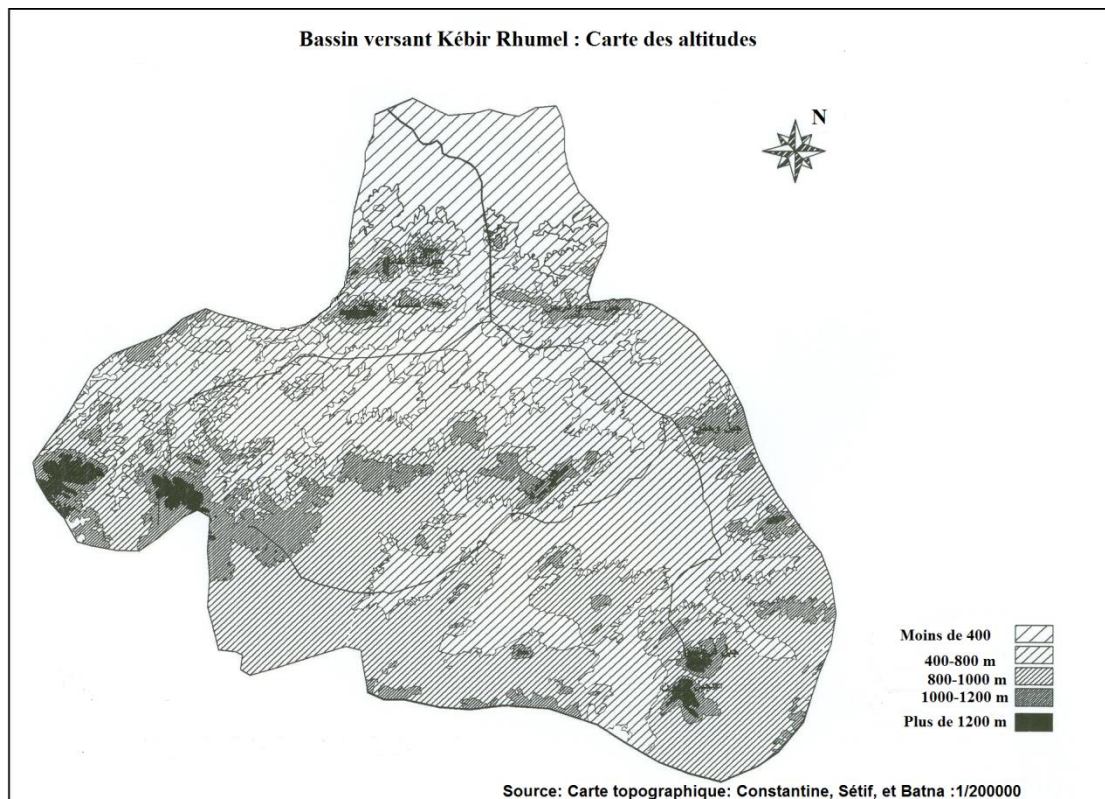
### II.2.3.1 Superficie, altitude et forme des unités hydrologiques

- **Superficie**

Avec une planimétrie de 8795 km<sup>2</sup> (8815 km<sup>2</sup> selon les données de la ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydriques). Le bassin de Kébir-Rhumel se compose, selon les délimitations orohydrographiques retenues par l'ANRH, de sept sous-bassins dont les limites sont reportées sur la carte du Découpage administratif de la zone d'étude (**Figure II.1**). Dans notre étude nous nous sommes intéressés seulement par les trois sous-bassins le 10-01 dénommé : "Oued Déhamcha-Kébir amont" avec une superficie de 1067 Km<sup>2</sup>, le 10-02 dénommé : "Oued Kébir amont-Endja" avec 1102 Km<sup>2</sup> et le 10-03 "Oued Rhumel amont" avec 1230 Km<sup>2</sup>. Donc notre zone d'étude est d'une surface totale de 3399 Km<sup>2</sup>.

- **L'altitude moyenne**

L'altitude moyenne du bassin Kébir-Rhumel, calculée à partir des courbes hypsométriques (figure II.4) est de l'ordre de 738 m. La répartition par tranches d'altitude de la superficie des bassins est plus significative que celle moyenne, ressort nettement des courbes hypsométriques, elle est par ailleurs, visualisée par le diagramme de fréquences altimétriques établi pour le bassin de Kébir-Rhumel dans son ensemble. Il s'avère que les secteurs, d'altitude supérieure à 1200 m, sont très peu étendus dans le bassin ; ils correspondent à des massifs montagneux importants. Pour notre zone d'étude ce sont les sommets des Djebels Tamesghida qui appartiennent à la chaîne numidique (massifs telliens du nord) et celles de Sidi Mimoun qui appartiennent à la Nappe tellienne de Djemila (Piémont sud tellien) qui dépassent 1600 m d'altitude. On a aussi, les secteurs, d'altitude inférieure à 600 m, représentant un peu plus du quart (26,2%) de la superficie totale du bassin représentée dans notre zone d'étude par les basses collines (500-600 m) situées dans le bassin néogène de Constantine (le piémont sud tellien).



**Figure (II.3) :** Carte des altitudes moyennes de la zone d'étude. (Livre : *Ressources en eau et aménagement en Algérie*)

- **La forme des trois sous-bassins**

La forme du bassin qui peut être traduite par l'indice de compacité de Gravelius a également une influence certaine sur l'écoulement ; elle détermine dans certaine mesure, l'allure de l'hydro gramme de crue : un bassin très allongé ne réagira pas toutes choses égales d'ailleurs, de la même manière qu'un bassin de forme ramassée (M. Roche, 1963). La valeur de l'indice de compacité des trois sous-bassins permet de montrer que le bassin de l'Oued Kébir amont (Oued Endja) à Douar Tassadane dont l'indice de forme reste assez faible ( $c = 1,14$ ). Ce qui traduit une compacité assez élevée.

Il n'en demeure pas moins que le bassin du Kébir Rhumel présente, dans l'ensemble, une forme assez ramassée favorisant, à priori, le temps de concentration des eaux de ruissellement. Mais l'influence du relief est encore plus déterminante.

- **Indice de pente et relief**

Le relief joue un rôle capital dans la plus ou moins grande aptitude au ruissellement des terrains. Son appréhension peut être faite à l'aide de l'indice de pente global  $I_g$  qui est plus simple à calculer que l'indice de pente  $I_p$  de Roche bien connu chez les hydrologues ; il peut d'ailleurs le remplacer dans la mesure où cet indice simple étroitement corrélé avec  $I_p$ . L'estimation de la dénivelée  $D_n$  étant pas précise en raison de l'échelle des cartes (1 /200 000) faisant l'objet de ce travail.

L'indice de pente global  $I_g$  donné par la relation :  $I_g = D / L$  Où,

$I_g$  : indice globale de Roche

D: dénivelée (m).

Toutefois, les résultats permettent de montrer que la zone d'étude peut être rangé dans la classe de relief fort (Douar Tassadane). Ces valeurs traduisent bien d'ailleurs l'importance du volume montagneux et la forte incision du relief dans ce secteur.

**Tableau (II .1) : Caractéristiques morpho-métriques des trois sous-bassins (Livre : Ressources en eau et aménagement en Algérie)**

Bassin	Surface "A"	Périmètre "P" (Km)		Altitude moyenne (m)	Altitude minimale (m)	Altitude maximale (m)	(c)	I <sub>g</sub> (m/Km)	Classe de relief
		Réel	stylisée						
Oued Rhumel à Grarem	5293	374	314	806	150	1729	1,21	14,1	Relief modéré
O.El Kébir amont à Douar Tassadane	936	150	125	929	380	1662	1,14	35,3	Relief fort
Oued Rhuml à O.Athmenia	1130	156	140	913	700	1276	1,17	11,3	Relief modéré

avec : **I<sub>g</sub>** : indice de pente global.

**c** : Indice de compacité.

### II.3 Le réseau hydrographique : ses caractéristiques morpho métriques et son inadaptation à la structure

La disposition du réseau hydrographique est liée en grande partie à l'évolution des phénomènes structuraux qui ont affecté la région au cours des temps géologiques.

Le chevelu hydrographique suit pratiquement les accidents importants qui ont affecté les formations carbonatées du Jurassique et se modifie avec l'évolution de la tectonique.

Les paramètres importants qui régissent le régime hydrologique d'un cours d'eau sont : la densité de drainage (Dd), le rapport de confluence (Rc) et le rapport des longueurs (Rl).

- **Densité de drainage**

La densité de drainage est définie par :

$$Dd = \Sigma L / A$$

Où,

Dd : densité de drainage en (km/km<sup>2</sup>) ;

L : longueur cumulée de tous les thalwegs du bassin en (km) ;

A : aire du bassin en (km<sup>2</sup>).

Les plus petites valeurs de densité de drainages correspondent aux plus grands sous bassins.

L'importance du drainage est dû principalement à la nature des formations qui forment la zone d'étude ainsi qu'aux pentes assez fortes des versants d'une part et d'autre part au régime climatique.

Les valeurs de la densité de drainage sont faibles dans la région des plaines: en raison d'une part à des pentes faibles auxquelles s'ajoute la faible abondance des précipitations, une évapotranspiration élevée et d'autre part, de la perméabilité non négligeable des formations lithologiques.

- **Rapport de confluence** : Il est défini par :  $Rc = Nn / N(n+1)$

Où,

$Rc$  : rapport de confluence.

$Nn$  : nombre de cours d'eau d'ordre  $n$ .

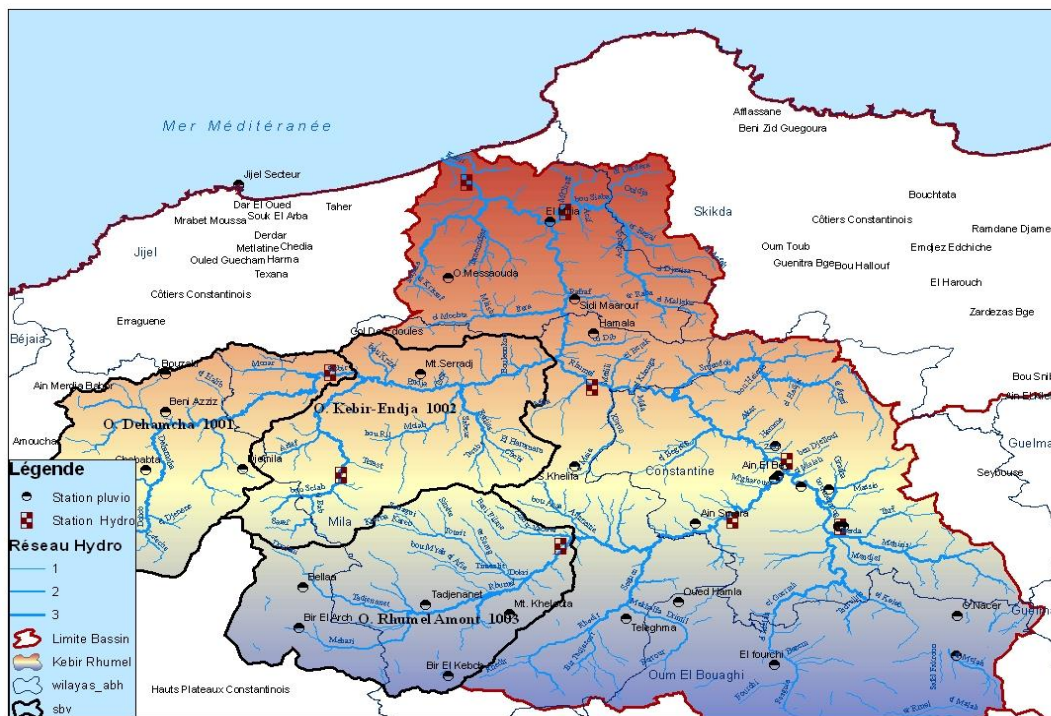
Pour des bassins parfaitement organisés  $Rc = 2$ ;

- **Rapport des longueurs**

La définition est la suivante :

$$R_L = L_{(N+1)} / L_N$$

$L_N$  : longueur de cours d'eau d'ordre  $n$ .



**Figure (II.4)** : Réseau hydrographique + stations pluviométrique et hydrométriques situées dans la zone d'étude. (ABH de Constantine).

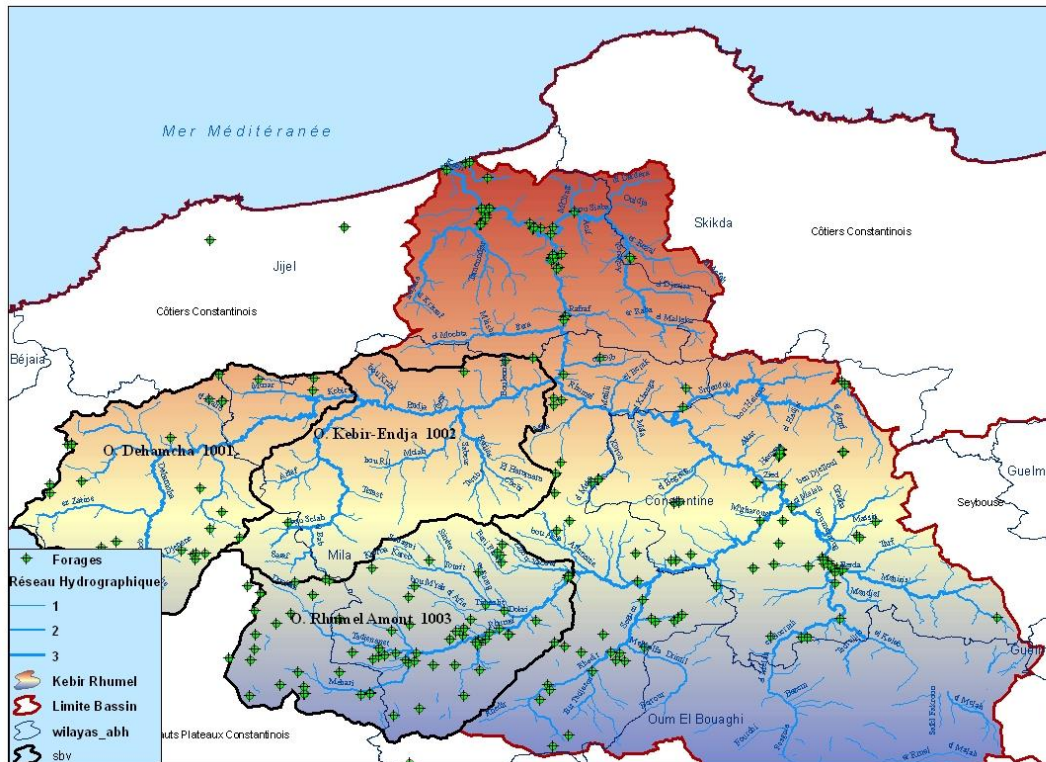


Figure (II.5): Situation des forages dans la zone d'étude. (ABH de Constantine).

### II.3.1 Le tracé d'ensemble et les modalités de drainage

#### II.3.1.1 Représentation

Le bassin du Kébir-Rhumel résulte de la jonction de deux cours d'eau importants : l'Oued Rhumel et l'Oued Enndja dont la confluence donne naissance à l'Oued El Kébir. Une partie (oued enndja) de ce dernier est le sujet de notre étude, l'Oued Kébir draine une superficie de 2160 Km<sup>2</sup>.

L'Oued Enndja est formé à l'amont par la confluence de l'Oued Dehamecha et l'Oued Menaâ, le premier prenant sa source au seuil des Hautes Plaines, au Nord d'El Eulma (cote 890 m), le second aux environs d'Ain El Kébir, dans les massifs de petite Kabylie (cote 800 m environ). A l'instar de la haute vallée du Rhumel, il suit une direction SW-NE, mais cette fois, à travers les reliefs montagneux du Tell, parallèlement à la chaîne numidique qui le borde au Nord. L'Oued Enndja ne reçoit pas d'affluents importants sur sa rive gauche, mais sur sa rive droite, il collecte les eaux des Oueds Rarama (ou Djemila), Bou Saleh, Redjas el Melah.

Enfin, l'Oued El Kébir résultant de la jonction des deux grands cours d'eau précédents, prend d'abord une direction Sud-Nord et franchit rigoureusement la chaîne numidique (massifs du Zouagha, de Msid Aïcha, de Sidi Driss et de Mouled Demamène). Ensuite, suivant une orientation SE-NW il traverse les massifs de la petite Kabylie d'El Milia et de Collo et s'écoule dans une large vallée vers la mer Méditerranée. Dans cette partie de son cours, l'Oued El Kébir reçoit en rive droite, l'Oued Bou Saïba et en rive gauche, l'Oued Irdjana.

De cet ensemble, il est possible de délimiter trois grandes parties de bassin s'identifiant plus ou moins aux grands domaines morphostructuraux dont il a été déjà question. (Figure II.1) :

- ✓ **Le bassin supérieur** correspondant à l'Oued Rhumel et l'Oued Bou Merzoug jusqu'à leur confluence à l'amont de Constantine.
- ✓ **Le bassin moyen** formé par l'Oued Enndja et l'Oued Rhumel inférieur- à l'aval de Constantine- jusqu'à leur confluence aux environs de Sidi Mérouane.
- ✓ **Le bassin inférieur** correspond à l'Oued El Kébir, à l'aval de la confluence Enndja-Rhumel.

### II.3.1.2 Types et densités de drainage

La disposition du réseau hydrographique est semblable dans une bonne partie du bassin moyen, notamment au niveau de l'Oued Enndja où l'influence de la tectonique a été déterminante dans la mise en place du réseau. Dans ces secteurs accidentés, la fréquence élevée des confluences et la forte densité de drainage, jointes le plus souvent de fortes pentes, favorisent des crues rapides et puissantes.

Pour affiner l'analyse nous avons effectué des calculs de la densité de drainage permanent et temporaires, les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau (II.2) : densités de drainage. (Livre : Ressources en eau et aménagement en Algérie)**

Sous Bassin	$D_d$	$D_{dp}$	$D_{dp}/D_d$	$D_{dt}$	$D_{dt}/D_d$ (en%)
Rhumel à Grarem	0,70	0,31	44	0,39	56
El Kébir-amont à Douar Tassadane	0,77	0,48	62	0,29	38

$D_{dp}$  : densité de drainage permanent.

$D_d$  : densité de drainage temporaire.

$D_{dt}$  : densité de drainage totale (du b.v).

La densité de drainage reste en moyenne assez faible dans le bassin de l'Oued Rhumel à l'amont de Grarem, vu l'influence du cours supérieur drainant les Hautes plaines. Avec une valeur sensiblement inférieure à une pluviométrie plus atténuée et à une perméabilité des roches (marnes, calcaires marneux, calcaires) moins faible, le bassin à l'amont de Douar Tassadane reflète approximativement la moyenne de la densité de drainage permanent de l'ensemble du bassin Kébir Rhumel.

Nettement opposées aux valeurs de la  $D_{dp}$ , les valeurs de la densité de drainage temporaire  $D_{dt}$  viennent également confirmer les nuances régionales déjà soulignées en fonction des conditions pluviométriques et lithologiques propres au bassin considéré.

### II.3.1.3 Profils en long

Les profils en long de la cour d'eau permettent d'apporter des éléments complémentaires à la densité de drainage, au vu du rôle déterminant des pentes des talwegs sur le ruissellement superficiel et surtout sur les vitesses d'écoulement lors des crues.

La décroissance des pentes des affluents telliens se fait de façon irrégulière ; les pentes exceptionnellement élevées dans leur partie amont ne sont réalisées que sur des brefs secteurs et sont à l'origine de crues rapides qui ont une influence directe sur le renforcement des crues de l'Oued Kébir-Rhumel, notamment au niveau de son cours d'eau inférieur.

### II.3.2 Lithologie et capacités de rétention souterraine de la zone d'étude

La lithologie joue un rôle important sur le ruissellement, l'infiltration, l'érosion et le transport solide. Les matériaux géologiques se distinguent en formations meubles (sables, argiles, marnes) ou en formations consolidées (grès, calcaires, dolomies,...). La nature des affleurements a une influence sur l'hydrologie de surface et le type du dépôt alluvionnaire.

Dans ce chapitre, nous allons présenter brièvement une description des formations rencontrées au niveau des trois sous-bassins qui font l'objet de cette étude en essayant de mettre leur impact sur l'hydrologie.

Après avoir esquissé les principaux aspects morpho structuraux et orohydrographiques de la zone d'étude, en vue de déterminer les possibilités de l'écoulement souterrain, on va essayer ici d'en préciser les caractères lithologiques.

Aussi, la composition chimique des roches dont la connaissance est indispensable à l'étude de l'altération chimique actuelle et ses conséquences directes sur les transports en solution n'a pas fait, jusqu'ici, l'objet d'études systématiques ; les analyses chimiques existantes concernent plus particulièrement les massifs cristallins (M. Roubault in J.Bolfa et al. ,1952).

Le rôle des formations superficielles et des sols dans l'écoulement de surface et subsuperficiel (ou hypodermique) ne saurait être également négligé. Bien que leur perméabilité intervienne généralement de façon secondaire, leur influence parfois contradictoire, sur la perméabilité de sous-sol reste évidente.

#### II.3.2.1 La répartition des zones de perméabilité dans les trois sous- bassins

Du tableau (II.3), en se référant parallèlement à la carte II.3, on relève en premier lieu la prédominance au niveau de l'ensemble des trois sous-bassins des terrains à perméabilité moyenne ou faible ( $P_3$ ) qui sont représentées en majorité par les formations mio-pliocènes continentales, aussi les formations quaternaires de vallées et de plaines (S).

Outre la classe  $P_5$ , représentée surtout par les marnes du Crétacé-Eocène des nappes telliennes et qui occupe une surface non négligeable, les autres formations (calcaires, grès et roches métamorphiques) représentent une part respective assez faible. La classe  $P_7$  correspondant aux granites est de loin la moins étendue.

Le bassin à l'amont de Douar Tassadane offre des possibilités d'infiltration légèrement moins faibles. Les matériaux dits à aquifère drainé (alluvions quaternaires et grès numidiens) ; ils restent limités par rapport aux séries à prédominance marneuse du Crétacé-Eocène et Mio-Pliocène. Les calcaires marneux ou à intercalations marneuses affleurant dans ce bassin, possèdent des possibilités d'accumulation en eaux souterraines certaines, mais leur forte disposition ne leur permet pas de former un réservoir aquifère important.

**Tableau (II.3) : Zones lithologiques et zones de perméabilité (Livre : Ressources en eau et aménagement en Algérie)**

Zones lithologiques et de perméabilité	B.v du Rhumel à Grarem	B.v du Kébir-amont à Douar Tassadane
-Zone perméable à aquifère drainé -S-formation superficielles -P <sub>2</sub> -Grés	39,4 3,8	15,0 4,1
-Zone à perméabilité moyenne ou faible -P <sub>3</sub> -formation alternées de marnes, argile, grés, calcaires et calcaires marneux etc.	39,6	48,4
-Zone perméable en grand P <sub>4</sub> -calcaires fissurés plus ou moins karstiques	10,0	-
-Zones relativement imperméable -P <sub>5</sub> -marnes, argiles à blocs, flyshs... -P <sub>6</sub> -formations métamorphiques à dominante de micashistes	7,2 -	32,5 -
-Zones à perméabilité liée à l'altération en arènes P <sub>7</sub> -Ganites	-	-

#### II.4 Les principales formations lithologiques et leurs capacités aquifères

Pour décrire les principales formations lithologiques et préciser leurs capacités aquifères, il convient de les regrouper en deux grands ensembles lithologiques et hydrogéologiques en tenant compte à la fois de la perméabilité d'interstices et/ou de fissures des roches et de leur extension permettant l'accumulation des eaux souterraines. Ainsi, on distinguera : les formations à forte et à faible capacité souterraine de rétention. L'étude purement hydrologique des nappes et des sources ainsi que leur influence sur l'écoulement superficiel sera envisagée dans la partie précédente.

La figure (II.6) illustre les diverses formations lithologiques reconnus au niveau de la zone d'étude.

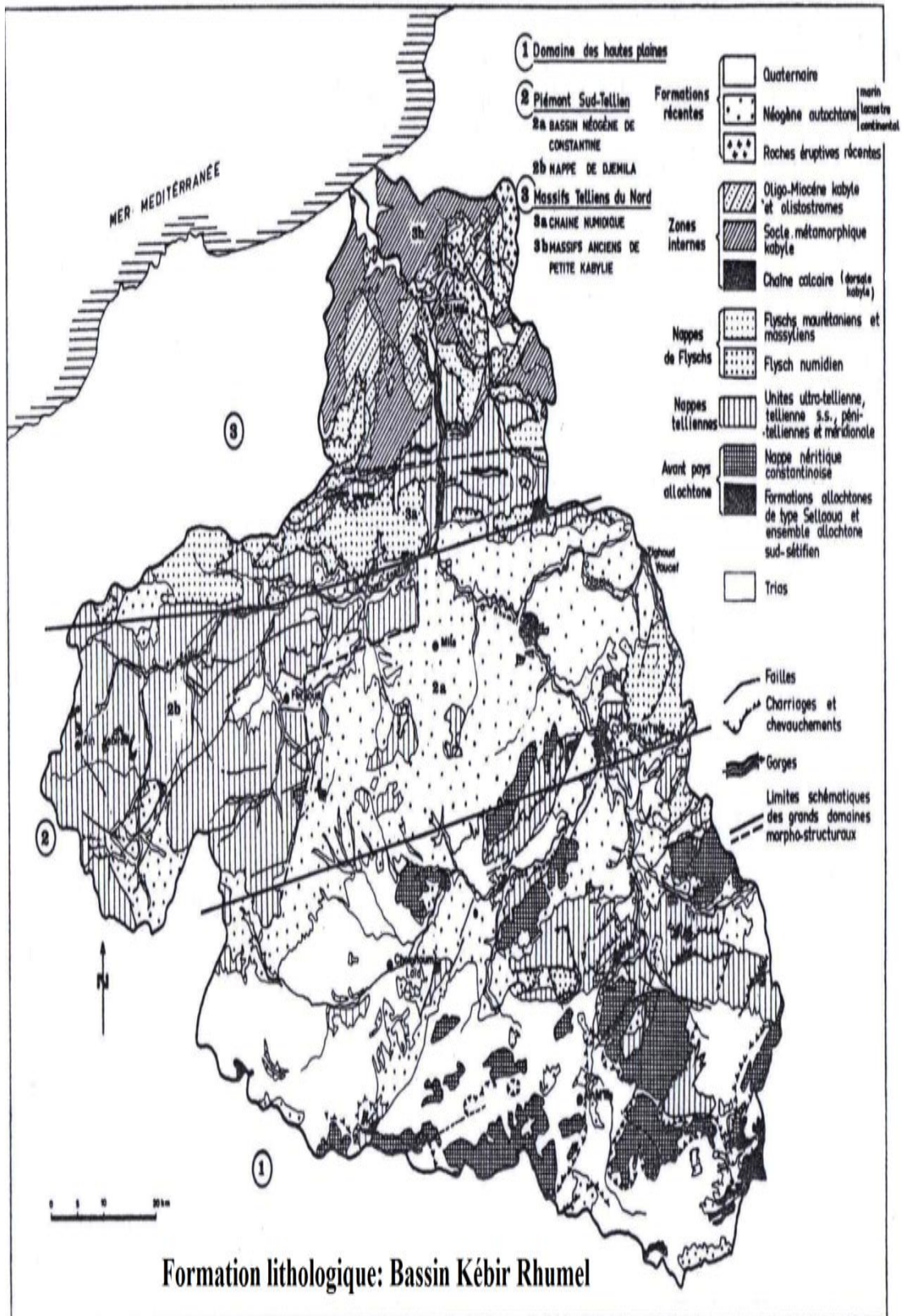


Figure (II.6) : Les principales formations lithologiques –Bassin Kébir Rhumel- (livre : Ressources en eau et aménagement en Algérie).

#### II.4.1 Les formations à forte capacité de rétention souterraine

On regroupe sous cette rubrique les roches réservoirs calcaires, les formations quaternaires et les formations gréseuses. Il s'agit là d'ensembles lithologiques fort différents tant ce qui concerne leur structure physique, que leur composition chimique, mais ils ont pour caractère commun une capacité d'accumulation en eau plus ou moins élevée, surtout en ce qui concerne les massifs calcaires donnant lieu à des résurgences karstiques. Ainsi, il semble intéressant d'aborder en premier lieu l'étude de ces formations calcaires et de leur consacrer un développement particulier.

##### II.4.1.1 Les réservoirs calcaires

Les massifs méridionaux : présentent, quant à eux, un karst superficiel très développé ; de nombreux avens constitués d'un puits unique vertical dont la profondeur varie de 10 et 30 m y ont été explorés. Ces avens correspondent à des cavités typiquement vadoses, creusées par la corrosion des eaux d'infiltration le long des diaclases et par de multiples petits éboulements (P.E. Coiffait et al. 1975).

Les massifs en questions donnent lieu à plusieurs émergences, thermiquement normales et d'une abondance remarquable (Sources du Bou Merzoug : 400 l/s, Fourchi : 200 l/s, Ain Fesguia : 90 l/s).

Quant aux séries du Suessonien localisées en bonne partie dans le bassin de l'Oued Enndja, elles sont représentées surtout par des calcaires marneux à silex dont la puissance atteint en moyenne 300 m. La série des calcaires marneux du Crétacé (Albien, Vraconien et Cénomaniens basal) se développe sur près de 600 à 700 m d'épaisseur.

Enfin, les calcaires à alternance marneuses du Sénonien supérieur, présentent des variations de faciès notables, notamment du Nord au Sud de la nappe de Djemila. Leur épaisseur peut atteindre 250 m. L'ensemble de ces formations fracturées donnent lieu à plusieurs sources dont le débit tourne en moyenne autour de 10 l/s. Dans l'ensemble, ces roches-réservoirs ne constituent pas un aquifère important, leurs ressources étant, en effet, assez dispersées.

##### II.4.1.2 Les formations à faibles capacité de rétention souterraine

Cet ensemble regroupe séries à dominance argileuse ou marneuse du Mio-pliocène continental et Crétacé-Eocène qui sont les plus largement représentées.

L'ensemble des roches concernées ont une faible perméabilité d'interstices ou de fissures, ne déterminant donc pas d'aquifères notables. Cependant, compte tenu de leur caractère lithologique particulier, certaines formations méritent d'être brièvement analysées.

###### II.4.1.2.1 Les formations à dominance argileuse ou marneuse

C'est la série du Mio-Pliocène composée essentiellement d'argiles, de marnes parfois gypsifères, de calcaires lacustres, de conglomérats et de grès, qui mérite l'attention au vu de son extension considérable et son aspect hydrogéologique assez particulier. Cette série est très irrégulière, à la fois dans son épaisseur et dans ses faciès. La porosité efficace y est en moyenne très faible, mais en raison des niveaux travertineux (calcaires lacustres) qu'elles comportent, ces formations possèdent des possibilités d'infiltration dans des secteurs localisés se traduisant par des points d'eau dispersés (les sources de Marchau)- alimentant la ville de Mila ont un débit global d'environ 13 l/s).

La puissance des calcaires lacustres varie entre 50 et 100 m dans la région de Sidi Mérouane (D. Delga, 1955) ; elle atteint environ 70 m autour du massif du Kheneg (D Deleau, 1952).

**II.4.1.2 .2 Les formations quaternaires**

On considère ici aussi bien les alluvions récentes formées le long des oueds que les terrasses, les formations de pente, les glacis souvent encroûtés et les croutes calcaires du Quaternaires ancien (Villafranchien).

Bien que leur épaisseur soit généralement faible, ces formations ont une extension spatiale considérable (près de 2500 Km<sup>2</sup>), ce qui détermine des nappes phréatiques plus ou moins continues et facilement exploitables. Elles sont largement répandues dans la zone des hautes plaines, paradoxalement là où les précipitations sont faibles

Selon G. Durozoy, le coefficient d'infiltration concernant ces formations serait de 4% ; mais cette évaluation doit être nuancée, compte tenu de l'hétérogénéité granulométrique des matériaux qui peuvent être aussi bien à dominante grossière qu'à dominante fine, ou bien les deux en même temps, telles les alluvions récentes formées à la fois de limons, de graviers et de galets roulés.

Les nappes localisées au niveau des vallées sont étroitement liées aux cours d'eau et ont une influence directe sur le régime hydrologiques, alors que les nappes phréatiques des plaines de remblaiement quaternaires sont, en partie, en relation avec les massifs calcaires étudiés plus haut ; mais l'alimentation de ces dernières reste surtout tributaire des précipitations atmosphériques. Ces nappes proches de la surface du sol sont soumises à l'évapotranspiration dont les effets se traduisent par la salure des eaux. La contamination en sels des nappes est par ailleurs provoquée par le lessivage des terrains percolés.

**II-5 Les facteurs climatiques et leur variabilité**

Selon Seltzer (1946), le climat de l'Algérie est de type méditerranéen caractérisé par une période pluvieuse allant en moyenne de Septembre à Mai et un été sec et ensoleillé. L'Atlas tellien joue le rôle d'un rempart qui provoque la condensation et les précipitations d'une partie de la vapeur d'eau amenée par les vents soufflant de la mer. L'altitude entraîne une diminution générale de la température, l'éloignement de la mer, une augmentation des amplitudes diurnes et annuelles.

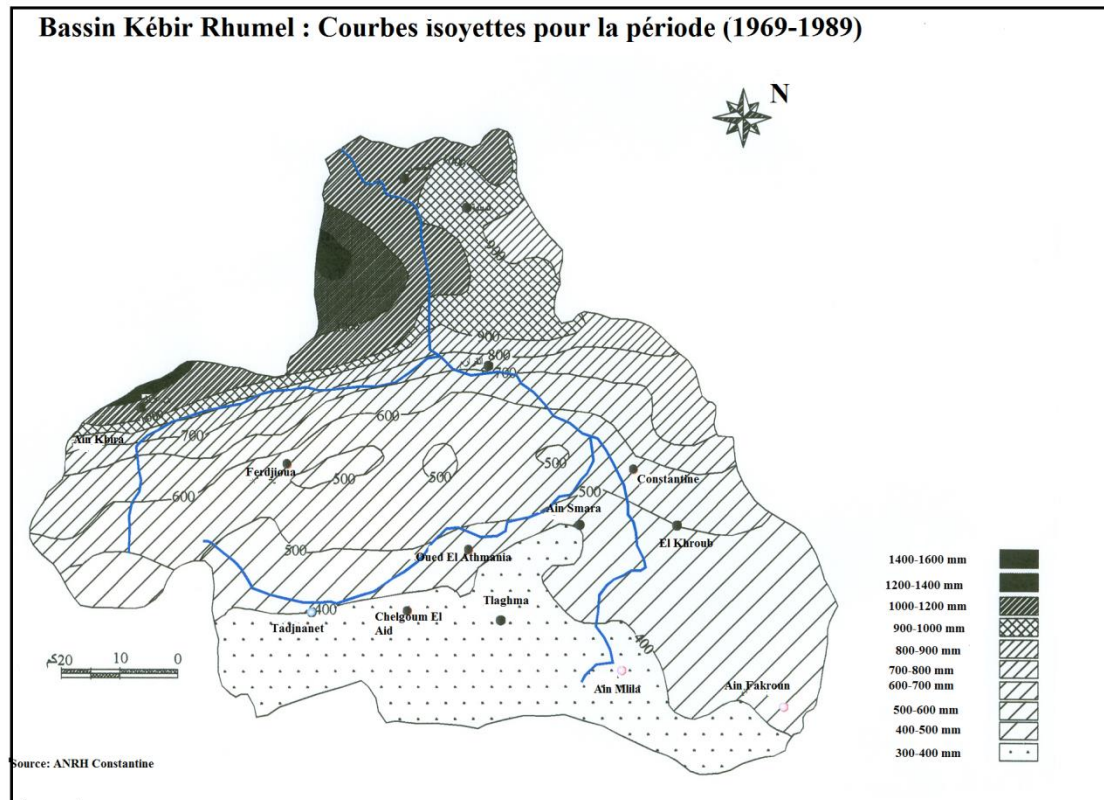
Malgré l'insuffisance et parfois le manque de fiabilité de certaines données statistiques ainsi que la faible densité du réseau d'observations météorologiques, une analyse des traits fondamentaux du climat méditerranéen de la zone d'étude et ses irrégularités spatio-temporelles sera tentée à partir de la documentation que nous avons pu collecter.

Nous allons citer dans ce qui suit les principaux caractères des précipitations et l'importance de leur variabilité quant à l'alimentation des cours d'eau et des nappes. Malgré le caractère fragmentaire des mesures, les caractéristiques thermiques de la zone d'étude seront esquissées en soulignant plus particulièrement l'importance de la saison sèche et donc l'effet déterminant de l'évapotranspiration, paramètre essentiel du déficit de l'écoulement.

Enfin, nous rappellerons les mécanismes météorologiques généraux qui déterminent les types de temps caractéristiques régnant sur la région. Ceci est indispensable pour la compréhension des éléments de climats qui, souvent agissent dans le même sens sur le comportement hydrologique des trois sous- bassins.

### II.5.1 Les précipitations et leur variabilité

Pour les données pluviométriques nous nous disposons d'une série suffisante s'étalant sur une période de 30 ans allant de 1970 à 2010.



**Figure (II.7) :** Courbes isohyètes des précipitations bassin versant Kébir Rhumel –ANRH-Constantine.

#### II.5.1.1 Critique et homogénéisation des données pluviométriques

Plus encore que les facteurs morphologiques, lithologiques et biogéographiques, les conditions climatiques du bassin versant jouent un rôle capital dans le comportement hydrologique des cours d'eau (Roche 1963, Cosande, 2001...). Ce sont les précipitations, surtout liquides, qui constituent le facteur essentiel intervenant par :

- leur hauteur totale annuelle qui détermine l'abondance fluviale,
- 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 cités plus haut et climatiques (températures et évapotranspiration). Mais, contrairement aux paramètres proprement physiques qui permettent une interprétation seulement qualitative du comportement hydrologique des bassins, les précipitations et les facteurs climatiques dans leur ensemble, variables aléatoires dans le temps et l'espace, permettent d'expliquer quantitativement les variations des composantes du régime hydrologique dans sa conception la plus large.

### II.5.1.2 L'état du réseau pluviométrique

En plus de l'hétérogénéité des séries d'observations, le réseau pluviométrique est inégalement réparti (**Figure II.4**).

La quasi-totalité des postes qui fonctionnent actuellement ont été installés, depuis l'année 1967/68, à la suite de la restructuration du réseau pluviométrique entreprise par l'A.N.R.H. Les courtes séries correspondantes sont très discontinues et ne peuvent donc être exploitées entièrement. C'est pourquoi 10 postes seulement ont été retenus dans l'étude des relations pluie- débit de la période 1973-2003 pour notre zone d'étude (les trois sous-bassins). Ces 10 postes sont répartis comme suit selon la carte du réseau hydrographique+ stations pluviométrique et hydrométriques (**Figure II.4**) :

- 4 postes pour le sous-bassin 10-01 "Dehamcha" ;
  - 1 poste pour le sous bassin 10-02 "Kébir Enndja" ;
  - 5 postes pluviométriques pour le sous bassin 10-03 "Rhumel Amont".
- La zone est équipée de 03 pluviographes.

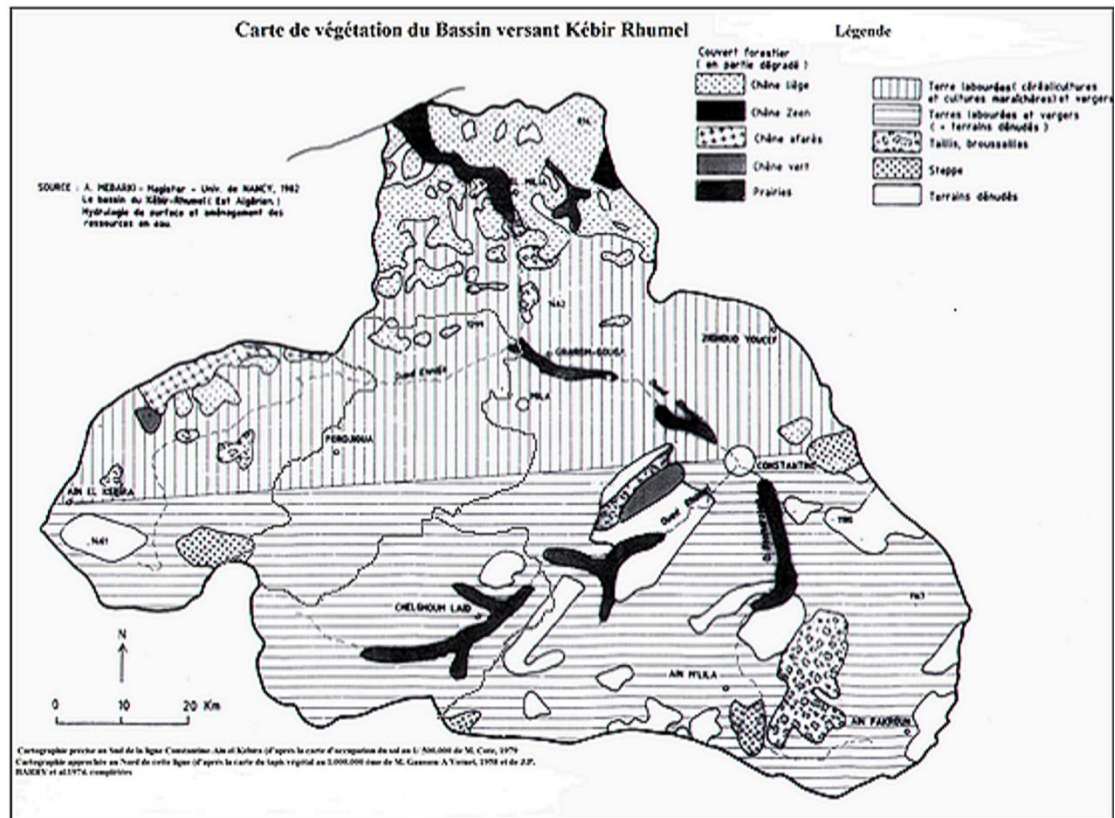
Par ailleurs, vu la qualité médiocre des observations, les données ne sont pas toujours dépourvues d'erreurs. De plus, d'une gestion systématique du réseau, les observations de plusieurs postes ont cessé après seulement quelques années de fonctionnement. Il faut noter également que les pluviographes dont la mise en place est dans l'ensemble postérieure à 1972 demeurent en nombre très limité ce qui porte un préjudice à l'étude des averses ou épisodes pluviaux.

D'autre part l'emplacement de certains postes ne respecte pas toujours les normes scientifiques relatives au choix du site. Théoriquement les meilleurs sites sont ceux dégagés d'obstacles (constructions, forêts, plans d'eau...) ; en principe, le poste doit être situé à une distance égale au moins à quatre fois la hauteur de l'obstacle. Toutefois, selon des études récentes de (G. Marie, 1977), il s'avère que les bons sites de mesures correspondent aux lieux qui offrent à l'appareil un abri par rapport aux vents pluvieux dominants lesquels, généralement, détournent la pluie de la surface réceptrice du pluviomètre et ce, d'autant plus qu'ils sont violents. A cet effet, on est appelé à orienter l'implantation des stations pluviométriques dans des zones de vergers.

## II.6 Le couvert végétal et sa discontinuité spatiale dans la zone d'étude

La végétation est la résultante des facteurs physico-géographiques étudiés précédemment : climat, relief, lithologie auxquels s'ajoute le facteur humain (défrichement et mise en culture, reboisement). Son rôle dans l'écoulement ne saurait être négligé ; il s'exerce dans la zone d'étude de façon souvent contradictoire par rapport à celui des autres paramètres naturels précités.

De ce fait, outre l'analyse de la répartition géographique des formations végétales, leurs divers types et leur par respectives, il est nécessaire d'envisager leur action sur le ruissellement mais également sur la protection du sol vis-à-vis de l'érosion hydrique et donc du transport de troubles.



**Figure (II.8) :** Couverture végétale –Bassin versant Kébir Rhumel. (*Livre : Ressources en eau et aménagement en Algérie.*)

## II.6.1 Types de végétation et leur répartition géographique

### II.6.1.1 Classification des types de végétation

Dans une optique hydrologique, la végétation n'est pas à considérer sous son aspect botanique ou phytogéographique mais sous son aspect de couverture de sol, plus ou moins modifiée par l'homme. C'est, en fait, la densité d'occupation du sol qui intervient comme élément de différenciations tant au niveau de l'écoulement qu'au niveau de la dégradation des sols. Il a semblé, par conséquent, utile d'adopter la classification des types de végétation par ordre de densité ou d'efficacité décroissante, proposée par J. Tricart (1963, 1968). Son application aux sous-bassins a permis de distinguer :

- 1) **Surfaces bien protégées** en permanence, donc défavorable au ruissellement et à l'érosion hydrique : forêts (en partie dégradées), prairies naturelles et artificielles permanentes.
- 2) **Surfaces protégées incomplètement** par la couverture végétale ou les averses tombant sur les parties du sol non protégées peuvent engendrer un ruissellement plus ou moins violent et exercer une érosion plus ou moins importante. Y sont distinguées :
  - La couverture végétale laissant le sol partiellement nu en permanence entre les plantes : vergers ;
  - La couverture végétale n'occupant densément le sol que pendant une partie de l'année ou couverture "saisonnier" : terres labourées (céréales, cultures maraîchères...).
- 3) **Surface mal protégées ou nues** où le ruissellement et l'érosion hydrique sont largement favorisés : terrains dénudés, steppe, taillis et broussailles à faible densité.

Compte tenu de l'état des données statistiques et des documents cartographiques disponibles, l'approche numérique de l'extension de ces types d'occupation du sol doit différer quelque peu de l'approche cartographique :

### II.6.2 Approche numérique

Les pourcentages correspondant aux superficies couvertes par les différents types de végétation sont calculés d'après les statistiques agricoles relatives aux communes ou parties de communes concernées par les Trois sous-bassins. Ces données sont réparties sur 15 types d'occupation de sol que l'on regroupe selon les grandes catégories de végétation indiquées ci-dessous. Cependant, la rubrique forêts-maquis relevant de ces statistiques agricoles ne s'intègre pas complètement dans la catégorie 1) du classement adopté du fait que certains secteurs de broussailles sont comptés comme forêts-maquis. Aussi, ces statistiques ne permettent-elles pas de distinguer dans la catégorie 3) les terrains dénudés steppe et des broussailles et taillis.

**Tableau(II.4) : Répartition en % des types d'occupation du sol. (Livre : Ressources en eau et aménagement en Algérie).**

bassin	1. Surfaces bien protégées		2. Surfaces incomplètement protégées		3. Surfaces mal protégées ou nues
	forêts-maquis	Prairies naturelles et artificielles	Verger (à dominante extensive)	Terres labourées (céréales, cultures maraichères, etc.	Terrains dénudés, steppe, broussailles
Bassin moyen	12,0	1,4	1,7	53,9	31,0

### II.6.3 Approche cartographique

L'étude est basée sur des cartes existantes, entre autre la carte d'occupation de sol au 1/500 000 de M. Côte (1979) couvrant la moitié sud du bassin Kébir Rhumel dans le quel notre zone d'étude est située (les trois sous-bassins le 10-1, le 10-2 et le 10-03). Celle-ci a permis de distinguer dans le secteur correspondant les différents types de végétation indiqués précédemment. Pour la moitié Nord, on a utilisé les cartes du tapis végétal agrandies au 1/500 000 de H. Gaussen et A. Vernet (1958) et de J.P. Barry et al. (1974).

#### II.6.3.1 Faible extension de la couverture forestière

Les formations forestières constituent la couverture végétale qui exerce le plus d'influence sur l'écoulement (superficiel et souterrain) du fait de sa forte densité d'occupation de sol mais, comme le montre la carte de la couverture végétale Bassin versant Kébir Rhumel Figure (II.8), son extension dans les trois sous-bassins est limitée. Sa principale localisation pour notre zone d'étude sur les sommets plus humides et plus frais, le chêne liège est relayé par le chêne zeen (*Quercus mirbecki*) ou le chêne afarès (*Quercus afarès*). Les quelques îlots de broussailles résiduels sont, en fait, le résultat d'une dégradation anthropique (défrichements, destruction de forêts pour des besoins de chauffage, surpâturage) qui s'enracine loin dans le passé, depuis l'époque romaine et surtout depuis la période coloniale.

### II.6.3.2 Dominance de la couverture végétale " saisonnière "

Les surfaces occupées par des plantes pendant seulement une partie de l'année (céréales et culture maraichères essentiellement) représente la part majoritaire dans la zone. Dans cette couverture végétale que l'on peut qualifier de saisonnière, ce sont les cultures céréales qui dominent largement et ce, d'autant plus que l'on va du Nord au Sud.

Ainsi, dans les trois sous-bassins, d'immenses champs "ouverts" cohabitent avec les massifs déboisés pour favoriser concurremment le ruissellement et l'entraînement des matériaux sous l'effet d'averses intenses. Ces phénomènes sont encore plus accentués à cause de l'importance de la pente.

Les vergers qui permettent une protection partielle du sol, représentent une proportion très faible de l'ensemble de la superficie de la zone d'étude.

Au total, les formations végétales assurant une protection médiocre au sol sont les plus présentes dans la zone. Leur discontinuité spatiale et temporelle s'accroît du Nord au Sud, parallèlement à la diminution des précipitations ; c'est cette discontinuité qui, s'ajoutant à celle des autres composantes physiques, influence les débits liquides et solides.

### II.6.3.3 Influence de la discontinuité du couvert végétal sur les débits liquides et solides

Faute de mesures expérimentales dans la zone, la part de l'influence, positive ou négative, du couvert végétal, sur les débits liquides et solides est difficile à estimer. On peut, néanmoins, déceler les principaux caractères de cette influence qui permettront, ultérieurement, d'expliquer, du moins en partie, la complexité des mécanismes hydrologiques et du phénomène de turbidité des oueds.

#### a/ Une discontinuité favorable à la variabilité de l'écoulement de surface

Du fait que les terres destinées aux cultures sont généralement découvertes en saison froide, saison où les précipitations sont les plus fréquentes et les plus abondantes, le ruissellement, de même que l'érosion hydrique, n'est freiné par aucun obstacle végétal. Or, on vient de voir que ce sont ces surfaces faisant l'objet de façon culturales qui dominent largement dans la zone, à ajouter celles- là les terrains nus en permanence.

La discontinuité ou l'absence totale de couverture végétale favorise l'écoulement superficiel sous l'effet de la forte intensité pluviale ; au contraire l'évaporation physique au sol s'interpose, plus spécialement en saison chaude où s'ajoute encore la transpiration des plantes car ces dernières sont alors en pleine saison végétative. L'effet combiné de l'évaporation physique et de la transpiration accroît le déficit de l'écoulement. Ceci est surtout marqué sur les terrains boisés car, de plus le rôle de l'interception y intervient, et ce, durant toute l'année. En effet, le phénomène d'interception réduit sensiblement le ruissellement direct au niveau du sol du fait qu'une partie de la lame d'eau précipitée est arrêtée par la surface foliaire des arbres et est reprise par l'évaporation.

Ainsi, malgré des conditions généralement favorables à l'infiltration au domaine forestier, interception, consommation en eau des arbres et évaporation aux sols élevés influencent de façon négative le bilan d'écoulement. Cependant l'effet tampon que joue la couverture forestière est indéniable ; il se traduit par une certaine régularisation de l'écoulement liquide annuel ainsi que par atténuation des points de crue.

C'est pourquoi malgré le déficit d'écoulement que peut causer un couvert végétal plus ou moins dense, la présence de ce dernier est profitable à l'équilibre hydrologique des deux

sous-bassins alors que sa discontinuité ou son absence totale constitue un facteur favorable à l'irrégularité des débits et à la genèse de fortes crues surtout sur les terrains à fortes pentes et là où les sols sont très sensibles au ruissellement direct.

Les effets de la faible densité du tapis végétal dans le bassin sont encore plus décisifs du point de vue de l'érosion des sols.

#### **b/ Une discontinuité favorable à l'érosion hydrique**

Hormis l'étroite bande boisée où la forêt ou le maquis constituent une sorte de filtre ralentisseur des pluies, dans le reste de la zone d'étude l'entraînement des matériaux sous l'effet de battage du sol est favorisé, par l'absence de couverture végétale pendant une grande partie de l'année en ce qui concerne les terrains destinés aux cultures, essentiellement herbacées, ou par sa faible densité d'occupation du sol pour ce qui est des autres terrains steppiques et de broussailles ou enfin, par son absence totale concernant les roches nues. La distinction des types de végétation selon leur efficacité de protection du sol mais également selon leur caractère permanent ou saisonnier revêt ainsi son intérêt dans l'étude de l'influence du couvert végétal sur l'érosion hydrique.

Là aussi, comme il a déjà été dit au sujet du ruissellement, les terrains de mise en valeur agricole, découverts pendant la saison froide, sont directement soumis aux averses Automnales et Hivernales dont l'intensité est généralement élevée. La vitesse de chute de ces pluies et donc leur énergie cinétique n'étant alors entravées par aucun "effet d'éponge" au niveau du sol, provoque l'entraînement d'une importante quantité de matériaux fins et ce, davantage lorsque la pente, la structure granulométrique et le degré d'humidité du sol s'y prêtent.

Ces conditions sont fréquemment réunies dans la zone d'étude, surtout au niveau des secteurs montagneux quasiment nus drainés par l'Oued Enndja ; les mesures de turbidité relative à la station hydrométrique de Douar Tassadane sont un bon indicateur de l'efficacité de l'érosion hydrique.

En somme, les nuances régionales de l'érosion hydrique introduites par l'influence du couvert végétal sont assez nettes :

Comme il a été indiqué plus haut, l'érosion hydrique trouve son champ de prédilection car la végétation, très limitée, n'a aucune efficacité vis-à-vis de l'ampleur des processus morphodynamiques dus à la faible résistance de terrains et à leurs fortes pentes ainsi qu'à l'intensité élevée des pluies.

De tout ce qui précède, il résulte qu'en plus de son influence favorisant, en général, le ruissellement et la variabilité des débits liquides, la discontinuité du couvert végétal exerce des effets importants sur l'érosion hydriques se traduisant par une amplification de la charge solide des oueds.

Malheureusement, les opérations de reboisement dans les deux sous-bassins restent encore, comme partout dans l'Algérie, à l'état embryonnaire.

**Conclusion**

L'étude préalable des conditions physico-géologiques de la zone d'étude a s'avérée d'une grande importance afin de cerner l'effet des divers facteurs sur les mécanismes du transport solide.

Du point de vue lithologique la prédominance du matériel tendre (marnes et argiles), ainsi que la tectonique violente et les fortes pentes sont tous des agents qui aboutissent à l'accentuation du phénomène d'érosion dans la zone d'étude.

Le réseau hydrographique affecté par la tectonique démontré par les secteurs accidentés, ainsi la fréquence élevée des confluences et la forte densité de drainage jointe le plus souvent de fortes pentes, favorisent des crues rapides et puissantes.

La dominance des surfaces incomplètement protégées (verger, terres labourées), ainsi que celles mal protégées ou nues favorisent largement les phénomènes d'abrasion des terrains, ainsi que la faible extension de la couverture forestière, et la dominance de la couverture saisonnière n'assurent qu'une protection médiocre des sols.

Chapitre III  
Analyse des  
Précipitation

## Introduction

Plus encore que les facteurs morphologiques, lithologiques et biogéographiques, les conditions climatiques du bassin versant jouent un rôle capital dans le comportement hydrologique des cours d'eau (Roche 1963, Cosande, 2001...). Ce sont les précipitations, surtout liquides, qui constituent le facteur essentiel intervenant par :

- leur hauteur totale annuelle qui détermine l'abondance fluviale,
- leurs répartitions mensuelle et saisonnière qui influencent 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 (cités plus haut) et climatiques (températures et évapotranspiration). Mais, contrairement aux paramètres proprement physiques permettent une interprétation seulement qualitative du comportement hydrologique des bassins, les précipitations et les facteurs climatiques dans leur ensemble, variables aléatoires dans le temps et l'espace, permettent d'expliquer quantitativement les variations des composantes du régime hydrologique dans sa conception la plus large.

Par sa position en Afrique du Nord, donc en latitude, l'Algérie correspond à la zone de contact entre les masses d'air d'origine ou d'affinités polaires et arctiques d'une part et les masses tropicales d'autres part (Seltzer, 1946).

L'avancée des masses d'air froides vers le Sud peut être enregistrée à tout moment de l'année. Mais l'observation a montré qu'elles n'influent avec efficacité sur l'évolution du temps qu'entre le début de l'Automne et la fin du Printemps.

Les masses d'air tropicales, peuvent provenir de l'Atlantique ou du continent Africain par des courants dirigés vers le Nord, le Nord-Ouest ou le Nord-Est.

Les différentes situations météorologiques perturbées qui sont susceptibles d'affecter l'Afrique du Nord correspondent à une circulation des masses d'air orientées d'une manière zonale (approximativement d'Ouest en Est) suivant le flux de Westerlies.

Le climat de la Méditerranée Eurafrique est étroitement bloqué entre un domaine tempéré plus frais au Nord et le désert au Sud. Excepté en bordure même de la mer où l'on n'observe pas un véritable climat maritime, mais plutôt un climat contrasté traduisant plus d'influences continentales qu'océaniques et reflétant avant tout leur double appartenance aux franges de la zone tempérée et de la zone tropicale.

La Pluviométrie en Algérie a été étudiée par plusieurs auteurs, (P.Seltzer, 1913-1938, H.Gaussen, 1918-1947, G.Medinger, 1913-1953, M.Chaumont et C.Paquin, 1913-1963).

Nous consacrerons, à travers ce chapitre, au développement des précipitations. En effet, les précipitations qui sont de loin les plus importantes agissent directement dans l'alimentation pluviale de l'écoulement du bassin versant et par conséquent, notre zone d'étude (sous-bassin 10-01 Oued Déhamcha-Kébir amont, 10-02 Oued Kébir amont-Enndja et le 10-03 Oued Rhumel).

### III.1 Variations spatio-temporelles des précipitations annuelles

Tous les auteurs qui ont étudié la pluviométrie en Algérie montrent que la répartition de la pluie subit trois influences, celle de l'altitude, les conditions topographiques, de la longitude et enfin celle de l'éloignement à la mer.

Ainsi, P. Seltzer (1946) a montré que la répartition des pluies en Algérie obéit aux trois lois suivantes :

- la hauteur de pluie augmente avec l'altitude mais est plus élevée sur les versants exposés aux vents humides que sur les versants sous le vent.
- Elle augmente de l'Ouest à l'Est.
- Elle diminue à mesure que l'on s'éloigne du littoral.

Pour mieux cerner cette irrégularité inter annuelle des précipitations qui a un rôle essentiel et décisif sur l'écoulement fluvial et afin de caractériser le régime des précipitations annuelles, nous allons essayer de trouver une loi d'ajustement de la distribution des pluies annuelles dans le but d'aboutir à une estimation des paramètres d'ajustement et calculer des variables réduites.

Pour notre zone d'étude, nous disposons seulement de sept stations pluviométriques réparties de la façon suivante : une seule station qui contrôle le premier sous-bassin : Hammam (100110), de même pour le deuxième S.B : Koudiat (100302), par ailleurs le troisième S.B est contrôlé par cinq stations : Belaa (100302), Bir el Arch (100306), Ain el Kebch (100307), Mechta (100308), Chelgoum (100312). Ce nombre est très faible comparée par la superficie de 3399 Km<sup>2</sup>, d'autre part elles assurent une série de données pluviométriques suffisantes pour une période s'étalant sur 40 ans de 1970 à 2010. L'intérêt et le but de cette série est de permettre la confrontation avec l'écoulement correspondant afin de dégager une étude hydropluviométrique et d'estimer la lame d'eau moyenne tombée sur la zone d'étude.

Pour résoudre le problème de fiabilité des données, l'emploi d'outils statistiques est nécessaire pour contrôler la qualité des échantillons pluviométriques et combler les lacunes existantes dans les séries de données (utilisation des logiciels exp : Hydrolab). Cette dernière opération est indispensable si l'on veut déterminer de façon plus ou moins précise les caractéristiques des précipitations.

L'ajustement graphique des séries pluviométriques des différentes stations de la zone d'étude : Hammam 100110, Koudiat 100208, Belaa 100302, Bir el arch 100306, Ain el Kebch 100307, Mechta 100308, et Chelgoum 100312 pour la période (1970/2010), montre que la pluie moyenne annuelle s'ajuste en général suivant une loi log normale.

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

**Tableau (III.1) : Code des stations représentatives. (A.N.R.H de Constantine)**

Nom	Code	X(Km)	Y(Km)	Z(Km)
Hammam	100110	763,3	338,8	710
Koudiat Tendart	100208	788,21	340,12	635
Belaa	100302	738,8	327,1	990
Bir el arch	100306	782,3	319,1	952
Ain el Kebch	100307	806,55	307,4	955
Mechta Khelouta	100308	805	331,5	900
Chelgoum el aid	100312	811,4	323,5	768

**Tableau (III.2) : Précipitations annuelles (mm) aux différentes stations pluviométriques (n=40ans).stations : Hammam, Koudiat, Belaa, Bir el Arch, Ain el Kebch, Chelgoum. (A.N.R.H de Constantine)**

Code station	100110	100208	100302	100306	100307	100308	100312
Année /Station	Hammam	koudiat	Belaa	Bir el arch	Ain el kebch	Mechta	Chelgoum
1970	374,12	371,41	210,90	197,14	132,54	296,75	293,77
1971	611,42	576,73	609,00	199,46	353,39	420,94	459,70
1972	441,02	538,24	481,10	405,70	416,51	460,60	393,20
1973	318,40	427,51	352,20	275,70	300,30	431,06	326,73
1974	390,70	420,67	383,60	205,00	238,97	506,60	347,69
1975	537,00	645,46	580,00	414,30	509,30	517,42	601,39
1976	369,50	467,92	439,80	386,20	265,60	456,00	487,27
1977	327,30	391,31	515,60	464,50	307,30	395,60	394,27
1978	406,90	521,40	499,40	375,00	292,20	436,90	447,20
1979	294,80	319,70	201,70	259,50	238,20	276,20	259,10
1980	277,90	370,40	317,40	252,30	290,90	485,18	344,80
1981	514,00	519,40	365,40	181,40	237,60	330,01	353,52
1982	305,60	250,60	221,86	212,62	162,70	237,85	123,07
1983	453,90	375,80	276,50	202,80	172,30	332,51	142,12
1984	471,60	538,80	268,00	398,30	296,50	461,10	362,31
1985	346,60	328,30	251,00	380,80	137,70	348,20	285,90
1986	532,00	554,60	505,00	333,30	206,06	472,90	439,70
1987	253,81	331,90	188,80	170,70	186,00	239,00	306,90
1988	352,82	578,50	376,83	412,20	262,79	306,00	487,70
1989	262,85	312,50	323,80	307,63	190,14	207,42	329,40
1990	375,75	511,50	380,10	244,60	226,60	348,25	390,60
1991	440,57	541,90	510,60	351,46	250,70	216,40	513,10
1992	353,30	399,00	275,20	290,10	180,70	132,88	291,60
1993	313,70	381,60	255,90	210,30	142,10	168,70	315,40
1994	440,91	387,50	280,09	356,03	198,88	257,30	423,50
1995	506,00	585,80	325,20	230,90	374,80	564,80	532,20
1996	236,10	299,20	176,40	280,40	120,30	283,80	252,90
1997	403,90	441,30	271,33	337,50	270,17	394,40	394,40
1998	429,07	628,70	393,40	204,15	258,94	499,80	403,30
1999	228,60	416,80	275,61	308,70	253,35	308,00	262,50
2000	376,27	302,60	131,60	142,50	209,53	228,70	229,70
2001	233,88	232,20	277,40	395,40	184,49	285,92	265,60
2002	750,82	647,10	717,00	448,20	438,15	721,92	624,70
2003	419,21	491,97	485,20	394,80	363,90	426,58	506,00
2004	574,77	680,89	680,30	431,93	376,58	581,41	445,10
2005	302,33	476,84	370,80	240,54	252,02	355,82	337,09
2006	391,87	343,51	390,30	227,31	268,61	247,54	265,80
2007	293,03	298,84	390,30	317,75	280,03	330,49	170,20
2008	625,70	609,71	828,90	337,90	441,86	479,45	490,59
2009	459,65	434,35	672,80	355,50	374,42	402,49	440,50
2010	636,19	511,40	802,70	354,61	495,32	493,20	476,90
Max	750,82	680,89	828,90	464,50	509,30	721,92	624,70
Min	228,60	232,20	131,60	142,50	120,30	132,88	123,07
Moyenne	405,70	450,34	396,56	304,76	272,16	374,29	371,16
Médiane	390,70	434,35	370,80	308,70	258,94	355,82	362,31
Variance	14425,31	13660,39	28956,60	7492,33	9365,96	15257,97	13090,25
Ecart typ	120,11	116,88	170,17	86,56	96,78	123,52	114,41
Coef d'asy	0,78	0,12	0,87	-0,02	0,69	0,35	-0,01
Coef d'aplat	0,40	-0,95	0,19	-1,20	-0,03	0,08	-0,22
Coef de variation	0,30	0,26	0,43	0,28	0,36	0,33	0,31

### III.1.1 Interprétation des caractéristiques statistiques

- **Le coefficient d'asymétrie**

-La majorité des stations étudiées (100110Hammam-100208Koudiat-100302Belaa-100307Ain el Kebch-100308 Mechta) présentes des coefficients d'asymétrie positifs (la distribution est étalée sur la droite), la succession mode-médiane-moyenne et la dissymétrie est positive.

-Les stations qui présentent des valeurs négatives sont celles des codes : "100306"- "100312" nommées respectivement Bir el arch et Chelgoum el Aid avec une distribution étalée sur la gauche, on observe la succession mode-médiane-moyenne est dite négative.

-Seulement la station "100208" nommée koudiat Tendart présente un coefficient d'asymétrie presque nuls. La distribution est donc symétrique.

- **Le coefficient d'aplatissement**

L'analyse des coefficients d'aplatissements des séries étudiées montre que les stations Hammam, Belaa, Boumalek, et Mechta présentent des coefficients d'aplatissement positifs. Ce coefficient varie de 0,08 à la station de Mechta à 0,4 à celle de Hammam. Donc la distribution est moins aplatie que la distribution normale.

Pour le reste des stations, le coefficient d'aplatissement prend des valeurs négatives, ce qui indique que la distribution est plus aplatie que la distribution normale.

- **Le coefficient de variation**

Le phénomène de variation interannuelle des modules pluviométriques est bien exprimé par le coefficient de variation traduisant la dispersion relative des pluies. Les valeurs de coefficient de variation relative à la période 1970 jusqu'à 2010 varient entre 0,26 à 0,43 ce qui implique une variété assez faible. La variabilité interannuelle est légèrement plus faible dans les stations méridionales de la zone d'étude que celles situées au Nord. Le coefficient de variation dans les stations Mechta Khelouta et Belaa sont respectivement 0,33 et 0,43.

### III.1.2 Analyses en composantes principales (ACP)

L'analyse en composante principale ou ACP, est une méthode de réduction du nombre de variables permettant la représentation géométrique des observations et des variables. Cette réduction n'est possible que si les variables initiales ne sont pas indépendantes et ont des coefficients de corrélation non nuls (Bouroche et Saporta, 1980).

Elle permet ainsi de visualiser l'information contenue dans un tableau de données quantitatives et de concentrer les données dans un nombre réduit de nouvelles variables. Elle est aussi appliquée afin de déduire les paramètres les plus caractéristiques.

Cette méthode est appliquée sur des données de précipitations moyennes annuelles dont nous avons à notre disposition en formant une matrice initiale rectangulaire avec en lignes les valeurs de précipitations annuelles des 7 stations et en colonnes les 40 ans 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.

### III.1.2.1 Analyse des résultats de l'ACP :

On a procédé à une analyse en composantes principales sur les 7 variables (les postes pluviométriques) et 40 observations (les années).

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

*Tableau (III.3) : Moyenne, Ecart type des variables initiales.*

Station	Hamam	koudiat	Belaa	Bir el arch	ain el kebch	mechta	chelgoum
Moyenne des observations actives	399,94	448,81	386,41	303,51	266,58	371,32	368,51
Ecart type des observations actives	117,34	119,43	161,57	88,38	92,40	125,17	116,05

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

Station	Hamam	Koudiat	Belaa	Bir el arch	Ain el kabch	Mechta	Chelgoum
Hamam	1,00	0,78	0,73	0,24	0,65	0,65	0,66
Koudiat	0,78	1,00	0,71	0,34	0,70	0,70	0,82
Belaa	0,73	0,71	1,00	0,51	0,79	0,63	0,70
Bir el arch	0,24	0,34	0,51	1,00	0,47	0,39	0,52
Ain el kabch	0,65	0,70	0,79	0,47	1,00	0,73	0,70
Mechta	0,65	0,70	0,63	0,39	0,73	1,00	0,63
Chelgoum	0,66	0,82	0,70	0,52	0,70	0,63	1,00

Seules les trois premières composantes sont calculées, ou la  $C_i$  = nombre des variables, alors  $C_i=7$ .

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

**Tableau (III.5) : Valeurs propres, Variances expliquées et Variances cumulées.**

Axes	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>
Valeurs propres	4,79	0,85	0,42
Variances expliquées	68%	12%	6%
Variances cumulées	68%	81%	87%

-La somme des valeurs propres des composantes 1 à 3 est :  $6,06 = (4,79+0,85+0,42)$

-Le pourcentage d'inertie expliqué par la  $i$ 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 <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>
Pourcentage d'inertie expliqué	0,68	0,12	0,06
Pourcentage d'inertie cumulée	68	81	87

**Tableau (III.7) : projection des variables actives.**

Station	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>
Hammam	0,83	-0,37	-0,13
Koudiat	0,89	-0,23	-0,19
Belaa	0,88	0,06	-0,04
Bir el arch	0,56	0,80	-0,04
Ain el kabch	0,88	0,04	0,24
Mechta	0,82	-0,10	0,47
Chelgoum	0,88	0,06	-0,30

C<sub>1</sub> : Première composante du vecteur régional ;

C<sub>2</sub> : deuxième composante du vecteur régional ;

C<sub>3</sub> : troisième composante du vecteur régional.

Les stations : Koudiat, Ain el Kebch, Chelgoum, Belaa présentent les grandes valeurs de C<sub>1</sub> qui sont 0,89, 0,88, 0,88, 0,88 respectivement, donc on peut les prendre comme des stations représentatives de la zone d'étude.

*Tableau (III.8) : Projection des observations-station Koudiat-.*

Année	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>
1970	-0,99	-0,99	-0,45
1971	1,01	-2,04	-0,61
1972	0,90	0,79	0,95
1973	-0,15	-0,03	1,33
1974	-0,09	-1,11	1,39
1975	1,92	0,45	0,03
1976	0,46	0,97	-0,10
1977	0,32	2,19	0,47
1978	0,61	0,62	-0,18
1979	-0,98	0,14	0,56
1980	-0,28	-0,06	2,00
1981	-0,05	-1,88	-0,86
1982	-1,53	-0,33	0,88
1983	-0,89	-1,32	0,78
1984	0,41	0,42	0,44
1985	-0,74	1,14	0,09
1986	0,67	-0,45	-0,75
1987	-1,24	-0,65	-0,22
1988	0,36	1,18	-1,82
1989	-0,92	0,93	-0,78
1990	-0,10	-0,67	-0,70
1991	0,39	0,43	-2,92
1992	-0,91	0,23	-1,77
1993	-1,11	-0,48	-1,58
1994	-0,29	0,61	-1,63
1995	0,94	-1,53	0,68
1996	-1,34	0,54	0,16
1997	-0,01	0,31	0,11
1998	0,41	-1,68	0,21
1999	-0,70	0,70	0,62
2000	-1,29	-1,39	0,17
2001	-1,03	2,01	0,58
2002	2,62	-0,15	0,60
2003	0,81	0,94	-0,12
2004	1,75	0,23	0,43
2005	-0,30	-0,39	0,18
2006	-0,60	-0,49	0,06
2007	-0,71	0,81	1,77
2008	1,82	-0,58	-0,17
2009	0,83	0,56	0,20
2010	-0,99	-0,99	-0,45

Du tableau (III.8), on constate que plus de la moitié des variables sont corrélées fortement et négativement avec la première composante  $C_1$ . Il est évident que  $C_1$  représente la répartition moyenne des précipitations dans l'année (Laborde, 2000).

### III.1.3 Ajustement du vecteur $C_1$ à une loi de probabilité:

Pour mieux cerner cette irrégularité interannuelle des précipitations qui a un rôle essentiel et décisif sur l'écoulement et afin de caractériser le régime des précipitations annuelles, nous allons essayer de trouver une loi d'ajustement de la distribution des pluies annuelles dans le but d'aboutir à une estimation des paramètres d'ajustement et calculer des variables réduites.

L'ajustement graphique des séries pluviométriques des différentes observations de la station représentative Koudiat pour la période (1970/2010), (**Figure III.1**) montre que la pluie s'ajuste en général suivant une loi log normale.

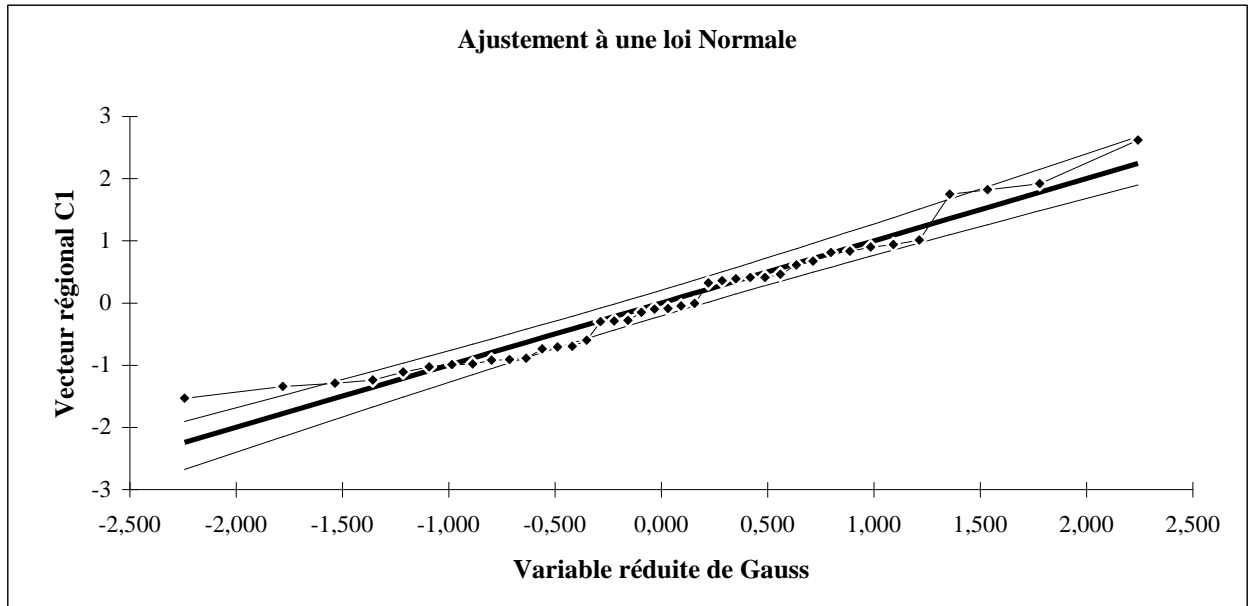
Le vecteur  $C_1$  s'ajuste bien à la loi normale comme l'indique la figure ci-après :

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

Taille=41 Moyenne=-2,48 Ecart-type=0,999UGauss=1,9604 I.C.à (en %)=95

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
-0,99	-1,53	1	0,0125	-2,242	-1,53	-2,24	-2,96	-1,74
1,01	-1,34	2	0,0375	-1,781	-1,34	-1,78	-2,39	-1,35
0,90	-1,29	3	0,0625	-1,534	-1,29	-1,53	-2,09	-1,13
-0,15	-1,24	4	0,0875	-1,357	-1,24	-1,36	-1,88	-0,97
-0,09	-1,11	5	0,1125	-1,213	-1,11	-1,21	-1,70	-0,85
1,92	-1,03	6	0,1375	-1,092	-1,03	-1,09	-1,56	-0,74
0,46	-0,99	7	0,1625	-0,984	-0,99	-0,98	-1,43	-0,64
0,32	-0,98	8	0,1875	-0,887	-0,98	-0,89	-1,32	-0,55
0,61	-0,92	9	0,2125	-0,798	-0,92	-0,80	-1,21	-0,46
-0,98	-0,91	10	0,2375	-0,714	-0,91	-0,71	-1,11	-0,39
-0,28	-0,89	11	0,2625	-0,635	-0,89	-0,64	-1,02	-0,31
-0,05	-0,74	12	0,2875	-0,560	-0,74	-0,56	-0,94	-0,24
-1,53	-0,71	13	0,3125	-0,488	-0,71	-0,49	-0,86	-0,17
-0,89	-0,70	14	0,3375	-0,419	-0,70	-0,42	-0,78	-0,10
0,41	-0,60	15	0,3625	-0,351	-0,60	-0,35	-0,70	-0,03
-0,74	-0,30	16	0,3875	-0,285	-0,30	-0,29	-0,63	0,03
0,67	-0,29	17	0,4125	-0,221	-0,29	-0,22	-0,56	0,10
-1,24	-0,28	18	0,4375	-0,157	-0,28	-0,16	-0,49	0,16
0,36	-0,15	19	0,4625	-0,094	-0,15	-0,09	-0,42	0,23
-0,92	-0,10	20	0,4875	-0,031	-0,10	-0,03	-0,36	0,29
-0,10	-0,09	21	0,5125	0,031	-0,09	0,03	-0,29	0,36
0,39	-0,05	22	0,5375	0,094	-0,05	0,09	-0,23	0,42
-0,91	-0,01	23	0,5625	0,157	-0,01	0,16	-0,16	0,49
-1,11	0,32	24	0,5875	0,221	0,32	0,22	-0,10	0,56
-0,29	0,36	25	0,6125	0,285	0,36	0,29	-0,03	0,63
0,94	0,39	26	0,6375	0,351	0,39	0,35	0,03	0,70
-1,34	0,41	27	0,6625	0,419	0,41	0,42	0,10	0,78
-0,01	0,41	28	0,6875	0,488	0,41	0,49	0,17	0,86
0,41	0,46	29	0,7125	0,560	0,46	0,56	0,24	0,94
-0,70	0,61	30	0,7375	0,635	0,61	0,64	0,31	1,02
-1,29	0,67	31	0,7625	0,714	0,67	0,71	0,39	1,11
-1,03	0,81	32	0,7875	0,798	0,81	0,80	0,46	1,21
2,62	0,83	33	0,8125	0,887	0,83	0,89	0,55	1,32
0,81	0,90	34	0,8375	0,984	0,90	0,98	0,64	1,43
1,75	0,94	35	0,8625	1,092	0,94	1,09	0,74	1,56
-0,30	1,01	36	0,8875	1,213	1,01	1,21	0,85	1,70
-0,60	1,75	37	0,9125	1,357	1,75	1,36	0,97	1,88
-0,71	1,82	38	0,9375	1,534	1,82	1,53	1,13	2,09
1,82	1,92	39	0,9625	1,781	1,92	1,78	1,35	2,39
0,83	2,62	40	0,9875	2,242	2,62	2,24	1,74	2,96

Fréquence	U.Gauss	Val.théo.	Borne inf.	Borne sup.	Valeur	Fréq. théo.	Pér. Ret.
0,8	0,841	0,84	0,50	1,26	0,84	0,800	5
0,9	1,282	1,28	0,91	1,78	1,28	0,900	10
0,95	1,645	1,64	1,23	2,23	1,64	0,950	20
0,98	2,054	2,05	1,58	2,73	2,05	0,980	50
0,99	2,327	2,33	1,82	3,07	2,33	0,990	100
0,998	2,879	2,88	2,28	3,76	2,88	0,998	500



*Figure (III.1) : Ajustement du vecteur régional C1 à l'échelle annuelle.*

**III.1.4 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.

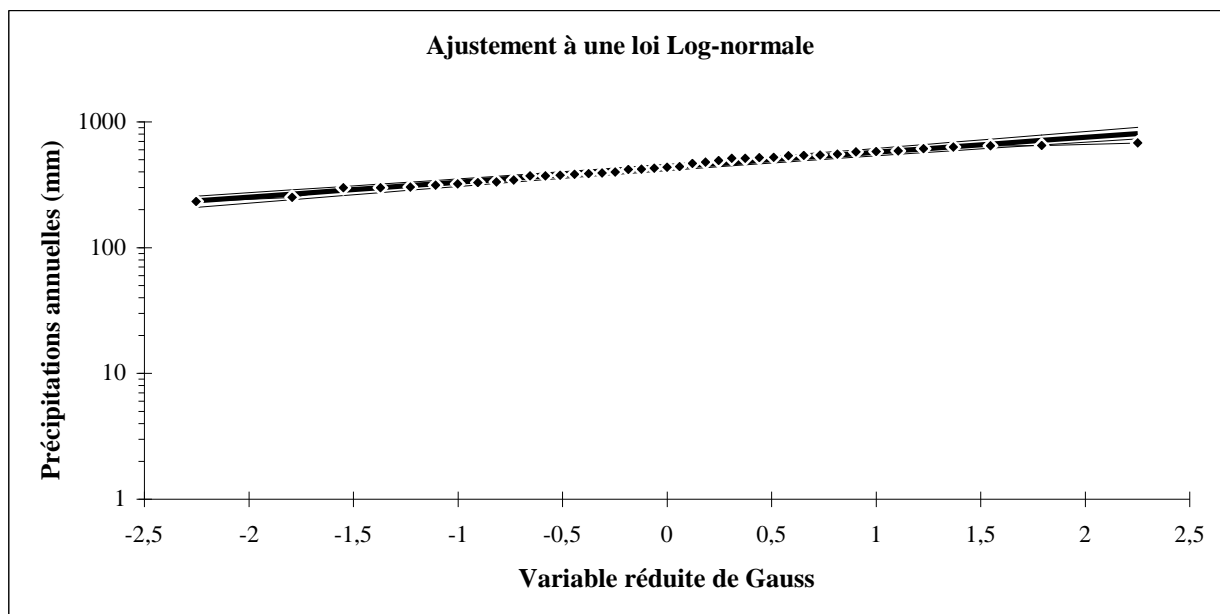
Elle a permis d'ajuster les séries d'observations à la loi log normale, le tableau (III.10) et la figure (III.3) montre l'ajustement des précipitations annuelles de la station Hammam, les résultats de l'autre ajustement sont présentés en annexe.

**Tableau (III.10) : Précipitations annuelles et leurs fréquences expérimentales  
-station Koudiat 100208-**

Taille=41 Moylogx=2,64 E.T.logx=0,12 UGauss=1,9604 I.C.à (en %)=95

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
371,41	232,2	1	0,012	-2,251	232,2	234,49	192,78	268,43
576,73	250,6	2	0,037	-1,792	250,6	265,95	225,20	299,25
538,24	298,84	3	0,061	-1,547	298,84	284,44	244,49	317,40
427,51	299,2	4	0,085	-1,370	299,2	298,57	259,29	331,33
420,67	302,6	5	0,110	-1,228	302,6	310,43	271,72	343,09
645,46	312,5	6	0,134	-1,107	312,5	320,89	282,69	353,54
467,92	319,7	7	0,159	-1,000	319,7	330,40	292,65	363,10
391,31	328,3	8	0,183	-0,904	328,3	339,24	301,87	372,05
521,4	331,9	9	0,207	-0,816	331,9	347,58	310,55	380,56
319,7	343,51	10	0,232	-0,733	343,51	355,54	318,80	388,74
370,4	370,4	11	0,256	-0,655	370,4	363,21	326,72	396,70
519,4	371,41	12	0,280	-0,581	371,41	370,66	334,37	404,49
250,6	375,8	13	0,305	-0,510	375,8	377,94	341,81	412,18
375,8	381,6	14	0,329	-0,442	381,6	385,11	349,09	419,81
538,8	387,5	15	0,354	-0,375	387,5	392,19	356,24	427,43
328,3	391,31	16	0,378	-0,310	391,31	399,22	363,29	435,06
554,6	399	17	0,402	-0,247	399	406,24	370,27	442,74
331,9	416,8	18	0,427	-0,184	416,8	413,26	377,21	450,51
578,5	420,67	19	0,451	-0,122	420,67	420,32	384,13	458,40
312,5	427,51	20	0,476	-0,061	427,51	427,44	391,06	466,44
511,5	434,35	21	0,500	0,000	434,35	434,65	398,02	474,66
541,9	441,3	22	0,524	0,061	441,3	441,98	405,03	483,10
399	467,92	23	0,549	0,122	467,92	449,47	412,13	491,81
381,6	476,84	24	0,573	0,184	476,84	457,15	419,35	500,83
387,5	491,97	25	0,598	0,247	491,97	465,05	426,70	510,22
585,8	511,4	26	0,622	0,310	511,4	473,22	434,24	520,03
299,2	511,5	27	0,646	0,375	511,5	481,71	442,00	530,32
441,3	519,4	28	0,671	0,442	519,4	490,57	450,01	541,18
628,7	521,4	29	0,695	0,510	521,4	499,87	458,34	552,70
416,8	538,24	30	0,720	0,581	538,24	509,69	467,06	565,00
302,6	538,8	31	0,744	0,655	538,8	520,15	476,23	578,23
232,2	541,9	32	0,768	0,733	541,9	531,37	485,98	592,59
647,1	554,6	33	0,793	0,816	554,6	543,54	496,43	608,34
491,97	576,73	34	0,817	0,904	576,73	556,90	507,79	625,83
680,89	578,5	35	0,841	1,000	578,5	571,79	520,30	645,56
476,84	585,8	36	0,866	1,107	585,8	588,75	534,38	668,30
343,51	609,71	37	0,890	1,228	609,71	608,59	550,64	695,27
298,84	628,7	38	0,915	1,370	628,7	632,76	570,19	728,62
609,71	645,46	39	0,939	1,547	645,46	664,20	595,22	772,72
434,35	647,1	40	0,963	1,792	647,1	710,37	631,32	838,89
511,4	680,89	41	0,988	2,251	680,89	805,66	703,79	979,98

Fréquence	U.Gauss	Val.théo.	Borne inf.	Borne sup.	Valeur	Fréq. théo.	Pér. Ret.
0,8	0,841	547,41	515,30	587,02	547,41	0,80	5
0,9	1,282	617,62	576,80	670,90	617,62	0,90	10
0,95	1,645	682,33	631,97	750,41	682,33	0,95	20
0,98	2,054	763,27	699,51	852,24	763,27	0,98	50
0,99	2,327	822,49	748,13	928,13	822,49	0,99	100
0,998	2,879	956,77	856,39	1103,97	956,77	1,00	500



**Figure (III.2) :** Ajustement des précipitations annuelles à la loi log normale (station Koudiat).

Les équations d'ajustement des précipitations annuelles à la loi log normale sont montrées dans le tableau ci-dessous :

**Tableau (III.11) :** Equations d'ajustement des précipitations annuelles à la loi log normale des différentes stations :

Nom	Code	Droite de Galton
Hamam	100110	$\text{Log}_{p_{ann}}\% = -2,59 + 0,127U_p\%$
Koudiat Tendart	100208	$\text{Log}_{p_{ann}}\% = -2,64 + 0,12U_p\%$
Belaa	100302	$\text{Log}_{p_{ann}}\% = -2,56 + 0,19U_p\%$
Bir el Arch	100306	$\text{Log}_{p_{ann}}\% = -2,46 + 0,13U_p\%$
Ain el Kebch	100307	$\text{Log}_{p_{ann}}\% = -2,41 + 0,16U_p\%$
Mechta Khalouta	100308	$\text{Log}_{p_{ann}}\% = -2,59 + 0,127U_p\%$
Chelgoum el aid	100312	$\text{Log}_{p_{ann}}\% = -2,55 + 0,16U_p\%$

**Tableau (III.12) :** Précipitations annuelles (mm) pour différentes périodes de retour.

Périodes de retour	5	10	20	50	100	1000
Hamam	497,71	566,24	629,88	710,06	770,00	962,00
Koudiat Tendart	547,41	617,62	682,33	763,27	822,49	1014,02
Belaa	521,03	629,80	736,51	878,35	987,75	1372,40
Bir el Arch	377,62	432,24	483,24	547,85	595,64	752,93
Ain el Kebch	346,47	406,24	463,28	537,09	593,00	781,15
Mechta Khalouta	477,28	558,98	636,87	737,57	813,38	1069,89
Chelgoum el aid	474,07	554,77	631,65	730,97	805,70	1058,29

Le Tableau ci-dessus présente les précipitations annuelles calculées pour les différentes périodes de retour.

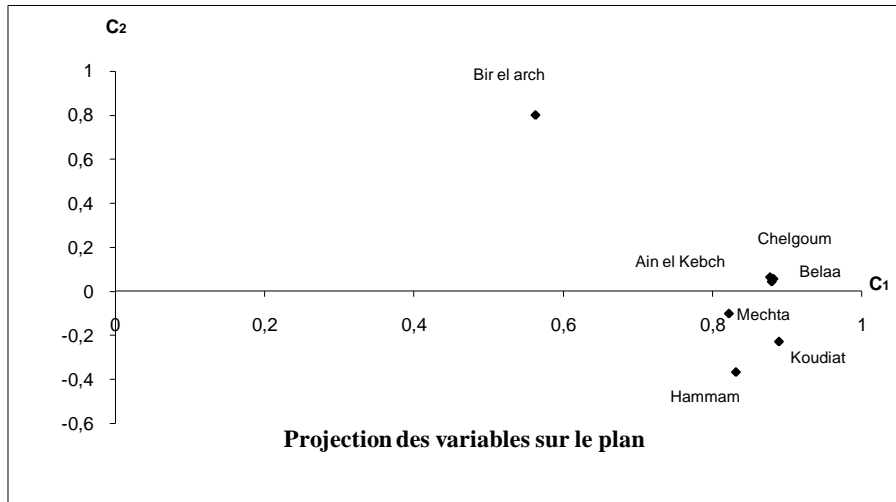


Figure (III.3) : Projection des variables sur le plan  $C_1 C_2$  (ACP annuel).

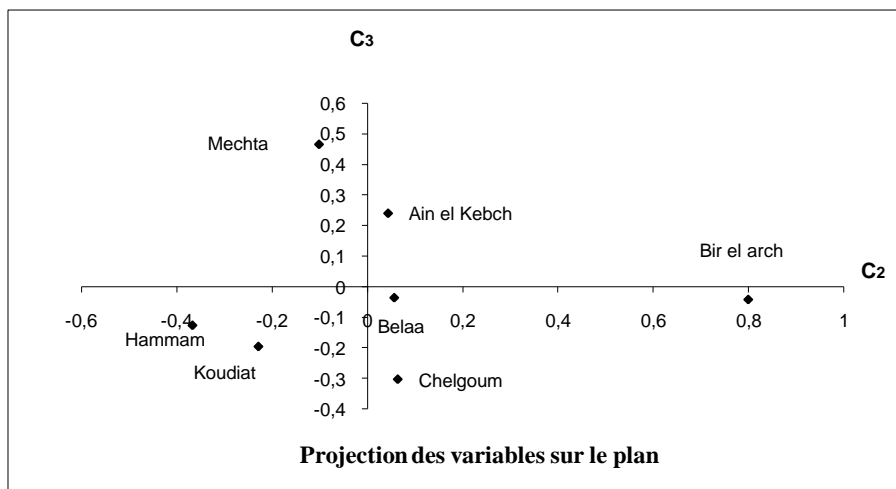


Figure (III.4) : Projection des variables sur le plan  $C_2 C_3$  (ACP annuel).

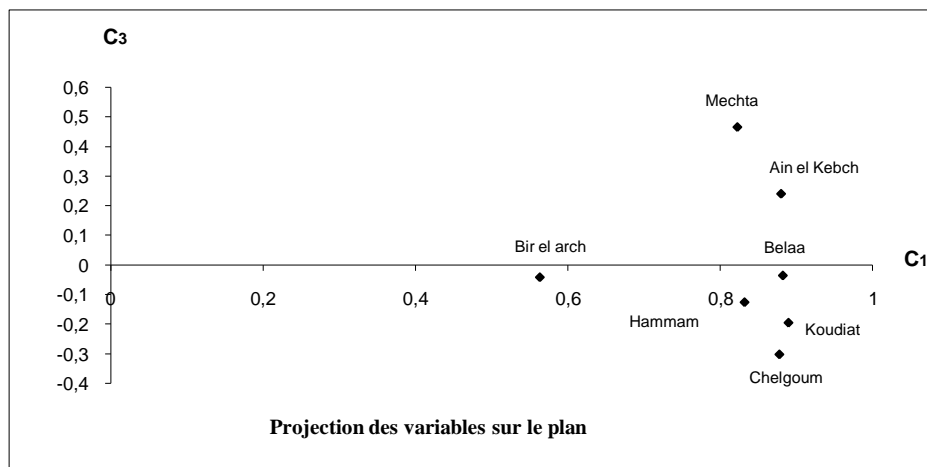


Figure (III.5) : Projection des variables sur le plan  $C_1 C_3$  (ACP annuel).

L'analyse des figures (III.3), (III.4) et (III.5) montre un regroupement des quelques stations pluviométriques : qui sont Bir El Arch (100306), Ain El Kebch (100307), Belaa (100302) et Mechta Khelouta (100308), et cela peut être expliqué par leurs altitudes élevées qui sont comprises entre 900 et 990, donc elles sont les stations pluviométriques les plus arrosées parmi les différentes stations de la zone d'étude avec des précipitations moyennes annuelles données successivement : 304,76mm, 272,16mm, 396,56mm et 374,29mm.

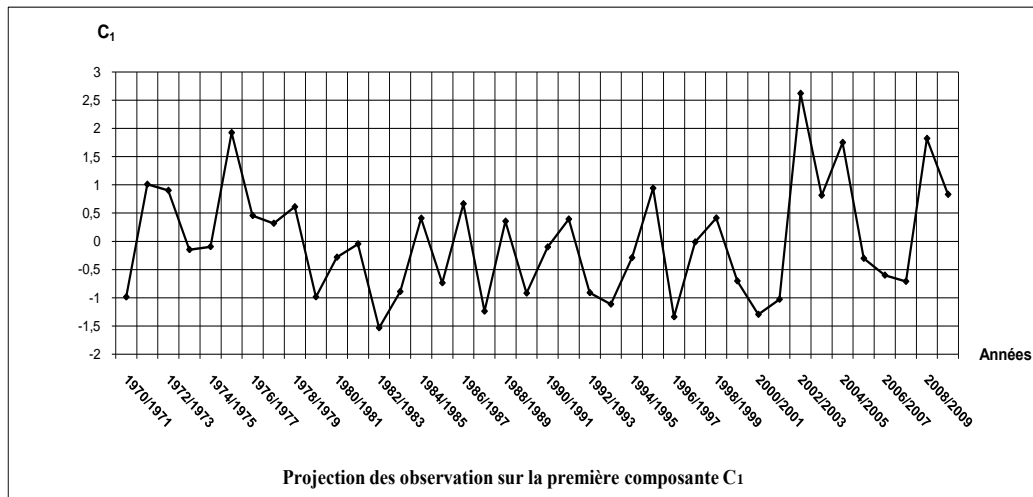


Figure (III.6) : Projection des observations sur la première composante C<sub>1</sub>.

L'analyse de la figure (III.6) montre une variation annuelle remarquable des valeurs de vecteur C<sub>1</sub>, elle peut être expliquée par la variation des précipitations durant ces années, les plus grandes valeurs correspondent aux années : 1977, 2003, 2005, 2009 ce qui implique que ce sont des années humides. Par contre les faibles valeurs de C<sub>1</sub> correspondent aux années sèches de 1983 et 1997 ce qui implique que ce sont des années sèches.

### III.2 Précipitations mensuelles

#### III.2.1 Analyse du régime pluviométrique mensuelle par ACP :

La répartition mensuelle des précipitations dans l'année et ses variations conditionnent, en relation avec les facteurs thermiques, l'écoulement saisonnier et par là – même le régime des cours d'eau, l'érodabilité des sols et le transport des matériaux en suspension. Cependant, si le phénomène de variabilité des précipitations mensuelles ou saisonnières se prête facilement à l'analyse, vu son caractère tranché dans les bassins, il est néanmoins, malaisé de définir des saisons pluviométriques spatialement homogènes et ce, en raison des différences de régimes de précipitations déterminés eux-mêmes par des variantes à la fois géographiques et météorologiques. Pour les sept stations étudiées on peut distinguer deux périodes distinctes :

- Une période sèche qui correspond à la saison d'Eté (juin, juillet, août), caractérisée par un déficit pluviométrique bien marqué.
- Une période humide qui correspond au reste de l'année ; cependant, il faut souligner que cette période pluvieuse est elle aussi marquée par une succession de mois humides et de mois relativement secs.

Pour étudier la répartition mensuelle des précipitations sur la zone d'étude, on dispose seulement de 7 postes pluviométriques d'une estimation de 4 ans, des précipitations moyennes mensuelles exprimées en (mm) et qui sont résumées dans le tableau (III.13).

- **Présentation des résultats :**

*Tableau (III.13) : Précipitations moyennes mensuelles des stations. (A.N.R.H de Constantine)*

Mois/station	Ain elKebch 100307	Belaa 100302	Bir el Arch 100306	Hamam 100110	Chelgoum 100312	Koudiat 100208	Mechta 100308
Septembre	32,99	49,70	52,22	37,41	45,69	53,77	43,12
Octobre	28,16	36,17	32,02	45,21	40,43	45,61	34,35
Novembre	31,96	43,78	30,77	40,36	42,89	57,22	51,97
Décembre	39,91	61,73	41,36	70,86	59,64	83,59	63,54
Janvier	27,18	60,95	34,85	70,05	54,02	67,56	62,45
Février	37,07	60,06	39,83	60,21	46,40	61,41	52,00
Mars	33,93	54,32	36,31	54,77	42,33	57,03	47,32
Avril	35,35	56,13	37,52	56,60	43,74	58,93	48,90
Mai	45,23	64,03	45,91	51,91	55,24	60,19	52,45
Juin	18,39	17,64	23,68	20,11	24,62	27,30	22,22
Juillet	7,47	5,91	9,03	8,16	12,99	10,50	7,36
Aout	17,97	15,12	18,14	13,02	19,12	20,08	14,28
Moyenne	29,63	43,80	33,47	44,06	40,59	50,27	41,66
Ecat-Type	10,59	20,42	11,96	21,05	14,50	21,01	18,30
Variance	112,17	417,05	143,00	443,02	210,33	441,39	334,97
Médiane	32,48	52,01	35,58	48,56	43,32	57,13	48,11
Coefd'asy	-0,76	-0,89	-0,63	-0,53	-0,79	-0,67	-0,80
C.variance	0,36	0,47	0,36	0,48	0,36	0,42	0,44
C.d'Aplat	0,36	-0,71	0,40	-0,82	-0,22	-0,02	-0,45

Du tableau (III.13), le mois le plus pluvieux diffère d'une station à l'autre, mais en générale il se situe soit en Hiver (Décembre ou Février) ou au Printemps. Les mois les plus secs sont représentés par Juillet et Août.

La variabilité intermensuelle des précipitations, apparaît à travers la variation des valeurs élevées des coefficients de variation mensuelle (tableau III.13).

Pour l'ensemble des stations réparties sur la zone d'étude, nous avons deux saisons qui se partagent le maximum qui sont celles d' El Koudiat et Hammam , on constate pour la totalité des stations la distribution pluviométrique moyenne mensuelle suivante : l'Hiver avec un total qui varie de 104 mm à 212 mm, et l'Automne avec un total variant de 93 à 156 mm , 114 mm à 176 mm le printemps, et enfin 38 mm à 57 l'été celle-ci étant la saison la plus sèche. La différence des totaux pluviométriques des saisons est très remarquable.

### III.2.2 Ajustement des précipitations mensuelles à une loi de probabilité

Dans le but d'étudier la variation de précipitations à l'échelle mensuelle, nous avons dès le départ, déterminer les paramètres statistiques 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 (III.14) donne les équations de Galton pour la station de Hammam.

**Tableau (III.14) :** Equation d'ajustement des précipitations mensuelles à la loi log normale.

Mois	Droite de Galton
Septembre	$\text{Log}_{P_{\text{mens}}}\% = 1,668 + 0,08 \text{ Up}\%$
Octobre	$\text{Log}_{P_{\text{mens}}}\% = 1,6 + 0,096 \text{ Up}\%$
Novembre	$\text{Log}_{P_{\text{mens}}}\% = 1,68 + 0,147 \text{ Up}\%$
Décembre	$\text{Log}_{P_{\text{mens}}}\% = 1,824 + 0,155 \text{ Up}\%$
Janvier	$\text{Log}_{P_{\text{mens}}}\% = 1,775 + 0,189 \text{ Up}\%$
Février	$\text{Log}_{P_{\text{mens}}}\% = 1,757 + 0,138 \text{ Up}\%$
Mars	$\text{Log}_{P_{\text{mens}}}\% = 1,717 + 0,139 \text{ Up}\%$
Avril	$\text{Log}_{P_{\text{mens}}}\% = 1,732 + 0,13805 \text{ Up}\%$
Mai	$\text{Log}_{P_{\text{mens}}}\% = 1,76 + 0,084 \text{ Up}\%$
Juin	$\text{Log}_{P_{\text{mens}}}\% = 1,342 + 0,0619 \text{ Up}\%$
Juillet	$\text{Log}_{P_{\text{mens}}}\% = 0,919 + 0,103 \text{ Up}\%$
Aout	$\text{Log}_{P_{\text{mens}}}\% = 1,225 + 0,068 \text{ Up}\%$

**Tableau (III.15) :** Précipitations mensuelles pour différentes périodes de retour-station Chelgoum-.

Mois	5	10	20	50	100	500
Septembre	54,55	59,22	63,37	68,39	71,97	79,75
Octobre	48,07	52,98	57,41	62,85	66,76	75,42
Novembre	63,85	74,17	83,93	96,46	105,85	127,70
Décembre	90,11	105,44	120,05	138,91	153,12	186,42
Janvier	86,00	104,20	122,10	145,94	164,38	209,10
Février	74,94	86,29	96,94	110,51	120,60	143,90
Mars	68,32	78,64	88,31	100,63	109,79	130,93
Avril	70,58	81,19	91,13	103,79	113,20	134,90
Mai	67,83	73,88	79,28	85,83	90,5	100,72
Juin	24,81	26,41	27,82	29,49	30,66	33,20
Juillet	10,15	11,27	12,29	13,54	14,46	16,50
Aout	19,17	20,55	21,76	23,20	24,22	26,42

On a procédé à une analyse en composantes principales sur les 7 variables (les postes pluviométriques) et leurs observations (12mois).

Les résultats de l'ACP sont donnés dans les tableaux (III.16, III.17, III.18, III.19, et III.20)

**Tableau (III.16) : Moyenne, Ecart Type des variables initiales.**

Mois	Ain elKebch	Belaa	Bir el	Hammam	Chelgoum	Koudiat	Mechta
Moyennes des observations	29,63	43,80	33,47	44,06	40,59	50,27	41,66
Ecart-Type des observations	10,59	20,42	11,96	21,05	14,50	21,01	18,30

**Tableau (III.17) : Matrice des coefficients de corrélation entre variables.**

Mois	100307	100302	100306	100110	100312	100208	100308
100307	1,00	0,92	0,89	0,80	0,90	0,88	0,85
100302	0,92	1,00	0,87	0,94	0,96	0,95	0,96
100306	0,89	0,87	1,00	0,72	0,87	0,81	0,79
100110	0,80	0,94	0,72	1,00	0,93	0,95	0,95
100312	0,90	0,96	0,87	0,93	1,00	0,97	0,97
100208	0,88	0,95	0,81	0,95	0,97	1,00	0,98
100308	0,85	0,96	0,79	0,95	0,97	0,98	1,00

**Tableau (III.18) : Valeurs propres, Variances expliqués et Variances cumulées.**

Axes	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>
Valeurs propres	6,40	0,38	0,10
Variances expliqués	91%	5%	1%
Variances cumulées	91%	97%	98%

**Tableau(III.19) : Projection des variables actives.**

Station	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>
Ain el Kebch	0,93	0,26	-0,25
Belaa	0,99	0,00	-0,03
Bir el Arch	0,89	0,42	0,18
Hammam	0,94	-0,29	0,00
Chelgoum	0,99	-0,03	0,05
Koudiat	0,98	-0,14	0,02
Mechta	0,97	-0,18	0,03

**Tableau(III.20) : Projection des observations actives.**

Mois	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>
Septembre	0,35	2,06	2,18
Octobre	-0,18	0,00	0,08
Novembre	0,14	-0,36	-0,66
Décembre	1,18	-0,84	-0,10
Janvier	0,73	-1,89	1,58
Février	0,64	-0,02	-0,53
Mars	0,36	-0,13	-0,51
Avril	0,46	-0,07	-0,59
Mai	0,88	1,33	-1,33
Juin	-1,13	0,24	0,42
Juillet	-1,99	-0,64	0,14
Aout	-1,45	0,32	-0,69

**III.2.3 Interprétation des résultats d'ACP mensuel :**

Du tableau (III.21), on constate que la majorité des stations sont corrélées fortement et positivement avec la première composante  $C_1$ . Il est évident que  $C_1$  représente la répartition moyenne des précipitations dans des mois de l'année. (Laborde, 2000).

**III.2.4 Ajustement de vecteur  $C_1$  à une loi de probabilité :**

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

**Tableau (III.21) : Ajustement à la loi normale du vecteur  $C_1$  :**

$X_0=0$  Taille=12 Moylogx=0,00083 E.T.logx=0,998 UGauss=1,9604 I.C.à (en %)=95

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
0,35	0,35	-1,99	1	0,04	-1,732	-1,99	-1,73	-3,12
-0,18	-0,18	-1,45	2	0,13	-1,150	-1,45	-1,15	-2,24
0,14	0,14	-1,13	3	0,21	-0,812	-1,13	-0,81	-1,74
1,18	1,18	-0,18	4	0,29	-0,548	-0,18	-0,55	-1,37
0,73	0,73	0,14	5	0,38	-0,318	0,14	-0,32	-1,07
0,64	0,64	0,35	6	0,46	-0,104	0,35	-0,11	-0,80
0,36	0,36	0,36	7	0,54	0,104	0,36	0,10	-0,55
0,46	0,46	0,46	8	0,63	0,318	0,46	0,32	-0,31
0,88	0,88	0,64	9	0,71	0,548	0,64	0,55	-0,07
-1,13	-1,13	0,73	10	0,79	0,812	0,73	0,81	0,19
-1,99	-1,99	0,88	11	0,88	1,150	0,88	1,15	0,50
-1,45	-1,45	1,18	12	0,96	1,732	1,18	1,73	0,99

Fréquence	U.Gauss	Val.théo.	Borne inf.	Borne sup.	Valeur	Fréq. théo.	Pér. Ret.
0,8	0,841	0,84	0,22	1,78	0,84	0,800	5
0,9	1,282	1,28	0,61	2,43	1,28	0,900	10
0,95	1,645	1,64	0,92	2,99	1,64	0,950	20
0,98	2,054	2,05	1,25	3,63	2,05	0,980	50
0,99	2,327	2,32	1,47	4,06	2,32	0,990	100
0,998	2,879	2,87	1,90	4,95	2,87	0,998	500

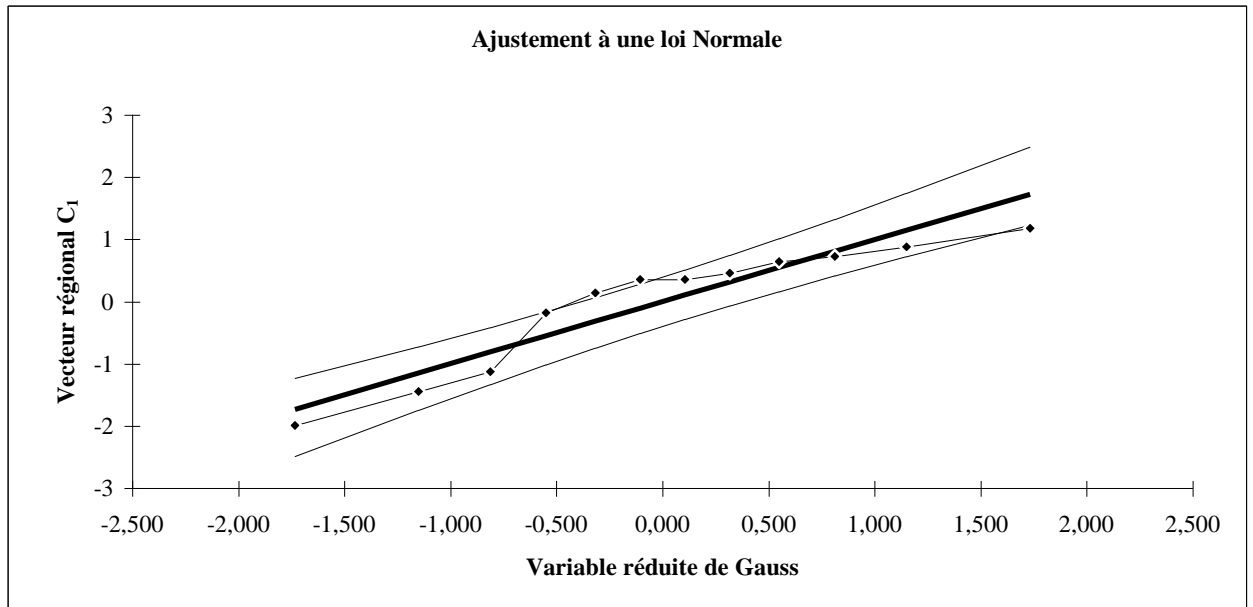


Figure (III.7) : Ajustement du vecteur régional  $C_1$  à une loi normale.

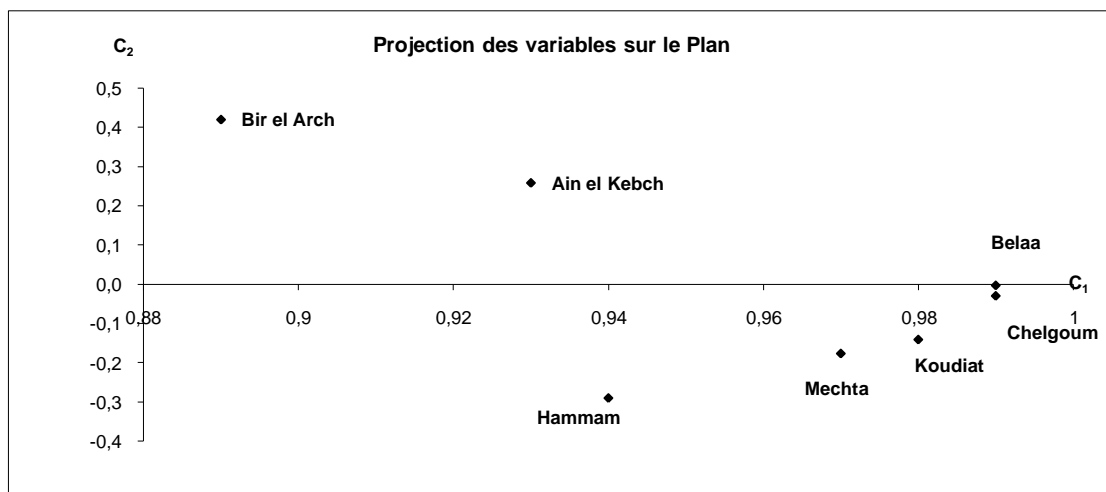


Figure (III.8) : Projection des variables sur le plan  $C_1C_2$  (ACP mensuel).

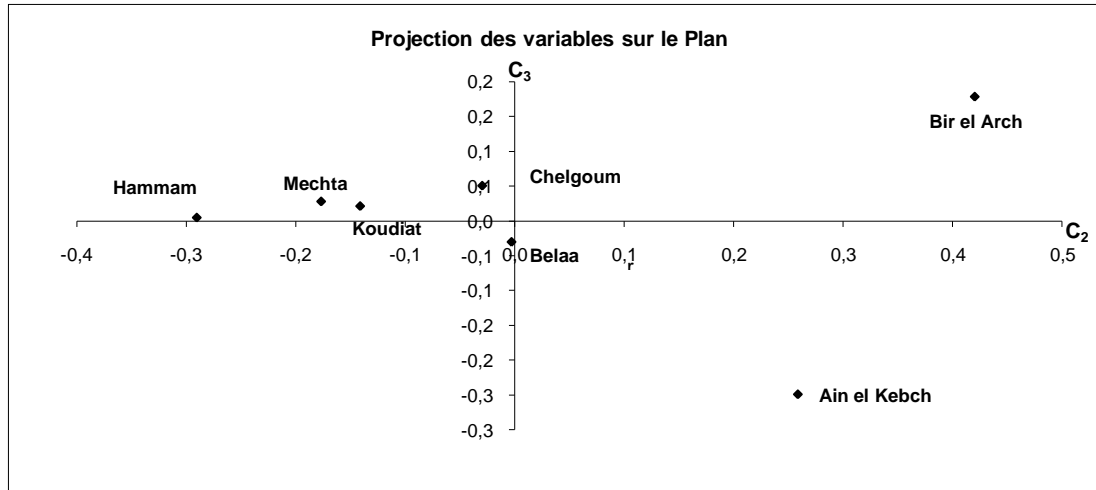


Figure (III.9) : Projection des variables sur le plan  $C_2C_3$  (ACP mensuel).

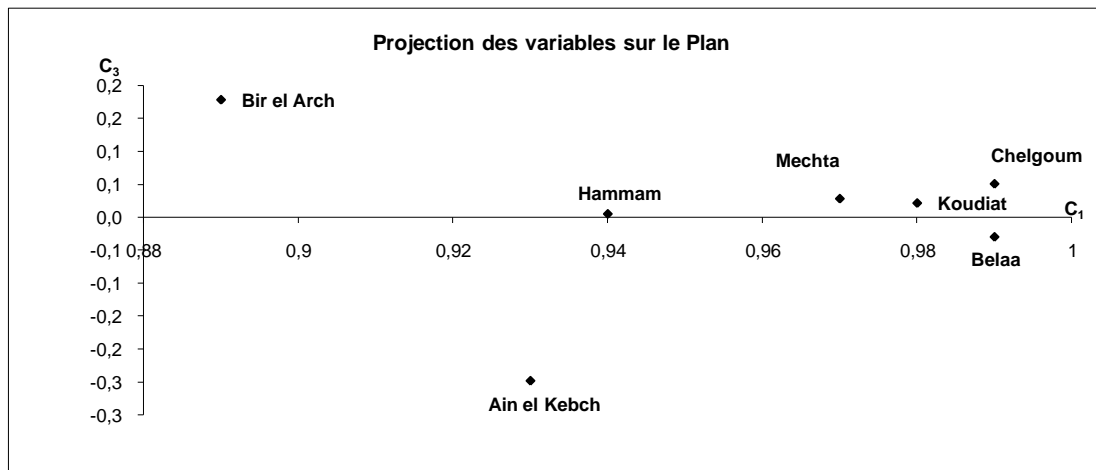


Figure (III.10) : Projection des variables sur le plan  $C_1C_3$  (ACP mensuel).

D'après les trois graphes de la projection des variables (les sept postes pluviométriques) sur les plans  $C_1, C_2$ ,  $C_2, C_3$ , et  $C_1, C_3$  montés respectivement sur les figures (III.9-III.10-III.11), on peut remarquer un seul rassemblement des stations qui sont celles de : Belaa, Chelgoum, Koudiat, et Mechta.

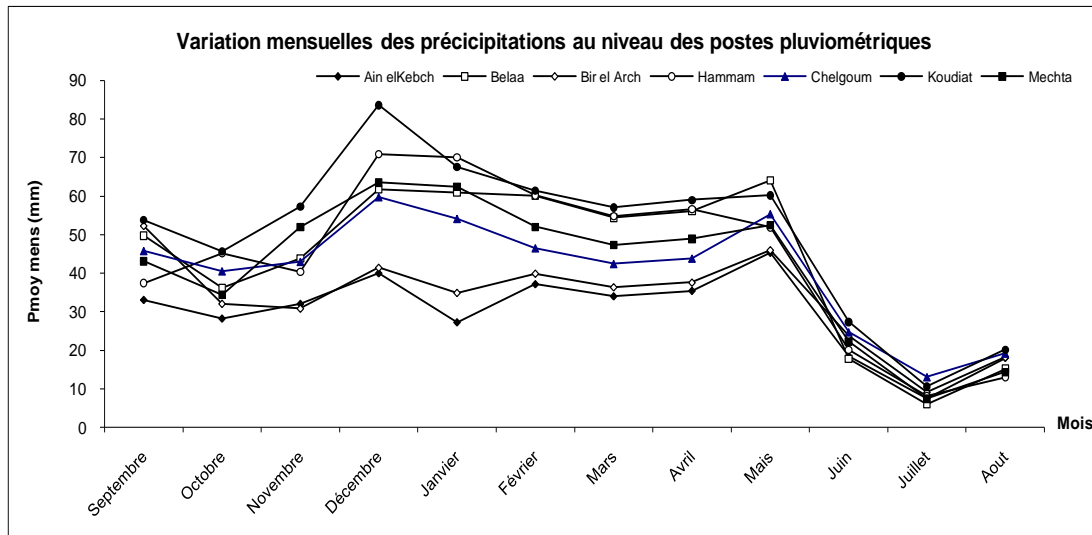


Figure (III.11) : Variation mensuelles des précipitations au niveau des postes pluviométriques (sous bassins : 10-01,10-2 et 10-03).

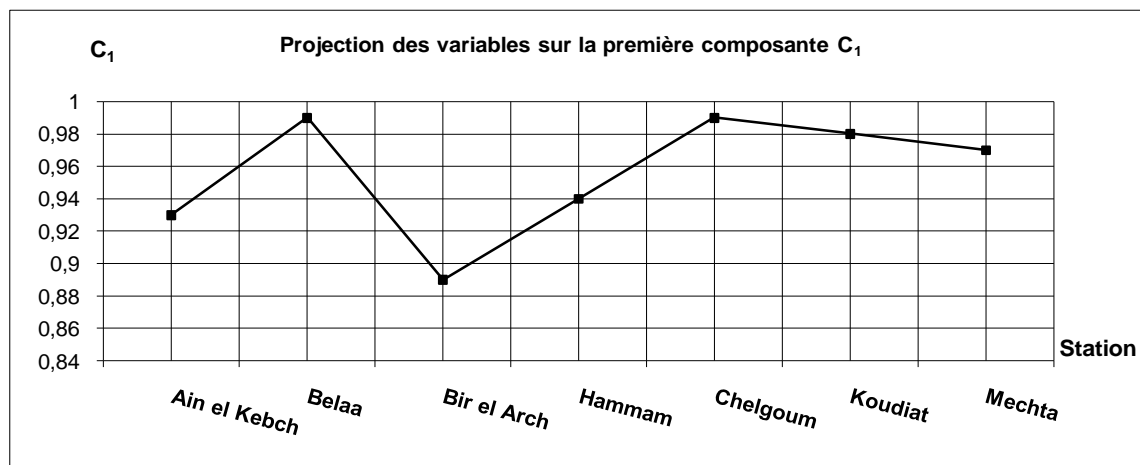


Figure (III.12) : Projection des variables sur la première composante  $C_1$ .

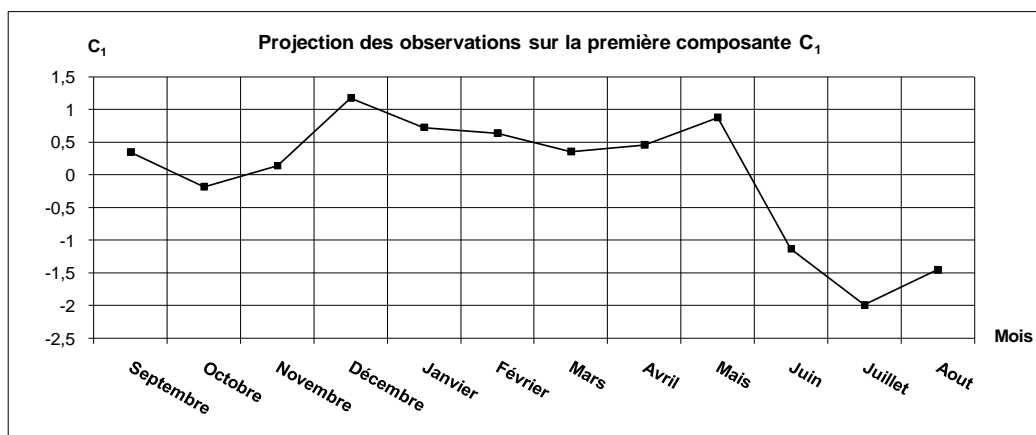


Figure (III.13) : Projection des observations sur la première composante  $C_1$ .

La figure (III.13) présente la variation valeurs du vecteur  $C_1$  à l'échelle mensuelle durant les quatre années d'études, on peut citer trois on peut citer trois régimes pluviométriques dans la région d'étude:

- Un régime monomodal (maritime) : caractérisé par une forte pluie hivernale et une augmentation rapide des précipitations à partir de Novembre jusqu'à Avril, puis une décroissance régulière jusqu'à un minimum estival.
- Un régime de transition Tellien : avec un maximum pluviométrique principal en Décembre, et décroissement à partir de Mars et Avril. Il correspond aux stations situées dans la zone médiane de la région d'étude (Koudiat Tendart, Mechta Khelouta, Chelgoum el Aid, Bir el arch).
- Un régime continental : caractérisé par l'abondance relative des pluies Printemp-Eté et la présence de deux maximums, l'un en Hiver (Décembre, Janvier) et l'autre au printemps (Mars et Avril). Ce régime s'identifie au secteur des Hautes plaines (Chelgoum el aid).

### III.3 Variation saisonnière des précipitations :

La variation saisonnière des précipitations est présentée par les figures mentionnées ci-dessous :

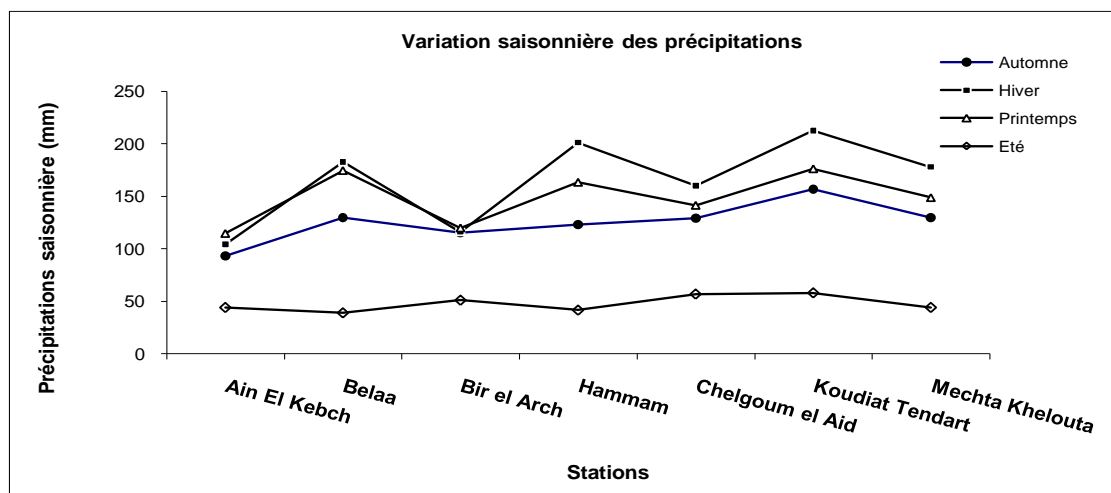


Figure (III.14) : Variation saisonnière des précipitations.

La figure (III.14) montre la répartition saisonnière des précipitations annuelles dans les différentes stations de la région d'étude. L'analyse graphique de cette figure montre :

- A l'Eté, les précipitations moyennes des stations sont très faibles (un minimum de 38 mm a été enregistré à la station de Belaa), elle est faible au Nord par rapport au Sud de la région d'étude, cela peut être expliqué par les crues intense de l'Eté.
- Au printemps et Automne, les précipitations varient de 93,11 mm (station Ain el Kebch) à 176 mm (station Koudiat), on remarque que les valeurs des précipitations du printemps proches à celles de l'Automne.
- A l'Hiver, une variation remarquable des précipitations par rapport aux autres saisons, avec une précipitation de l'ordre de 104,16 mm (Ain el Kebch) comparée à environ à 212mm (station Koudiat).
- On remarque que la majorité des minimums sont enregistrés au droit de la station d'Ain El Kebch alors que les maximums sont enregistrés à la station d'El Koudiat.

### III.4 Ajustement des précipitations maximales journalières à une loi de probabilité

L'étude des précipitations journalières s'avère nécessaire pour avoir étudié l'irrégularité des précipitations. Le tableau (III.22) donne les pluies maximales des stations représentatives.

L'ajustement des précipitations maximales a donné les résultats présentés dans le tableau (III.23) pour la station représentative de notre étude.

*Tableau (III.22) : Précipitations maximales journalières en mm aux stations : Hammam, Koudiat, Belaa, Tadjnanet, Bir el Arch, Ain el Kebch, Mechta, Chelgoum. (A.N.R.H de Constantine)*

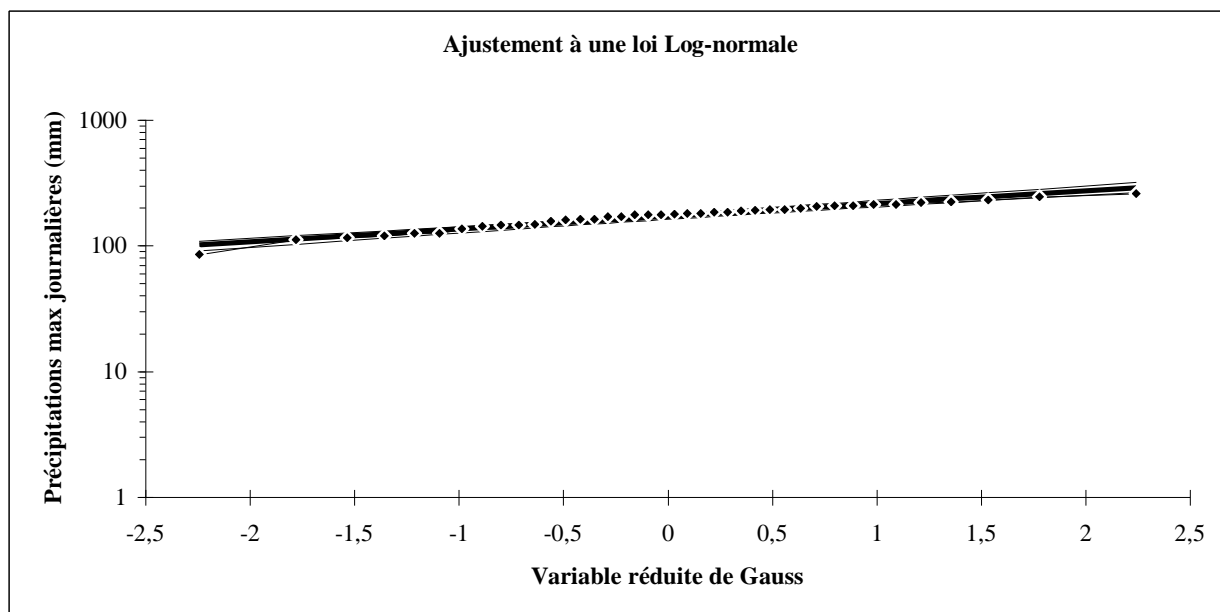
Code	100110	100208	100302	100303	100306	100307	100308	100312
Année /ST	Hammam	Koudiat	Belaa	Tdjnanet	Bir el arch	Ain el kebch	Mechta	Chelgoum
1970	106,72	124,75	124,10	58,00	58,09	100,24	127,43	31,39
1971	183,67	207,30	177,80	53,20	111,12	174,83	147,13	57,02
1972	183,25	206,37	176,10	93,90	184,60	229,04	144,50	131,62
1973	107,00	190,05	137,60	114,80	125,70	169,70	168,13	98,53
1974	166,00	170,08	158,40	118,10	112,20	119,02	189,60	93,66
1975	184,10	199,15	210,00	182,90	195,30	106,79	171,65	216,72
1976	172,70	184,51	151,50	187,90	147,80	134,10	187,90	167,97
1977	129,70	116,22	96,50	96,50	98,00	114,40	105,60	92,00
1978	116,90	146,70	165,30	151,50	126,80	112,20	116,60	116,80
1979	141,65	162,20	128,00	161,40	141,50	162,10	158,80	122,10
1980	75,40	163,00	155,30	137,40	107,20	127,50	145,36	148,48
1981	180,90	176,80	159,50	166,40	116,40	113,60	170,20	163,13
1982	120,20	119,40	110,95	126,50	65,20	98,10	150,90	68,39
1983	202,10	135,74	122,40	141,80	98,92	113,80	195,62	43,45
1984	183,20	193,20	157,40	214,30	144,00	146,30	198,60	203,28
1985	149,90	156,50	126,60	145,80	155,50	100,50	151,00	154,40
1986	187,10	245,90	220,40	173,40	210,00	115,93	126,80	187,10
1987	139,01	176,30	118,36	141,30	107,50	121,50	97,50	141,50
1988	160,57	207,60	147,59	186,80	142,55	150,04	127,00	199,70
1989	129,55	148,60	156,40	181,35	177,71	141,18	139,57	149,30
1990	215,86	193,50	212,30	186,66	186,36	172,90	101,53	193,10
1991	199,29	231,80	218,80	174,07	164,85	177,20	64,30	255,60
1992	158,20	179,60	110,80	145,28	166,30	134,30	52,49	160,80
1993	115,30	125,40	106,80	107,76	94,50	98,30	58,50	130,70
1994	162,78	142,10	118,87	132,30	105,53	111,47	92,80	151,30
1995	193,69	220,60	106,10	210,65	179,50	165,20	211,50	197,40
1996	109,90	146,70	92,82	129,60	96,30	73,07	150,50	117,00
1997	139,80	160,00	110,24	145,20	137,60	129,65	173,50	129,00
1998	140,72	258,50	177,60	177,90	134,70	191,24	158,70	177,20
1999	123,80	212,90	163,41	165,90	124,20	205,95	120,70	130,10
2000	142,35	111,90	74,10	75,20	74,10	98,71	122,00	86,20
2001	101,70	85,30	155,30	113,80	77,40	67,70	117,94	101,80
2002	212,75	212,60	184,00	214,40	200,00	187,50	211,15	235,90
2003	220,60	192,02	210,70	254,60	187,80	147,75	265,60	204,70
2004	256,87	184,92	166,80	195,20	122,95	139,40	186,39	181,20
2005	158,18	179,29	166,70	156,70	145,67	133,53	188,58	171,56
2006	144,07	175,95	211,80	128,90	156,75	137,43	114,56	113,10
2007	165,25	169,44	241,30	168,30	187,90	151,11	234,29	144,30
2008	218,01	221,98	265,70	173,00	129,50	204,79	173,69	238,23
2009	195,99	181,06	154,40	170,90	153,80	144,31	175,75	177,70
Max	256,87	258,50	265,70	254,60	210,00	229,04	265,60	378,00
Min	75,40	85,30	74,10	53,20	58,09	67,70	52,49	78,60
Moyenne	159,75	174,80	156,82	151,99	136,41	138,77	150,65	176,00
Variance	1531,44	1437,44	1876,20	1806,51	1485,32	1314,52	2119,00	3632,46
Ecart-Typ	39,13	37,91	43,32	42,50	38,54	36,26	46,03	60,27
Coef d'assy	0,17	-0,09	0,40	-0,27	-0,03	0,40	-0,02	0,83
Coef d'aplat	-0,33	-0,13	-0,18	0,30	-0,73	-0,05	0,16	-0,31
Coef de varria	0,24	0,22	0,28	0,28	0,28	0,26	0,31	0,34

**Tableau (III.23) : Précipitations maximales journalières et leurs fréquences expérimentales.**  
pour la station représentative de la zone d'étude (Koudiat 100208).

Taille=41 Moylogx=2,233 E.T.logx=0,1018 UGauss=1,9604 I.C.à (en %)=95

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
124,75	85,3	1	0,013	-2,242	85,3	101,11	85,34	113,61
207,3	111,9	2	0,038	-1,781	111,9	112,65	97,56	124,70
206,37	116,22	3	0,063	-1,534	116,22	119,35	104,72	131,17
190,05	119,4	4	0,088	-1,357	119,4	124,43	110,16	136,11
170,08	124,75	5	0,113	-1,213	124,75	128,67	114,70	140,26
199,15	125,4	6	0,138	-1,092	125,4	132,40	118,69	143,93
184,51	135,74	7	0,163	-0,984	135,74	135,78	122,29	147,29
116,22	142,1	8	0,188	-0,887	142,1	138,91	125,61	150,42
146,7	146,7	9	0,213	-0,798	146,7	141,85	128,73	153,39
162,2	146,7	10	0,238	-0,714	146,7	144,65	131,68	156,24
163	148,6	11	0,263	-0,635	148,6	147,35	134,51	159,01
176,8	156,5	12	0,288	-0,560	156,5	149,96	137,23	161,72
119,4	160	13	0,313	-0,488	160	152,52	139,87	164,39
135,74	162,2	14	0,338	-0,419	162,2	155,02	142,45	167,04
193,2	163	15	0,363	-0,351	163	157,49	144,98	169,68
156,5	169,44	16	0,388	-0,285	169,44	159,95	147,47	172,32
245,9	170,08	17	0,413	-0,221	170,08	162,39	149,93	174,98
176,3	175,95	18	0,438	-0,157	175,95	164,84	152,37	177,67
207,6	176,3	19	0,463	-0,094	176,3	167,29	154,80	180,39
148,6	176,8	20	0,488	-0,031	176,8	169,77	157,23	183,17
193,5	179,29	21	0,513	0,031	179,29	172,27	159,67	186,01
231,8	179,6	22	0,538	0,094	179,6	174,82	162,13	188,93
179,6	181,06	23	0,563	0,157	181,06	177,43	164,62	191,95
125,4	184,51	24	0,588	0,221	184,51	180,10	167,14	195,07
142,1	184,92	25	0,613	0,285	184,92	182,85	169,72	198,33
220,6	190,05	26	0,638	0,351	190,05	185,70	172,37	201,73
146,7	192,02	27	0,663	0,419	192,02	188,66	175,09	205,31
160	193,2	28	0,688	0,488	193,2	191,76	177,91	209,09
258,5	193,5	29	0,713	0,560	193,5	195,02	180,84	213,12
212,9	199,15	30	0,738	0,635	199,15	198,48	183,93	217,44
111,9	206,37	31	0,763	0,714	206,37	202,18	187,19	222,10
85,3	207,3	32	0,788	0,798	207,3	206,18	190,67	227,20
212,6	207,6	33	0,813	0,887	207,6	210,55	194,43	232,83
192,02	212,6	34	0,838	0,984	212,6	215,40	198,57	239,16
184,92	212,9	35	0,863	1,092	212,9	220,89	203,20	246,42
179,29	220,6	36	0,888	1,213	220,6	227,29	208,52	254,98
175,95	221,98	37	0,913	1,357	221,98	235,05	214,87	265,50
169,44	231,8	38	0,938	1,534	231,8	245,06	222,96	279,30
221,98	245,9	39	0,963	1,781	245,9	259,63	234,53	299,79
181,06	258,5	40	0,988	2,242	258,5	289,26	257,44	342,72

Fréquence	U de Gauss	Valeur théo.	Borne inf.	Borne sup.	Valeur	Fréq. théo.	Pér. Ret.
0,8	0,841	208,31	192,51	229,94	208,31	0,8	5
0,9	1,282	230,96	211,53	259,93	230,96	0,9	10
0,95	1,645	251,50	228,11	288,31	251,50	0,95	20
0,98	2,054	276,81	247,90	324,49	276,81	0,98	50
0,99	2,327	295,08	261,86	351,33	295,1	0,99	100
0,998	2,879	335,82	292,23	413,12	335,83	0,998	500



**Figure (III.15) :** Ajustement des précipitations maximales journalières à la loi log normale (station Koudiat Tendart).

**Tableau (III.24) :** Equations de la droite de Galton : Précipitations maximales journalières.

Nom	Code	Droite de Galton
Hammam	100110	$\text{LogP}_{\text{maxi}}\% = 2,19 + 0,11\text{Up}\%$
Koudiat Tendart	100208	$\text{LogP}_{\text{maxi}}\% = 2,23 + 0,1\text{Up}\%$
Belaa	100302	$\text{LogP}_{\text{maxi}}\% = 2,18 + 0,12\text{Up}\%$
Tadjnanet	100303	$\text{LogP}_{\text{maxi}}\% = 2,16 + 0,143\text{Up}\%$
Bir el Arch	100306	$\text{LogP}_{\text{maxi}}\% = 2,11 + 0,13\text{Up}\%$
Ain el Kebch	100307	$\text{LogP}_{\text{maxi}}\% = 2,127 + 0,116\text{Up}\%$
Mechta Khalouta	100308	$\text{LogP}_{\text{maxi}}\% = 2,15 + 0,15\text{Up}\%$
Chelgoum el aid	100312	$\text{LogP}_{\text{maxi}}\% = 2,13 + 0,19\text{Up}\%$

**Tableau (III.25) :** Précipitations maximales pour différentes périodes de retour.

Fréquence	5	10	20	50	100	500/1000
Hammam	192,23	215,22	236,27	262,41	281,45	342,40
Koudiat Tendart	208,31	230,96	251,50	276,81	295,1	335,83
Belaa	191,57	217,01	240,54	270,07	291,80	450
Tadjnanet	191,49	221,43	249,64	285,71	312,65	402,20
Bir el arch	169,42	194,12	217,21	246,48	268,20	339,60
Ain el Kebch	168,06	189,12	208,49	232,65	250,33	307,20
Mechta Khelouta	191,90	224,04	254,48	293,96	323,59	423,20
Chelgoum el aid	198,31	241,51	284,18	341,27	385,60	542,71

### III.5 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) est donnée par l'expression suivante :

Pour la station pluviométrique Koudiat Tendart (100208), les paramètres a et b sont donnés respectivement : a=0,411 b=0,267 (ANRH.Constantine).

**Tableau (III.26) : Pluies courtes 24 h pour –station Koudiat-.**

Période de retour	5	10	20	50	100	500/1000
koudiat	208,31	230,96	251,50	276,81	295,1	335,83

La pluie maximale journalière probable  $P_{\max,j p\%}$  est déterminée par l'ajustement des pluies maximales journalières à une loi statistique (Gumbel, log normale)

Avec :

t : Durée de pluie

b : Exposant climatique

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

L'intensité de la pluie est déterminée par la formule de Montanari :  $\frac{P_{p\%}}{24}$

Avec :

I : intensité d'une fréquence (mm/h)

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

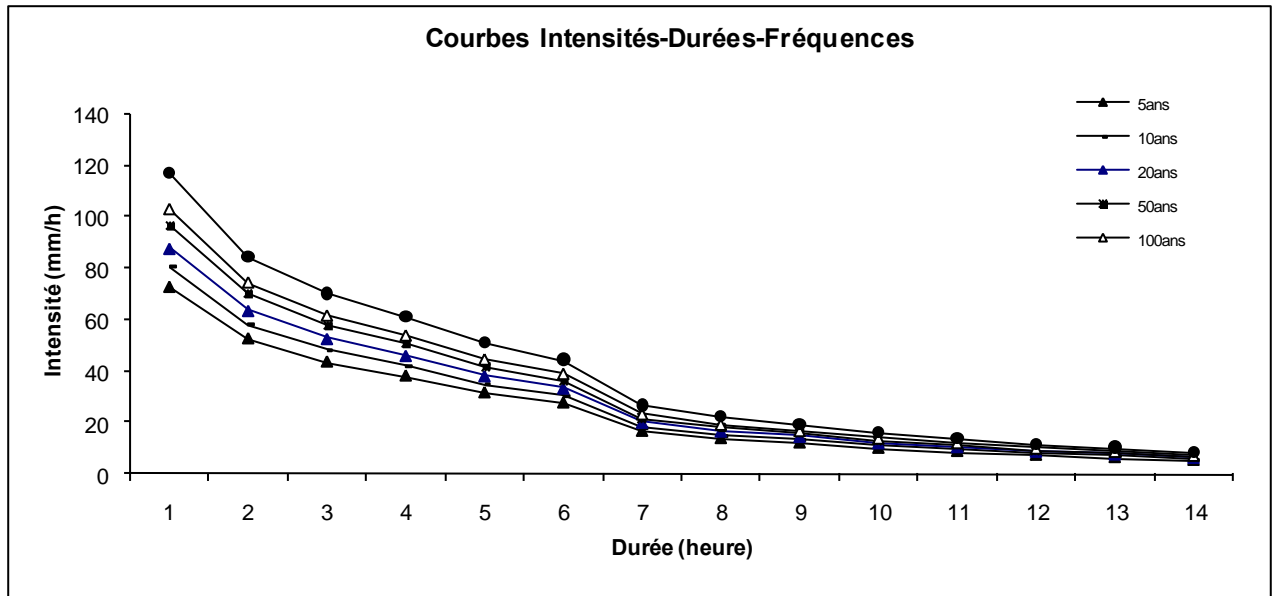
t : Durée de l'averse en heure

b : exposant climatique

Les résultats de calcul sont présentés dans le tableau (III.27) pour la station : Koudiat.

**Tableau (III.27) : Intensité-Durée-Fréquence pour la station d'el Koudiat Tendart.**

Périodes de retour	Temps(h)	0,25	0,5	0,75	1	1,5	2	6	9	12	18	24	36	48	72
5 ans	Pluie (mm)	61,58	74,10	82,57	89,16	99,36	107,29	143,87	160,32	173,12	192,91	208,31	232,13	250,66	279,32
	Intensité (mm/h)	72,82	52,72	43,64	38,17	31,60	27,63	16,56	13,71	11,99	9,92	8,68	7,19	6,28	5,20
10ans	Pluie (mm)	68,28	82,16	91,55	98,86	110,16	118,96	159,51	177,75	191,94	213,88	230,96	257,37	277,91	309,69
	Intensité (mm/h)	80,74	58,45	48,39	42,32	35,03	30,64	18,36	15,20	13,29	11,00	9,62	7,97	6,97	5,77
20ans	Pluie (mm)	74,35	89,46	99,69	107,65	119,96	129,54	173,70	193,55	209,01	232,91	251,50	280,26	302,63	337,23
	Intensité (mm/h)	87,92	63,65	52,69	46,08	38,15	33,36	19,99	16,55	14,47	11,98	10,48	8,67	7,59	6,28
50ans	Pluie (mm)	81,83	98,47	109,73	118,49	132,03	142,57	191,18	213,03	230,04	256,34	276,81	308,46	333,09	371,17
	Intensité (mm/h)	96,76	70,05	57,99	50,72	41,98	36,72	22,01	18,22	15,93	13,19	11,53	9,55	8,35	6,91
100ans	Pluie (mm)	87,24	104,97	116,98	126,31	140,76	151,99	203,81	227,11	245,24	273,28	295,10	328,84	355,09	395,70
	Intensité (mm/h)	103,16	74,68	61,82	54,07	44,76	39,14	23,46	19,42	16,98	14,06	12,30	10,18	8,90	7,37
1000ans	Pluie (mm)	99,28	119,46	133,12	143,75	160,18	172,97	231,94	258,46	279,09	311,00	335,83	374,23	404,11	450,31
	Intensité (mm/h)	117,39	84,99	70,36	61,53	50,94	44,55	26,70	22,10	19,33	16,00	13,99	11,58	10,13	8,39



*Figure (III.16) : Courbes intensité-Durée-Fréquence pour la station el Koudiat Tendart.*

**Conclusion**

L'analyse de la répartition pluviométrique dans la zone d'étude nous a permis d'expliquer quantitativement les variations des composantes du régime hydrique.

L'étude de la répartition des précipitations moyennes annuelles a montrée des années humides et d'autres sèches.

Pour les répartitions mensuelles et saisonnières, on peut distinguer deux périodes : celle sèche qui correspond à la saison d'Eté caractérisée par un déficit pluviométrique bien marqué, et l'autre humide (le reste de l'année) qui est marquée elle-même par une succession en mois humides et d'autre relativement secs.

Les mois les plus pluvieux se situent en Hiver (Décembre et Février), ou en Printemps, Alors que les plus secs sont ceux de Juillet et Aout.

Les précipitations moyennes mensuelles sont faibles au Nord par rapport au Sud dans les stations pluviométriques de la zone d'étude, cela peut être expliqué par les cures intenses d'Eté.

Ces variations en relation avec les facteurs thermiques conditionnent l'érodabilité du sol et le transport solide en suspension et par conséquent le régime hydrique du cour d'eau "Oued Enndja".

Chapitre IV  
Analyse des écoulements

**Introduction**

Une évaluation précise des ressources en eau et de leur variabilité passe par la prise en compte des :

- débits moyens annuels et bilans hydrologiques,
- régimes fluviaux et variations saisonnières des débits,
- débits moyens journaliers,
- intensités des débits extrêmes des crues et des étiages ainsi que leur fréquence.

L'originalité pluviale méditerranéenne du régime sera dégagée à travers les variations saisonnières moyennes des débits.

La totalité de la surface d'étude estimée par 3399 Km<sup>2</sup> est composée par les trois sous-bassins (Oued Déhamcha Kébir amont "10-01" avec une superficie de 1067 Km<sup>2</sup>, Oued Kébir amont Enndja "10-02" avec une superficie de 1102 Km<sup>2</sup>, et Oued Kébir amont "10-03" avec une superficie de 1230 Km<sup>2</sup>. Le bassin d'étude est contrôlé par une seule station hydrométrique qui est celle de Tassadane.

### IV.1 Influences des paramètres : apport liquides, $M_0$ , lame écoulee, coefficient d'écoulement sur le débit d'écoulement

L'étude des modules 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 tableau (IV.1) illustre les données fournies par l'A.N.R.H pour la station hydrométrique de Tassadane concernant les débits maximaux "Q max", minimaux "Qmin", moyens "Qmoy", et ainsi leur apport "App", leur débits spécifiques " $M_0$ ", la lame ruisselée "Lr", le coefficient de l'hydraulicité "Ki" et enfin le coefficient de modération "Ri" calculés pour une période de 30 ans de 1973 jusqu'au 2003.

**Tableau (IV.1) : Caractéristiques de l'écoulement à la station de Tassadane 100109.**  
(A.N.R.H de Constantine)

Année	Qmax(m3/s)	Qmin (m3/s)	Qmoy (m3/s)	App (hm3)	Mo (l/s/km <sup>2</sup> )	Lr (mm)	Ki	Ri
1973/1974	196,80	0,20	3,69	115,1	1,09	33,86	1,18	62,88
1974/1975	121,60	0,21	1,71	53,02	0,50	15,60	0,55	38,85
1975/1976	136,00	0,21	4,38	136,91	1,29	40,28	1,40	43,45
1976/1977	100,00	0,10	2,63	82,84	0,77	24,37	0,84	31,95
1977/1978	151,60	0,04	3,14	97,44	0,92	28,67	1,00	48,43
1978/1979	224,00	0,00	2,53	79,44	0,74	23,37	0,81	71,57
1979/1980	115,40	0,18	1,73	54,69	0,51	16,09	0,55	36,87
1980/1981	516,00	0,12	2,50	78,58	0,74	23,12	0,80	164,86
1981/1982	141,20	0,20	5,25	163,69	1,54	48,16	1,68	45,11
1982/1983	147,70	0,01	2,56	80,77	0,75	23,76	0,82	47,19
1983/1984	366,20	0,13	5,29	163,8	1,56	48,19	1,69	117,00
1984/1985	254,40	0,27	9,66	304,82	2,84	89,68	3,09	81,28
1985/1986	58,68	0,02	1,96	61,57	0,58	18,11	0,63	18,75
1986/1987	90,22	0,02	6,09	189,75	1,79	55,83	1,95	28,82
1987/1988	44,50	0,00	1,10	34,95	0,32	10,28	0,35	14,22
1988/1989	141,20	0,06	2,91	91,35	0,86	26,88	0,93	45,11
1989/1990	127,60	0,09	0,72	22,79	0,21	6,70	0,23	40,77
1990/1991	184,40	0,09	4,42	138,33	1,30	40,70	1,41	58,91
1991/1992	127,00	0,08	2,58	81,21	0,76	23,89	0,82	40,58
1992/1993	97,50	0,06	3,18	100,75	0,94	29,64	1,02	31,15
1993/1994	235,40	0,06	2,77	83,4	0,81	24,54	0,88	75,21
1994/1995	291,20	0,04	4,38	139,48	1,29	41,04	1,40	93,04
1995/1996	260,80	0,04	2,37	73,73	0,70	21,69	0,76	83,32
1996/1997	23,56	0,00	0,42	13,29	0,12	3,91	0,13	7,53
1997/1998	167,60	0,01	2,08	65,4	0,61	19,24	0,66	53,55
1998/1999	97,20	0,03	2,68	82,85	0,79	24,37	0,86	31,05
1999/2000	38,00	0,02	0,69	21,87	0,20	6,43	0,22	12,14
2000/2001	86,00	0,01	1,33	41,08	0,39	12,09	0,42	27,48
2001/2002	136,00	0,00	0,46	14,54	0,14	4,28	0,15	43,45
2002/2003	509,20	0,00	8,80	276,13	2,59	81,24	2,81	162,68
Max	516,00	0,27	9,66	304,82	2,84	89,68	3,09	164,86
Min	23,56	0,00	0,42	13,29	0,12	3,91	0,13	7,53
Moyenne	172,90	0,08	3,13	98,12	0,92	28,87	1,00	55,24
Ecart type	120,47	0,08	2,20	69,09	0,65	20,33	0,70	38,49
Médiane	138,60	0,05	2,61	82,03	0,77	24,13	0,83	44,28
Coef d'asy	1,61	1,02	1,45	1,48	1,45	1,48	1,45	1,61
Coef d'aplat	2,68	-0,12	2,42	2,53	2,41	2,53	2,42	2,68
C.variation	0,70	1,02	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70

Lr=Apport/surface (débit) (lame ruisselée)

- **Débits moyens annuels " Q<sub>moy</sub>"**

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<sup>3</sup>/s et le module spécifique se traduit en L s<sup>-1</sup> km<sup>-2</sup>. Nous disposons de séries de données hydrométriques représentant 30 ans d'observation de 1973 à 2002.

- **Variations du débit annuel moyen spécifique " M<sub>0</sub>" (l/s/km<sup>2</sup>) :**

Afin de mieux cerner la variation de l'écoulement dans la zone d'étude, nous utiliserons le débit annuel moyen spécifique, car ce dernier permet de mieux préciser le débit à l'unité de surface. L'abondance spécifique des trois sous-bassins varie d'une part en fonction de la distribution des précipitations et d'autre part en fonction des caractéristiques physiographiques de chaque sous-bassin, à savoir la lithologie, le couvert végétal. C'est donc un élément purement géographique.

- **L'irrégularité inter annuelle et la répartition statistique**

L'irrégularité inter annuelle de l'écoulement peut être mesurée par les variations de l'hydraulicité " k<sub>i</sub>", c'est à dire le rapport du débit d'une année particulière Q<sub>i</sub> au débit moyen d'une longue série d'observation (Q<sub>moy</sub>). Elle peut être complétée par d'autres critères statistiques simples tels que le coefficient de variation " C<sub>v</sub>", ainsi que le coefficient d'immodération (R) donné par le rapport des modules extrêmes (R = Q<sub>M</sub>/Q<sub>m</sub>).

Les valeurs des variations interannuelles des modules "k<sub>i</sub>," C<sub>v</sub> "données dans tableau (IV.1), montrent de fortes fluctuations de débits d'une année à l'autre ainsi qu'une indigence quasi- générale de l'écoulement pendant ces sept dernières années. En témoignent les valeurs de l'hydraulicité qui sont en majorité inférieures à la moyenne annuelle.

En effet, 60% des années hydrologiques sont déficitaires. Ce fait, confirme l'hypothèse de la tendance climatique "sèche" de ces deux dernières décennies.

Certaines valeurs des modules annuels sont élevées, conséquence aux fortes crues de saison froide qu'avaient connue ces trois sous-bassins.

- **Coefficient d'immodération R**

Les coefficients d'immodération (tableau IV.1) sont eux aussi élevés, ils varient entre 7,53 et 164,86, cette dernière valeur remarquable montre l'irrégularité accentuée des débits inter annuels dans la zone d'étude.

- **Coefficient de variation**

La variation inter annuelle peut être aussi précisée par le coefficient de variation (C<sub>v</sub>) (tableau IV.1). La valeur du coefficient de variation est élevée. Cette variabilité dans l'ensemble est liée à l'alimentation essentiellement pluviale irrégulière des cours d'eau, d'autant plus qu'il s'agit d'une période climatique "sèche".

IV.1.1 Influence des paramètres sur le débit moyen ( $Q_{moy}$ )

- Influence de la lame écoulee sur le débit moyen liquide

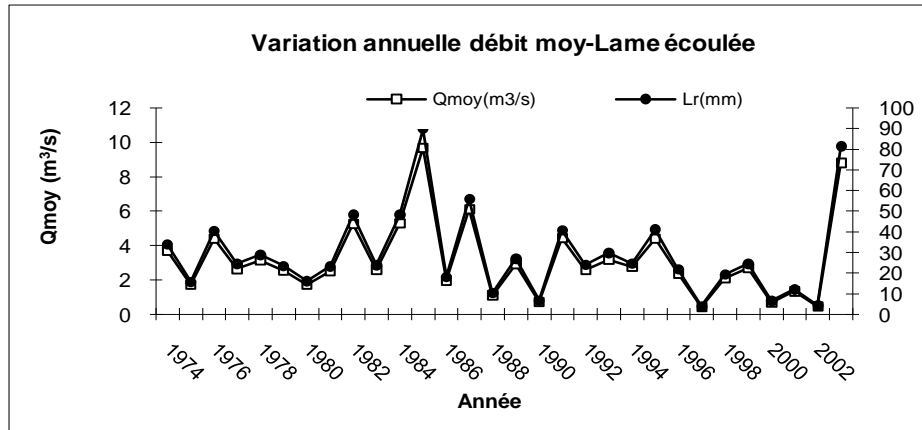


Figure (IV.4) : Variation annuelle du Débit moyen et de la lame écoulee station Tassadane.

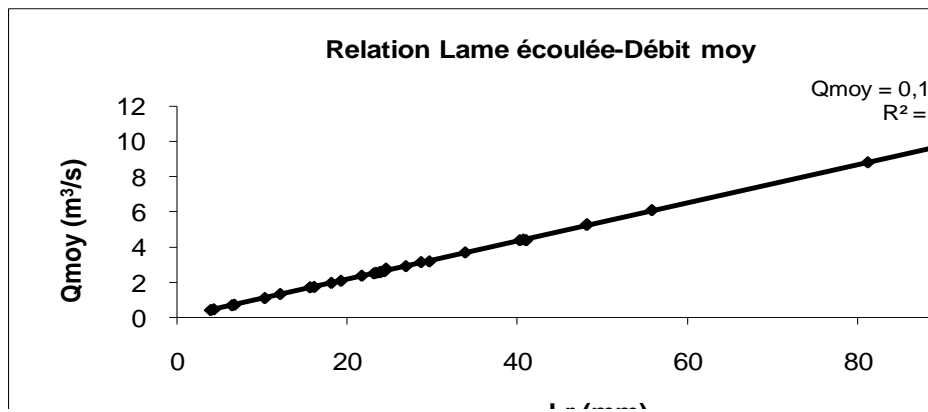


Figure (IV.5) : Relation Débit moyen-Lame écoulee station Tassadane.

- Influence du coefficient d'écoulement sur le débit moyen liquide

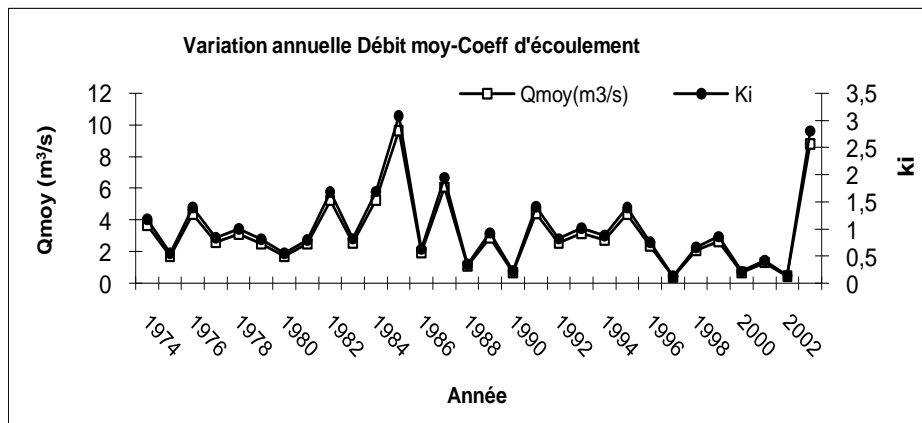


Figure (IV.6) : Variation annuelle du Débit moyen et du coefficient d'écoulement station Tassadane.

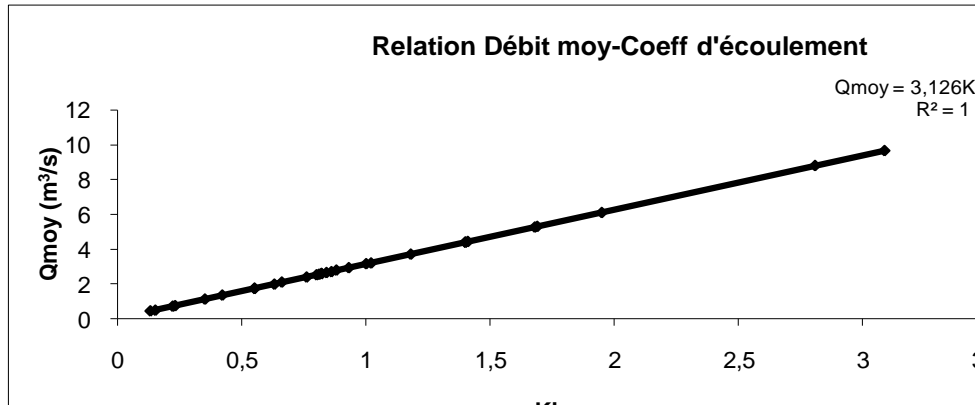


Figure (IV.7) : Relation Débit moyen-Lame écoulée station Tassadane.

#### IV.1.2 Influence des paramètres Débit max (Qmax)

- Influence d'apport liquide sur le débit max liquide

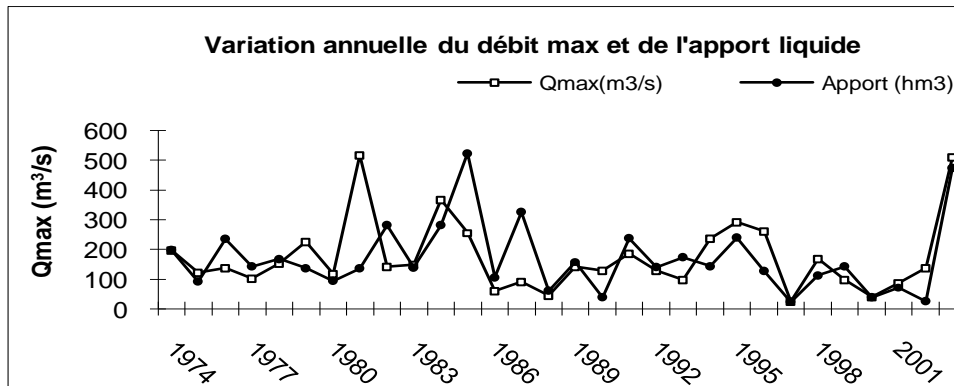


Figure (IV.8) : Variation annuelle du Débit max et de l'apport liquide station Tassadane.

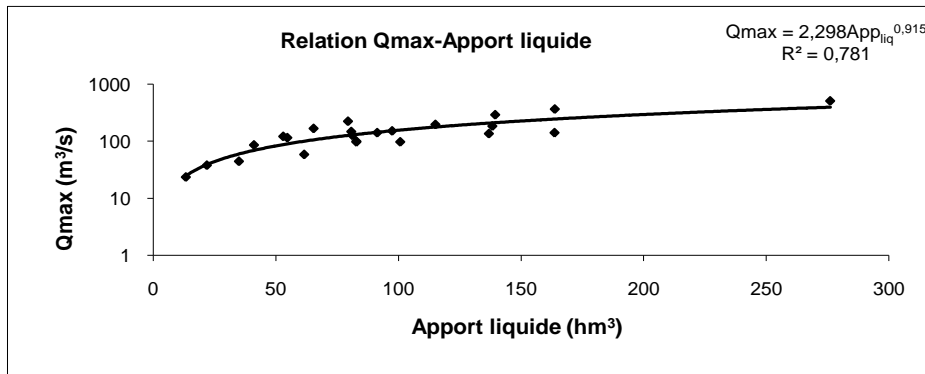


Figure (IV.9) : Relation : Débit max-apport liquide station Tassadane.

- Influence de  $M_0$  sur le débit max liquide

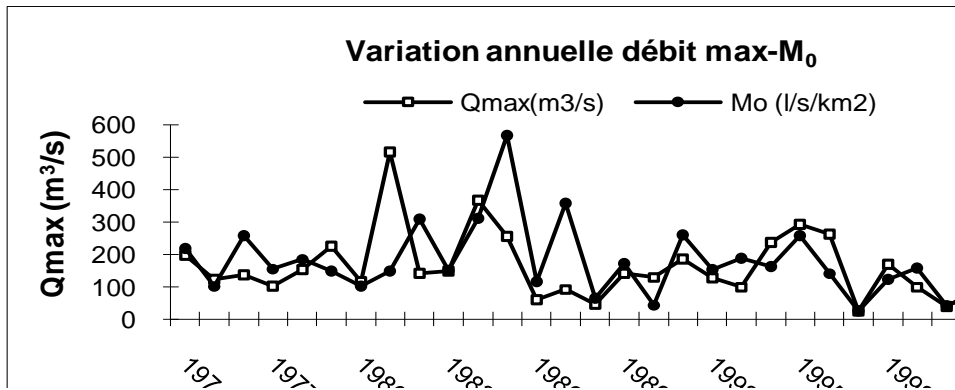


Figure (IV.10) : Variation annuelle du Débit max et de  $M_0$  station Tassadane.

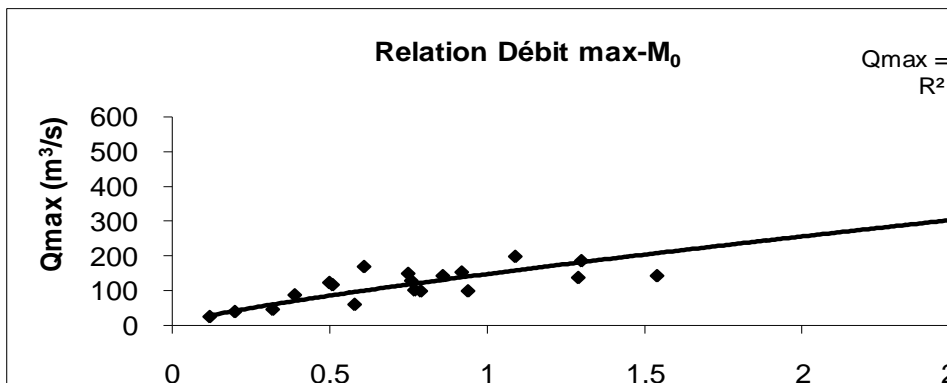


Figure (IV.11) : Relation : Débit max- $M_0$  station Tassadane.

- Influence de la lame écoulee sur le débit max liquide

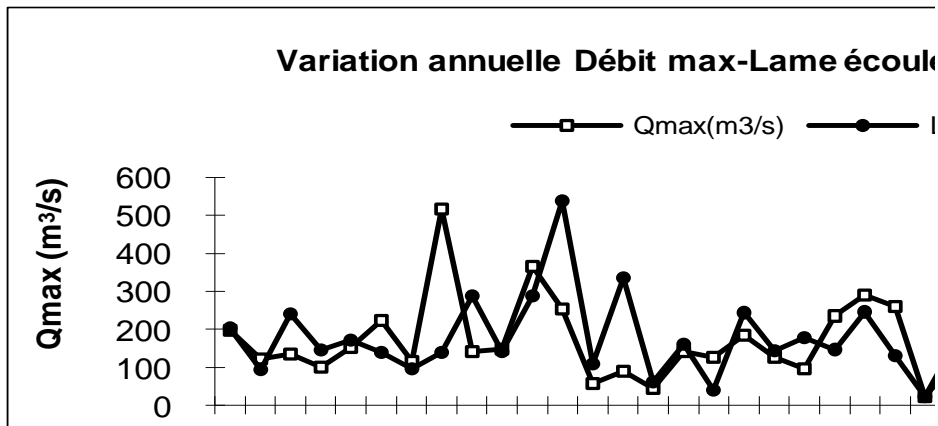


Figure (IV.12) : Variation annuelle du Débit max et de la lame écoulee station Tassadane.

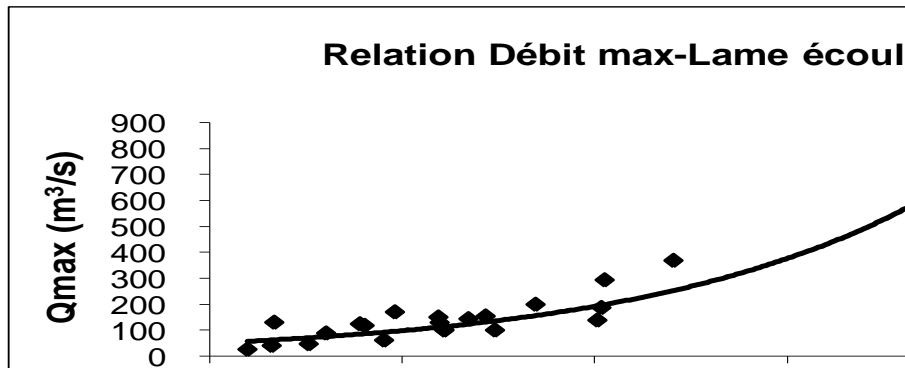


Figure (IV.13) : Relation : Débit max-Lame écouée station Tassadane

- Influence du coefficient d'écoulement sur le débit max liquide

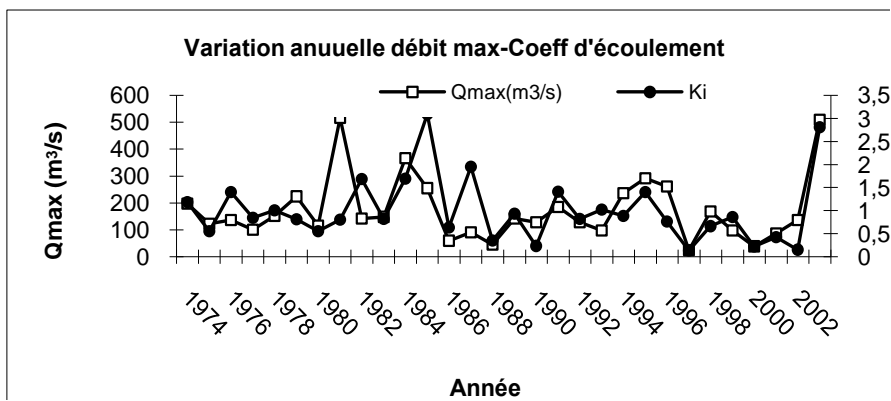


Figure (IV.14) : Variation annuelle du Débit max et du coefficient d'écouement station Tassadane.

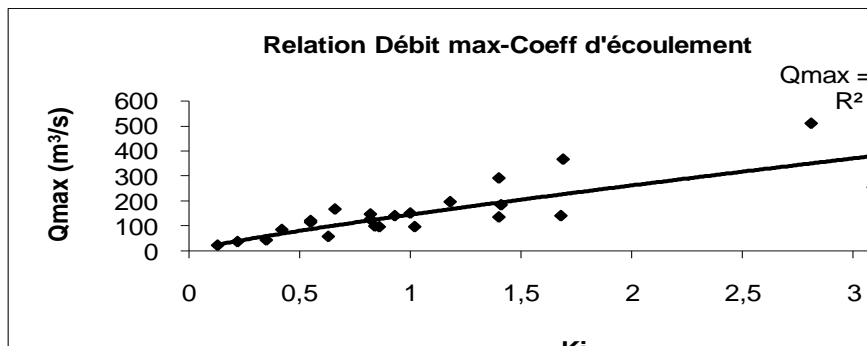


Figure (IV.15) : Relation : Débit max-Coefficient d'écouement station Tassadane.

Les variations interannuelles de l'écoulement ont été mentionnées dans les tableaux suivant :

**Tableau (IV.2) :** Variation interannuelle de l'écoulement de la station Tassadane ( $Q_{max}$ ).

Station hydrométrique	Paramètre de variation	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avril	Mais	Juin	Juillet	Aout
Tassadane	$Q_{max_{mov}}$	51,25	25,85	34,56	69,82	53,87	66,72	53,38	53,50	33,96	27,11	10,80	8,01
	E-Type	68,55	37,01	59,21	102,67	91,59	85,85	57,60	77,38	33,04	48,32	28,15	13,22
	Cv	1,34	1,43	1,71	1,47	1,70	1,29	1,08	1,45	0,97	1,78	2,61	1,65

**Tableau (IV.3) :** Variation interannuelle de l'écoulement de la station Tassadane ( $Q_{min}$ ).

Station hydrométrique	Paramètre de variation	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avril	Mais	Juin	Juillet	Aout
Tassadane	$Q_{min_{mov}}$	0,19	0,23	0,35	0,44	1,44	1,97	2,22	1,31	0,72	0,36	0,25	0,20
	E-Type	0,21	0,20	0,28	0,28	2,18	2,72	2,59	1,14	0,62	0,31	0,27	0,26
	Cv	1,11	0,86	0,80	0,64	1,51	1,38	1,17	0,87	0,86	0,87	1,11	1,35

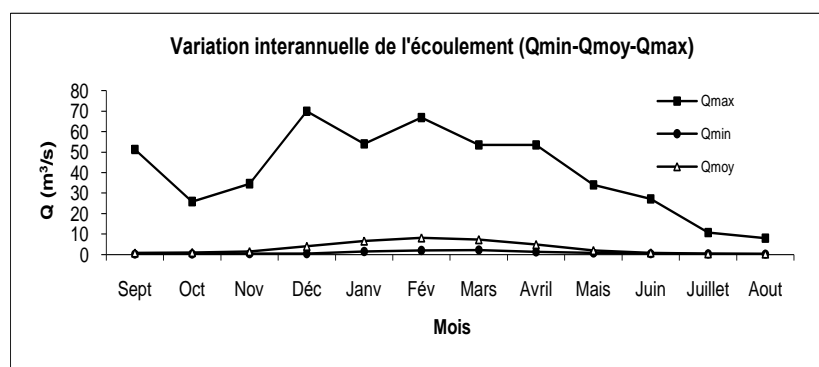
**Tableau (IV.4) :** Variation interannuelle de l'écoulement de la station Tassadane ( $Q_{mens}$ ).

Station hydrométrique	Paramètre de variation	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avril	Mais	Juin	Juillet	Aout
Tassadane	$Q_{mens_{mov}}$	0,81	1,00	1,45	3,97	6,57	8,09	7,24	4,86	1,97	0,88	0,43	0,34
	E-Type	0,69	1,39	1,57	4,09	7,84	7,69	7,31	4,89	1,35	0,63	0,44	0,36
	Cv	0,85	1,39	1,08	1,03	1,19	0,95	1,01	1,01	0,68	0,71	1,04	1,08

**Tableau (IV.5) :** Variation interannuelle de l'écoulement de la station Tassadane (Apport).

Station hydrométrique	Paramètre de variation	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avril	Mais	Juin	Juillet	Aout
Tassadane	$App_{mov}$	2,10	2,68	3,76	10,63	17,59	19,76	19,38	12,60	5,29	2,29	1,14	0,91
	E-Type	1,76	3,67	3,99	10,77	20,64	18,66	19,24	12,46	3,54	1,60	1,16	0,96
	Cv	0,84	1,37	1,06	1,01	1,17	0,94	0,99	0,99	0,67	0,70	1,02	1,06

- Variation interannuelle de l'écoulement ( $Q_{min}$ - $Q_{moy}$ - $Q_{max}$ )



**Figure (IV.16) :** Variation interannuelle de l'écoulement (débit max) -station Tassadane-.

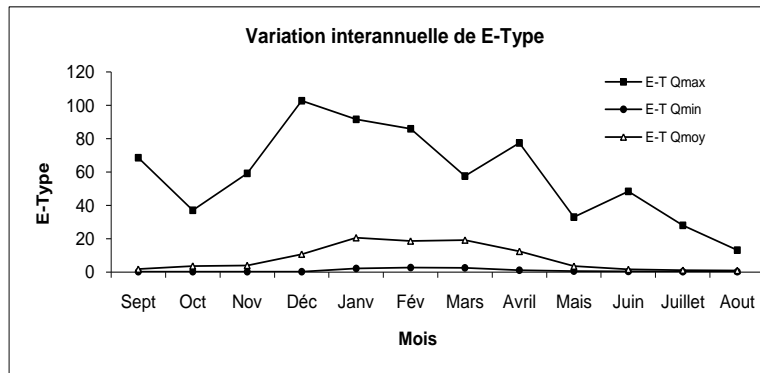


Figure (IV.17) : Variation interannuelle de l'écart-type -station Tassadane-.

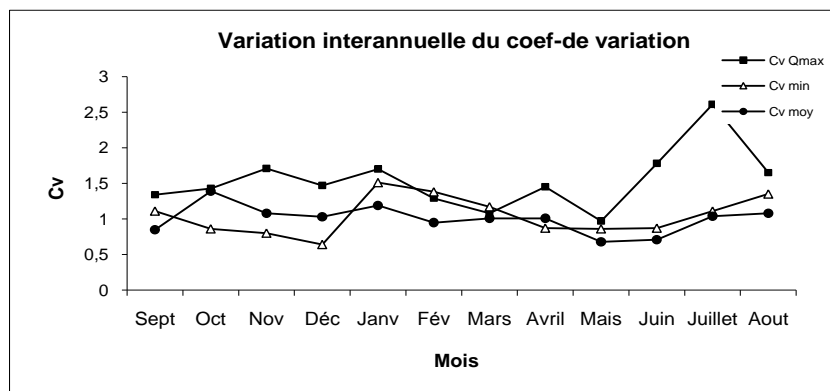


Figure (IV.18) : Variation interannuelle du coef de variation -station Tassadane-.

### IV.1.3 Interprétation :

D'après les graphes et les tableaux ci-dessus, on remarque des variations presque identiques des valeurs du débit moyen  $Q_{moy}$ , d'apport liquide  $App$ , du débit spécifique  $M_0$  et de lame ruisselée  $L_r$  enregistrés à la station de Tassadane, avec des années qui enregistrent des valeurs maximales : 1985, 1987 et 2003 cela peut être expliqué par l'avènement des crues et d'autres qui enregistrent des valeurs minimales qui sont : 1990, 1996, 1998, 2000 et 2002 qui marquent une indigence des écoulements.

Il est à noter que les valeurs de lame ruisselée influencées par les facteurs : précipitation abondantes d'automne, sol saturée, couverture végétale médiocre sont accentuées en hiver.

Les grandes variations des modules d'hydraulicité  $K_i$  et de coefficient de variation  $C_v$  nous renseignent des fortes fluctuations enregistrées pendant les années d'observation, cela peut être expliqué des grandes variations du régime d'écoulements.

-Pour les graphes (IV.16), (IV.17) et (IV.18) montre le vaste intervalle entre les débits max et ceux moyens et minimaux, qui peuvent atteindre les 70 m<sup>3</sup>/s alors que le débit moyen ne dépasse pas les 20 m<sup>3</sup>/s et cela est liée à l'effet important des événements extrêmes.

## IV.1.4 Débit moyen annuel

**Tableau (IV.6) : Ajustement du débit annuel à la loi log normale (station Tassdane).**
 $X_0=0, \text{Taille}=30, \text{Moylogx}=0,3878, \text{E.T.logx}=0,334, \text{I.C à(en\%)}=95, \text{UGauss}=1,96$ 

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
3,69	0,42	1	0,017	-2,128	0,42	0,47	0,25	0,72
1,71	0,46	2	0,050	-1,645	0,46	0,69	0,40	0,99
4,38	0,69	3	0,083	-1,383	0,69	0,84	0,52	1,18
2,63	0,72	4	0,117	-1,192	0,72	0,97	0,62	1,35
3,14	1,10	5	0,150	-1,036	1,10	1,10	0,72	1,50
2,53	1,33	6	0,183	-0,903	1,33	1,22	0,82	1,65
1,73	1,71	7	0,217	-0,783	1,71	1,34	0,91	1,79
2,50	1,73	8	0,250	-0,674	1,73	1,45	1,01	1,94
5,25	1,96	9	0,283	-0,573	1,96	1,57	1,11	2,09
2,56	2,08	10	0,317	-0,477	2,08	1,69	1,21	2,25
5,29	2,37	11	0,350	-0,385	2,37	1,82	1,31	2,41
9,66	2,50	12	0,383	-0,296	2,50	1,94	1,42	2,59
1,96	2,53	13	0,417	-0,210	2,53	2,08	1,53	2,77
6,09	2,56	14	0,450	-0,125	2,56	2,22	1,64	2,96
1,10	2,58	15	0,483	-0,042	2,58	2,37	1,76	3,17
2,91	2,63	16	0,517	0,042	2,63	2,52	1,88	3,39
0,72	2,68	17	0,550	0,125	2,68	2,69	2,01	3,64
4,42	2,77	18	0,583	0,210	2,77	2,87	2,16	3,91
2,58	2,91	19	0,617	0,296	2,91	3,07	2,31	4,21
3,18	3,14	20	0,650	0,385	3,14	3,29	2,47	4,55
2,77	3,18	21	0,683	0,477	3,18	3,53	2,65	4,94
4,38	3,69	22	0,717	0,573	3,69	3,80	2,85	5,38
2,37	4,38	23	0,750	0,674	4,38	4,11	3,07	5,90
0,42	4,38	24	0,783	0,783	4,38	4,47	3,32	6,52
2,08	4,42	25	0,817	0,903	4,42	4,90	3,62	7,29
2,68	5,25	26	0,850	1,036	5,25	5,43	3,98	8,26
0,69	5,29	27	0,883	1,192	5,29	6,12	4,43	9,58
1,33	6,09	28	0,917	1,383	6,09	7,09	5,05	11,52
0,46	8,80	29	0,950	1,645	8,80	8,68	6,02	14,88
8,80	9,66	30	0,983	2,128	9,66	12,60	8,27	24,01

Fréquence	U de Gauss	Valeur théo.	Borne inf.	Borne sup.	Valeur	Fréq. théo.	Pér. Ret.
0,8	0,841	4,67	3,47	6,88	4,67	0,800	5,0
0,9	1,282	6,56	4,71	10,45	6,56	0,900	10,0
0,95	1,645	8,68	6,02	14,88	8,68	0,950	20,1
0,98	2,054	11,90	7,88	22,29	11,90	0,980	50,5
0,99	2,327	14,68	9,41	29,27	14,70	0,990	100,4
0,999	3,091	26,44	15,33	63,20	26,44	0,999	820,3

**Tableau (IV.7) : Equation d'ajustement du débit moyen annuel à la loi log normale.**

Station hydrométrique	Equation de la droite de Galton
Tassadane	$\text{Log}_{xp}\% = 0,3878 + 0,334U_p\%$

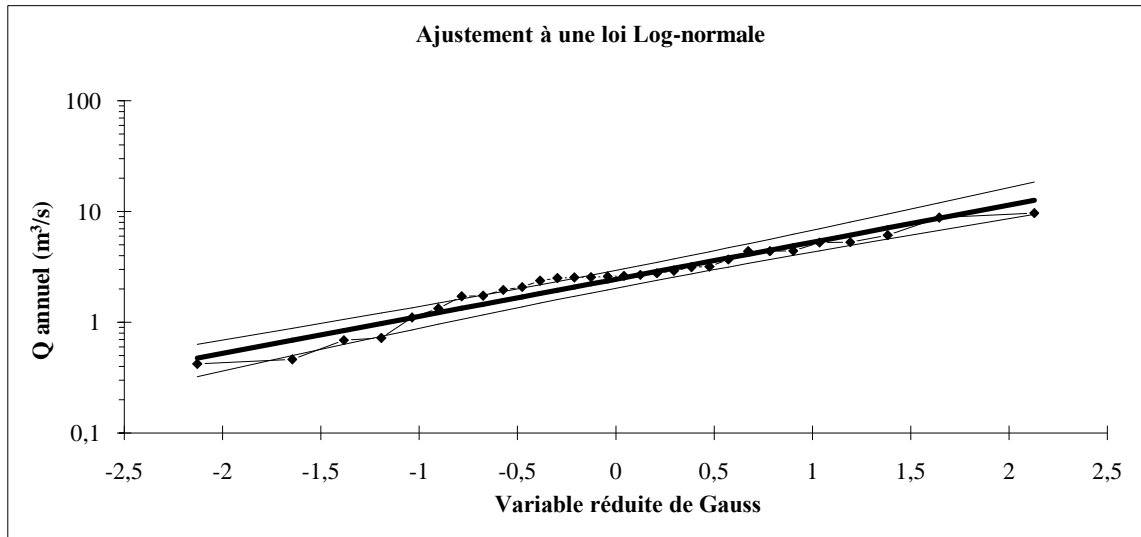


Figure (IV.19) : Ajustement des débits moyen à la loi log normale station Tassadane.

Les quantiles pour la station hydrométrique Tassadane sont donnés par le tableau ci-dessous :

Tableau (IV.8) : Débit maximaux pour différentes périodes de retour.

Périodes de retour	5	10	20	50	100	1000
Tassadane	4,67	6,56	8,68	11,90	14,70	26,44

#### IV.2 Le bilan hydrologique et le déficit annuel de l’écoulement

Le bilan hydrologique permet de quantifier les transferts d’eau issus des précipitations, il comporte quatre principaux termes : les entrées P (précipitations), les sorties R (ruissèlement), les stocks (les infiltrations) et l’évapotranspiration.

L’équation de bilan hydrologique est comme suit :

$$P(mm) = R(mm) + I(mm) + E(mm) \dots \dots \dots (IV.1).$$

P: la lame d’eau annuelle moyenne précipitée (mm).

R : la lame d’eau annuelle moyenne écoulee (mm), soit :

$$R(mm) = (Q * T * 10^{-6}) / S * 10^{-3} \dots \dots \dots (IV.2).$$

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).

E : évapotranspiration (mm).

Pour rendre plus parlant l’expression du bilan, on utilise parallèlement une autre variable le coefficient d’écoulement C, tel que  $C = (R/P) * 100 \dots \dots \dots (IV.3)$

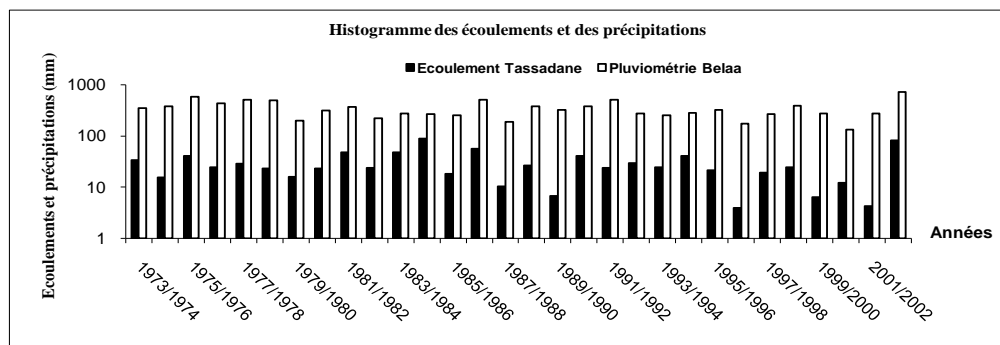
**Tableau(IV.9) : Caractéristiques de la cour d'eau (Oued Endja).**

Cours d'eau	Station hydrométrique	Station pluviométrique	S(Km <sup>2</sup> )	P (mm)	R (mm)	I=P-R	C%
Oued El Kébir (amont de l'Oued Enndja)	Tassadane	Chebabta	937	101,64	101,64	345,08	22,75

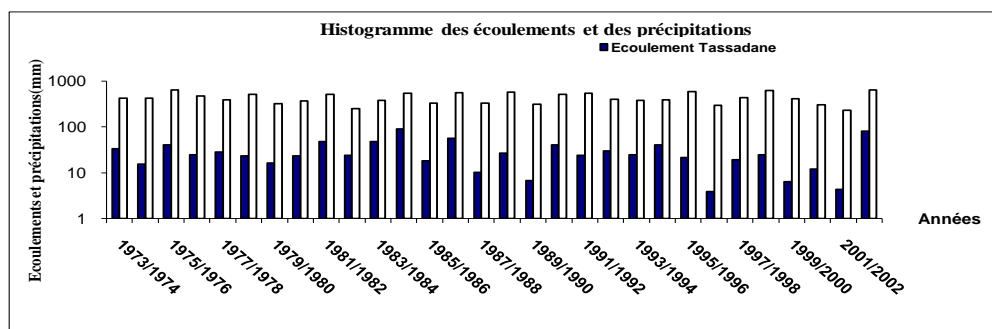
La précipitation moyenne annuelle au niveau de la station Tassadane et l'infiltration dans la zone d'étude sont faibles, comparées à d'autres grands sous-bassins, elles sont de l'ordre de 101,64 mm et 345,08 mm.

### IV.3 Variation Précipitations- Ecoulement

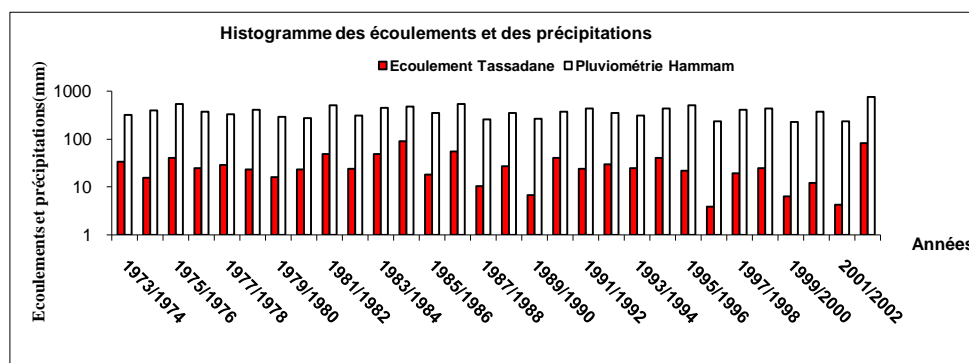
La relation entre les précipitations et les écoulements peut être présenté par des histogrammes comme la montre les figures ci-dessous :



**Figure (IV.20) :** Histogramme précipitations (ST : Belaa) et des écoulements (ST : Tassadane).



**Figure (IV.21) :** Histogramme précipitations (ST : Koudiat) et des écoulements (ST : Tassadane).



**Figure (IV.22) :** Histogramme précipitations (ST : koudiat) et des écoulements (ST : Tassadane).

Les graphes ci-dessus montrent des évolutions simultanées des précipitations tombées et des lames ruisselles dans la zone d'étude ce qui indique une tendance de la variabilité de l'écoulement en réponse aux précipitations sauf quelques années.

#### IV.4 Les débits extrêmes

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.

On se limitera dans l'étude des crues, à leurs caractères généraux tels que leur genèse, leur puissance, leur fréquence en précisant par ailleurs, le potentiel hydrologique énorme qu'elles représentent.

Pour dégager une idée générale sur l'importance des pluies extrêmes génératrices des crues et leur répartition dans le temps, nous nous basons sur quelques données fournies par l'A.N.R.H.

L'intérêt économique de la détermination du  $Q_{max}$  probable d'un cour d'eau est évident en raison des effets destructifs bien connus de ces événements hydrologiques.

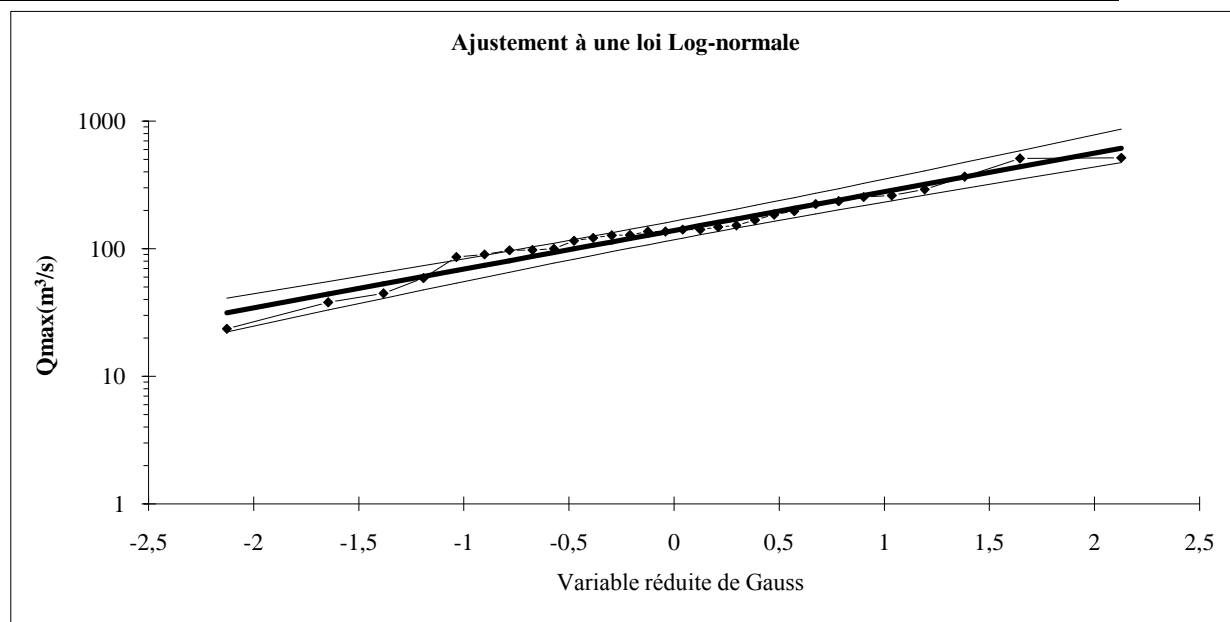
L'ajustement des débits maximaux de la station Tassadane est présenté dans le tableau ci-après.

**Tableau (IV.10) : Ajustement des débits maximaux de la station Tassadane.**

$X_0=0$ , Taille=30, Moylogx= 2,142, E.T.logx=0,303, I .C à(en%)=95, UGauss=1,96

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
196,80	23,56	1	0,017	-2,128	23,56	31,45	17,54	46,02
121,60	38,00	2	0,050	-1,645	38,00	44,07	27,05	61,35
136,00	44,50	3	0,083	-1,383	44,50	52,91	34,09	71,94
100,00	58,68	4	0,117	-1,192	58,68	60,47	40,29	80,98
151,60	86,00	5	0,150	-1,036	86,00	67,40	46,07	89,30
224,00	90,22	6	0,183	-0,903	90,22	74,00	51,64	97,27
115,40	97,20	7	0,217	-0,783	97,20	80,42	57,10	105,11
516,00	97,50	8	0,250	-0,674	97,50	86,79	62,52	112,95
141,20	100,00	9	0,283	-0,573	100,00	93,16	67,97	120,90
147,70	115,40	10	0,317	-0,477	115,40	99,62	73,47	129,05
366,20	121,60	11	0,350	-0,385	121,60	106,21	79,07	137,50
254,40	127,00	12	0,383	-0,296	127,00	112,98	84,80	146,31
58,68	127,60	13	0,417	-0,210	127,60	119,99	90,70	155,59
90,22	136,00	14	0,450	-0,125	136,00	127,29	96,79	165,41
44,50	136,00	15	0,483	-0,042	136,00	134,95	103,12	175,91
141,20	141,20	16	0,517	0,042	141,20	143,04	109,73	187,19
127,60	141,20	17	0,550	0,125	141,20	151,64	116,69	199,43
184,40	147,70	18	0,583	0,210	147,70	160,87	124,06	212,83
127,00	151,60	19	0,617	0,296	151,60	170,85	131,93	227,62
97,50	167,60	20	0,650	0,385	167,60	181,75	140,39	244,11
235,40	184,40	21	0,683	0,477	184,40	193,77	149,57	262,72
291,20	196,80	22	0,717	0,573	196,80	207,19	159,66	283,99
260,80	224,00	23	0,750	0,674	224,00	222,42	170,90	308,72
23,56	235,40	24	0,783	0,783	235,40	240,02	183,64	338,06
167,60	254,40	25	0,817	0,903	254,40	260,86	198,44	373,81
97,20	260,80	26	0,850	1,036	260,80	286,40	216,15	418,97
38,00	291,20	27	0,883	1,192	291,20	319,23	238,36	479,10
86,00	366,20	28	0,917	1,383	366,20	364,83	268,31	566,15
136,00	509,20	29	0,950	1,645	509,20	438,03	314,64	713,60
509,20	516,00	30	0,983	2,128	516,00	613,75	419,46	1100,55

Fréquence	U de Gauss	Valeur théo.	Borne inf.	Borne sup.	Valeur	Fréq. théo.	Pér. Ret.
0,8	0,841	249,96	190,74	354,98	249,96	0,800	5
0,9	1,282	339,88	252,04	518,03	339,88	0,900	10
0,95	1,645	438,03	314,64	713,60	438,03	0,950	20
0,98	2,054	582,74	401,49	1029,20	582,74	0,980	50
0,99	2,327	704,86	471,18	1316,89	704,86	0,990	100
0,999	3,091	1201,17	733,06	2644,19	1201,17	0,999	1000



*Figure (IV.23) : Ajustement des débits maximaux de la station de Tassadane.*

*Tableau (IV.11) : Equation d'ajustement du débit maximal à la loi log normale.*

Station hydrométrique	Equation de la droite de Galton
Tassadane	$\text{Log}Q_{\text{max}}\% = 2,142 + 0,303U_p\%$

*Tableau (IV.12) : Débit maximaux pour différentes périodes de retour.*

Périodes de retour	5	10	20	50	100	1000
Tassadane	249,96	339,88	438,03	582,74	704,86	1201,17

#### IV.4.1 Etudes des crues

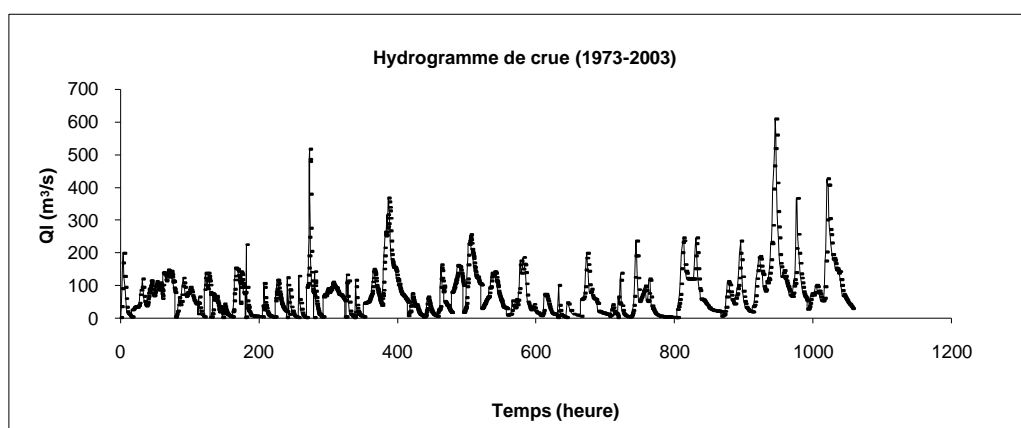
L'étude des crues permet de mettre en lumière la réaction de nos trois sous-bassins (zone d'étude) pendant un pas de temps réduit, à une averse ou une séquence pluvieuse donnée.

Cette réaction ou réponse des sous-bassins, fonction des caractères propres des précipitations (hauteur, intensité, durée totale et durée efficace) est déterminée par la combinaison complexe des divers éléments caractérisant l'organisme fluvial : état de saturation des sols, importance des pentes, densité de drainage, taux de couverture végétale, forme des sous-bassins...

Ces 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.

Quant aux étiages, leur étude permet de mettre en valeur la forte décroissance des débits en phase de tarissement et surtout de préciser les restitutions des nappes aquifères à l'écoulement fluvial. Ils seront envisagés du point de vue de leur genèse, de leur évolution dans le temps et l'espace, de leur fréquence, ainsi que de l'acuité de leur défaillance.

Dans notre étude les crues sont données par la station hydrométrique de Tassadane 100109 sous forme d'une série des débits instantanés de crues sur une période qui s'étale sur 31 ans de 1973 à 2003. Cette période compte 38 crues, dont 18 sont s'appartient à la saison froide, et 20 crues s'appartient à la saison chaude.



*Figure (IV.24) : l'ensemble des crues de la station de Tassadane.*

#### IV.4.2 Genèses, Gravité et fréquence des crues. Leur rapport avec la turbidité

La crue dépend essentiellement de l'abondance et de l'intensité de la pluie : son évolution obéit principalement à la puissance et l'intensité de l'averse. Sa vitesse est largement influencée par le couvert végétal, la lithologie, par des paramètres morphométriques du bassin (indice de compacité, densité de drainage, rapports des confluences et des longueurs etc...), par la pente des thalwegs et la forme du lit (Cosandey et Robinson, 2000).

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

Les crues seront étudiées à travers les débits journaliers et instantanés maximaux de la saison froide (Novembre-Avril) et de saison chaude (Mai-Octobre) dont les débits sont toujours les débits moyens de hautes eaux. Ces deux grands types de crues se différencient, en effet, tant par leur genèse et les mécanismes de propagation que par leur puissance, leur durée, leur fréquence et leur extension géographique.

#### IV.4.3 La genèse de crues et leur extension dans le temps et l'espace

##### IV.4.3.1 Les crues de la saison froide

- **Leur genèse :**

Elle est favorisée par la convergence des facteurs essentiels pour l'alimentation en eau et le ruissellement superficiel : précipitations abondantes et efficaces, sols saturés par les pluies préparatoires d'Automne, notamment les secteurs peu perméables, températures faibles et donc possibilités d'évapotranspiration limitées, influence très réduite du couvert végétal.

Ce sont donc les paramètres morpho métriques de la zone d'étude et du réseau hydrologique (forme des sous-bassins, pente de talwegs, hiérarchisation du chevelu, densité de drainage...) ainsi que les caractéristiques physiques des lits fluviaux qui jouent pleinement leur rôle et déterminent les nuances dans la propagation et l'évolution des crues. Ces dernières ont une alimentation essentiellement pluviale car la neige n'intervient de façon efficace que dans les secteurs montagneux élevés supérieurs en général à 1500 m d'altitude.

Les averses génératrices de ces crues hivernales ont un caractère à la fois durable et extensifs, affectent parfois tout ou une grande partie de la zone d'étude. Il s'agit en fait d'épisodes pluvieux plus ou moins longs susceptibles d'engendrer non seulement une unique montée des eaux mais également plusieurs crues successives.

**Tableau (IV.13) : Crues de Saison Froide (Novembre-Avril) Débits journaliers et Instantanés Maximaux observés station Tassadane.**

Année	Date du débit de pointe	Débit instantané maximal (m3/s)	Débit moyen journalier (m3/s)	D=b/c
1973	14-déc-73	14,89	7,60	1,96
1974	31-mars-74	146,60	22,08	6,64
1975	16-févr-75	121,60	6,59	18,45
1976	06-févr-76	136,00	16,85	8,07
1977	09-janv-77	76,80	8,59	8,94
1978	03-avr-78	151,60	13,53	11,21
1979	16-avr-79	141,20	15,26	9,25
1980	20-déc-80	516,00	10,42	49,51
1981	31-mars-81	95,40	12,55	7,60
1982	27-déc-82	147,70	19,14	7,72
1983	18-mars-83	51,70	6,58	7,85
1984	03-févr-84	366,20	25,00	14,65
1985	07-mars-85	254,40	22,91	11,11
1986	27-déc-86	90,22	9,20	9,81
1987	13-févr-87	69,27	15,56	4,45
1988	21-déc-88	141,20	10,28	13,73
1989	15-févr-89	53,00	7,04	7,53
1990	16-nov-90	184,40	7,68	24,02
1991	21-févr-91	14,09	57,20	0,25
1992	18-avr-92	107,74	15,32	7,03
1993	04-déc-93	69,85	12,06	5,79
1994	19-févr-94	82,90	13,45	6,16
1995	02-mars-95	91,90	18,34	5,01
1996	08-févr-96	197,20	8,57	23,02
1997	23-nov-97	167,60	5,09	32,91
1998	28-nov-98	97,20	8,38	11,60
1999	20-déc-99	38,00	7,04	5,40
2000	30-déc-00	24,70	2,84	8,69
2001	20-janv-01	86,00	7,12	12,08
2002	06-déc-02	245,00	9,68	25,32
2003	25-janv-03	609,44	33,71	18,08
Moyenne	/	148,06	14,05	12,38
E-Type	/	134,40	10,46	10,02
Médiane	/	107,74	10,42	/
Coefd'asy	/	2,18	2,66	/
Kurtosis	/	5,60	11,57	/
Coef var	/	0,91	0,74	/

- **La répartition temporelle**

Le tableau (IV.13) montre que les valeurs extrêmes des débits instantanés maximaux ont une distribution annuelle variable. Il en est presque de même en ce qui concerne leur fréquence mensuelle. On constate que la majorité des débits maximums sont rencontrés au mois de Décembre ensuite le mois de Février et enfin celui de Mars. Alors que les crues sont rencontrées surtout au mois de Décembre avec cinq crues (enregistrées dans les années : 1980, 1982, 1984, 1988, 2002), Février avec cinq crues (1974, 1975, 1976, 1996, 2003) et trois crues pour Avril et Janvier. Les plus importantes crues de la saison froide sont celles du 25 Janvier 2003 qui a compté 609,4 m<sup>3</sup>/s, du 20 Décembre 1980 avec 516 m<sup>3</sup>/s, et enfin celle du 03 Février 2004 avec 366,20 m<sup>3</sup>/s. On remarque que les crues ne coïncident donc pas nécessairement avec les mois les plus pluvieux de l'année car elles sont déterminées plus par la nature des averses, notamment leur intensité en interaction avec les autres facteurs du ruissellement –que l'apport pluviométrique mensuel.

- **Leur répartition spatiale**

L'évolution des crues de l'amont (sous-bassin 01 et 02) à l'aval (sous-bassin 03) de la zone d'étude est fonction de la répartition des précipitations ainsi que l'organisation et la densité du réseau hydrographique. La vitesse de propagation des maximums, elle-même fonction de plusieurs facteurs (pente, profondeur du lit mineur et étendue de celui majeur, hiérarchisation du chevelu) constitue un élément fondamental dans l'évolution spatiale des crues.

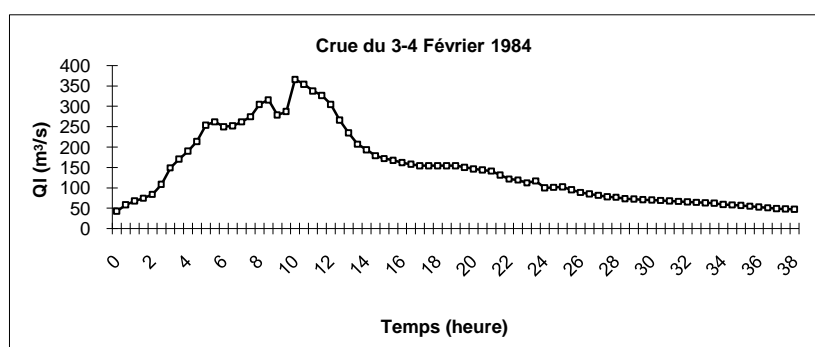


Figure (IV.25) : Cru du 3-4 Février 1984 station de Tassadane.

### Cru du 3-4 Février 1984

L'hydrogramme relatif à cette crue est intéressant dans la mesure où il laisse apparaître plusieurs (03) montées des niveaux d'eau dues à plusieurs averses successives. Ces dernières mettent en évidence le caractère relativement durable de saison froide. Cependant la première averse que l'on peut qualifier de préparatoire n'a entraînée qu'une montée limitée des eaux si bien que le maximum journalier et instantané est enregistré ultérieurement après quelques heures de la première montée ( $Q_{max}=366,2$ ). Contrairement à la montée, la décrue s'est faite de façon beaucoup plus lente. Après un maximum secondaire, on constate une baisse des eaux s'étendant sur plus d'un jour avant le rétablissement du débit de base.

- Les crues exceptionnelles

- 
- Crue du 24-27 Janvier 2003

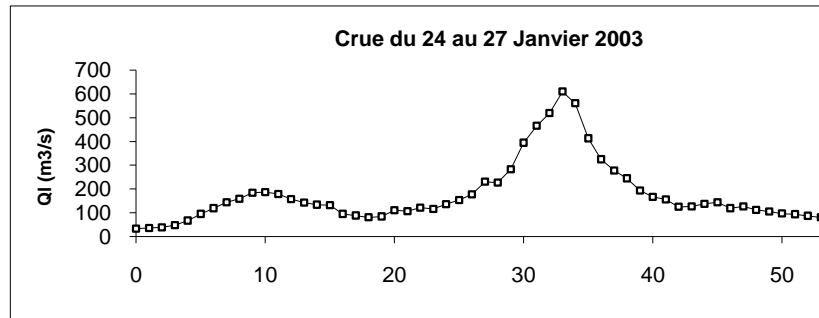


Figure (IV.26) : Crue du 24-27 Janvier 2003 station de Tassadane.

- 
- Crue du 20 Décembre 1980

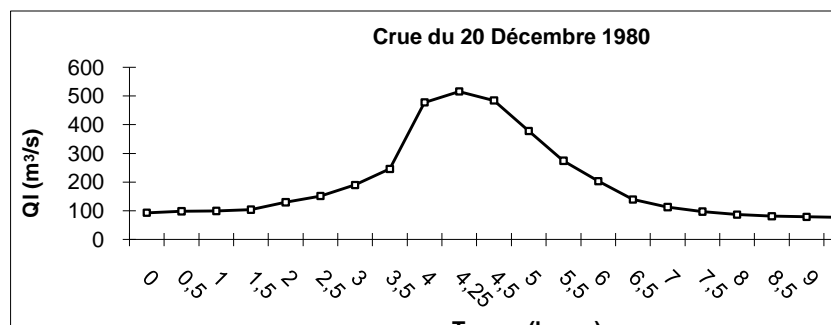


Figure (IV.27) : Crue du 20 Décembre 1980 station de Tassadane.

- Interprétation

- Crue du 20 Décembre 1980

La crue d'Hiver du 20 Décembre 1980 a pris un caractère de réelle gravité dans la mesure où le débit de pointe enregistré le 20 décembre a atteint la valeur de  $516 \text{ m}^3/\text{s}$ . L'hydrogramme relatif à cette crue donne une image suggestive de la rapidité et brutalité caractérisant la montée des eaux, au bout de quelques heures le débit est passé de  $67 \text{ m}^3/\text{s}$  à  $516 \text{ m}^3/\text{s}$ , ces mêmes caractères se retrouvent, au niveau de la phase de décrue.

#### IV.4.3.2 Les crues de la saison chaude :

- Leurs caractères généraux :

Les étiages représentent un problème délicat à analyser en raison des perturbations du régime naturel des cours d'eau (prélèvements, rejets) très conséquentes en Été d'études difficultés de mesures inhérentes au phénomène lui-même : les jaugeages en période d'étiage nécessitent une grande précision et les résultats sont souvent entachés d'erreurs.

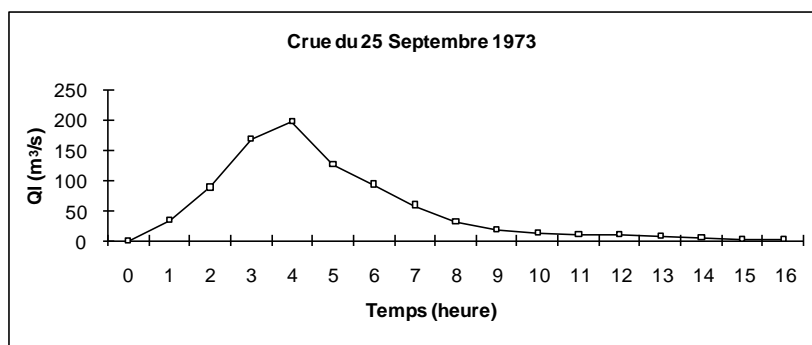
La cause essentielle des étiages est une sécheresse climatique exceptionnelle et prolongée, se traduisant par une grave pénurie des précipitations et par une intense évapotranspiration en saison chaude (Frecaut, 1971)

Les crues de saisons chaudes sont liées généralement à des averses orageuses brèves et localisées, se caractérisent par une durée et une extension spatiale plus faibles que celles des crues de saison froide. Leur puissance est également moins élevée bien que parfois, à la suite d'averses torrentielles, elles peuvent atteindre de proportions jamais égalées en périodes des hautes eaux, ce qui entraîne des inondations brutales. Ceci est surtout valable pour la partie supérieure de la zone d'étude, où la moyenne des débits journaliers et instantanés maximaux de saison chaude dépasse celle de saison froide.

Les crues de saison chaudes les plus fréquentes se produisent en début et en fin de saison, plus précisément en Mai et en Septembre. Ce sont les crues de Septembre (mois des premières pluies) qui revêtent un caractère de gravité élevé en raison de la forte intensité des averses et l'absence de couvert végétal ; ces paramètres peuvent l'emporter sur l'effet de l'évaporation et du pouvoir absorbant du sol, très élevé en cette période.

**Tableau (IV.14) : Crues de Saison Chaude (Novembre-Avril) Débits journaliers et Instantanés Maximaux observé station Tassadane.**

Année	Date du débit de pointe	Débit instantané maximal (m <sup>3</sup> /s)	Débit moyen journalier (m <sup>3</sup> /s)	D=b/c
1973	25-sept-73	196,80	12,16	16,18
1974	07-mai-74	56,92	8,31	6,85
1975	10-sept-75	65,40	5,45	12,00
1976	14-sept-76	88,40	9,20	9,61
1977	18-mai-77	40,28	4,65	0,12
1978	21-oct-78	14,24	3,05	4,67
1979	27-juin-79	224,00	10,27	21,82
1980	29-sept-80	127,40	4,84	26,30
1981	02-sept-81	141,20	8,54	16,54
1982	29-mai-82	131,20	6,08	21,59
1983	05-oct-83	42,50	2,66	15,95
1984	13-oct-84	162,00	11,96	13,55
1985	02-juin-85	23,10	3,36	6,87
1986	30-sept-86	27,60	3,00	9,19
1987	12-juil-87	35,41	2,56	13,81
1988	08-juin-88	7,71	1,74	4,42
1989	22-sept-89	32,40	3,01	10,78
1990	01-mai-90	41,00	3,52	11,65
1991	01-juin-91	71,66	12,13	5,91
1992	27-juil-92	98,90	9,38	10,55
1993	06-mai-93	38,00	11,73	3,24
1994	27-sept-94	95,60	11,76	8,13
1995	12-juin-95	48,38	3,52	13,74
1996	20-mai-96	33,80	3,64	9,28
1997	22-sept-97	38,00	1,68	22,65
1998	24-sept-98	69,60	6,92	10,06
1999	08-sept-99	27,22	2,14	12,71
2000	24-mai-00	31,00	2,22	13,97
2001	30-sept-01	136,00	6,75	20,15
2002	01-juin-02	33,80	1,20	28,10
2003	16-mai-03	81,20	5,17	15,70
Moyenne	/	72,93	5,89	12,78
E-Type	/	55,13	3,64	6,72
Médiane	/	48,38	4,84	/
Coefd'asy	/	1,22	0,56	/
Kurtosis	/	0,83	-1,11	/
Coef var	/	0,76	0,62	/



**Figure (IV.28) :** Crue du 25 Septembre 1973 -station Tassadane-.

Malgré les fortes possibilités d'évaporation et d'infiltration, l'intensité particulièrement élevée des précipitations a provoqué une montée importante des niveaux d'eau qui ont atteint presque 2m à la station(Tassadane).

On peut souligner, la brutalité caractérisant la montée de l'hydrogramme de cette crue comme dans le cas des crues de la saison froide. La phase de décrue est également rapide en raison de l'arrêt de l'averse après la pointe de crue et du faible soutien de l'écoulement fluvial par les eaux des nappes aux réserves faibles en cette fin de saison chaude.

#### IV.5 Analyse fréquentielle des crues maximales annuelles

En régime fluvial Nord Méditerranéen, les débits maximums annuels suivent plutôt une loi de Galton, Gumbel ou Pearson III (Du Dubreuil, 1974 ; Laborde 1997).

Nous avons étudié la distribution statistique des débits maximums annuels pour la saison froide ainsi que celle chaude observés au niveau d'Oued Endja pour une période de 30 ans allant de 1973 à 2003.

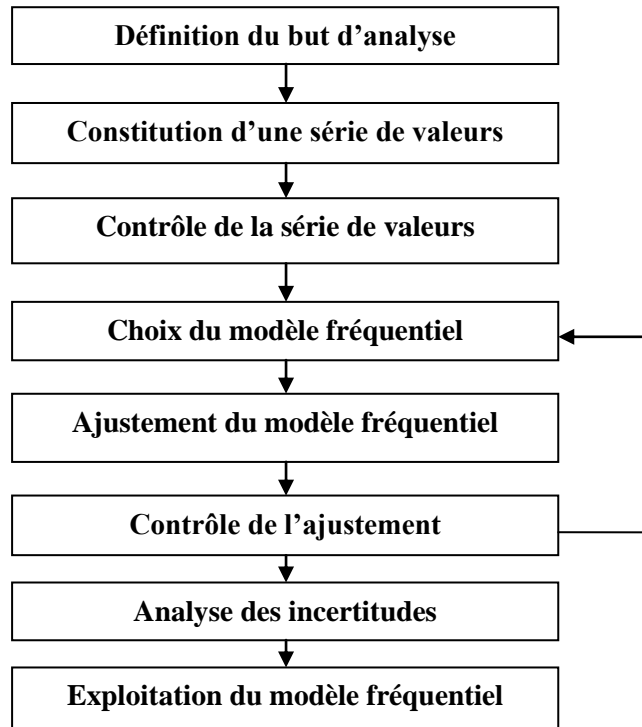
L'objectif de cette étude est de préciser s'il existe des lois préférentielles auxquelles s'ajustent les débits maximums annuels de ce cour d'eau.

##### • Données et Méthode

L'analyse fréquentielle est une méthode statistique de prédiction consistant à étudier les événements passés, caractéristiques d'un processus donné (hydrologique ou autre), afin d'en définir les probabilités d'apparition future (Bobée et Ashkar, 1991).

Cette prédiction repose sur la définition et la mise en oeuvre d'un modèle fréquentiel, qui est une équation décrivant le comportement statistique d'un processus. Ces modèles décrivent la probabilité d'apparition d'un événement de valeur donnée.

L'analyse fréquentielle fait appel à diverses techniques statistiques et constitue une filière complexe qu'il convient de traiter avec beaucoup de rigueur. Ses diverses étapes peuvent être schématisées très simplement selon le diagramme suivant figure (IV.29) :



**Figure (IV.29):** Principales étapes de l'analyse fréquentielle (P. Meylan et A. Musy, EPFL, 1999).

La validité des résultats d'une analyse fréquentielle dépend du choix du modèle fréquentiel et plus particulièrement de son type. Diverses lois peuvent contribuer à faciliter ce choix, mais il n'existe malheureusement pas de méthode universelle et infaillible. Il est en effet peu probable que les crues suivent une loi particulière, comme le rappelle notamment **Bobée (1999)**, les hypothèses à la base de la théorie des valeurs extrêmes ne sont pas entièrement respectées en hydrologie.

- **Résultats et interprétations**

Les séries des débits maximums annuels ont été utilisées pour l'analyse fréquentielle, par ajustement à des lois statistiques caractéristiques pour l'étude des événements extrêmes. Seule la loi log normale qui était réellement représentative de l'échantillon, pour les deux saisons froide et chaude aux intervalles de confiance à 95%. Le traitement statistique aboutit aux résultats suivants (tableau **IV.15** et **IV.17** –figure **IV.30** et **IV.31**).

## IV.5.1 Saison froide

**Tableau (IV.15) : Ajustement du débit maximal annuel à la loi log normale-saison froide- (station Tassdane).**

$X_0=0$ , Taille=31, Moylogx=2,024, E.T.logx=0,378, I.C à(en%)=95, UGauss=1,96

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
14,89	14,09	1	0,016	-2,142	14,09	16,35	7,98	26,17
146,6	14,89	2	0,048	-1,661	14,89	24,86	13,64	37,42
121,6	24,7	3	0,081	-1,401	24,7	31,18	18,15	45,59
136	38	4	0,113	-1,211	38	36,79	22,30	52,78
76,8	51,7	5	0,145	-1,057	51,7	42,07	26,31	59,55
151,6	53	6	0,177	-0,925	53	47,21	30,28	66,17
141,2	69,27	7	0,210	-0,807	69,27	52,31	34,26	72,78
516	69,85	8	0,242	-0,700	69,85	57,45	38,31	79,49
95,4	76,8	9	0,274	-0,600	76,8	62,68	42,44	86,39
147,7	82,9	10	0,306	-0,506	82,9	68,05	46,70	93,55
51,7	86	11	0,339	-0,416	86	73,60	51,10	101,05
366,2	90,22	12	0,371	-0,329	90,22	79,38	55,67	108,97
254,4	91,9	13	0,403	-0,245	91,9	85,42	60,44	117,39
90,22	95,4	14	0,435	-0,162	95,4	91,79	65,43	126,40
69,27	97,2	15	0,468	-0,081	97,2	98,54	70,68	136,10
141,2	107,74	16	0,500	0,000	107,74	105,72	76,22	146,63
53	121,6	17	0,532	0,081	121,6	113,43	82,12	158,13
184,4	136	18	0,565	0,162	136	121,76	88,42	170,82
14,09	141,2	19	0,597	0,245	141,2	130,83	95,21	184,93
107,74	141,2	20	0,629	0,329	141,2	140,80	102,56	200,76
69,85	146,6	21	0,661	0,416	146,6	151,85	110,60	218,72
82,9	147,7	22	0,694	0,506	147,7	164,24	119,47	239,32
91,9	151,6	23	0,726	0,600	151,6	178,30	129,38	263,32
197,2	167,6	24	0,758	0,700	167,6	194,54	140,61	291,75
167,6	184,4	25	0,790	0,807	184,4	213,65	153,57	326,19
97,2	197,2	26	0,823	0,925	197,2	236,75	168,91	369,14
38	245	27	0,855	1,057	245	265,67	187,68	424,80
24,7	254,4	28	0,887	1,211	254,4	303,81	211,76	501,14
86	366,2	29	0,919	1,401	366,2	358,41	245,16	615,72
245	516	30	0,952	1,661	516	449,58	298,68	819,39

Fréquence	U de Gauss	Valeur théo.	Borne inf.	Borne sup.	Valeur	Fréq. théo.	Pér. Ret.
0,8	0,841	220,10	157,89	338,04	220,10	0,800	5
0,9	1,282	323,03	223,65	540,78	323,03	0,900	10
0,95	1,645	443,41	295,13	805,17	443,41	0,950	20
0,98	2,054	633,27	400,35	1269,08	633,27	0,980	50
0,99	2,327	803,08	489,14	1723,73	803,08	0,990	100
0,999	3,091	1562,44	850,52	4097,43	1562,44	0,999	1000

**Tableau (IV.16) : Equation d'ajustement du débit moyen annuel à la loi log normale.**

Station hydrométrique	Equation de la droite de Galton
Tassadane	$\text{Log}_{xp}\% = 2,024 + 0,378U_p\%$

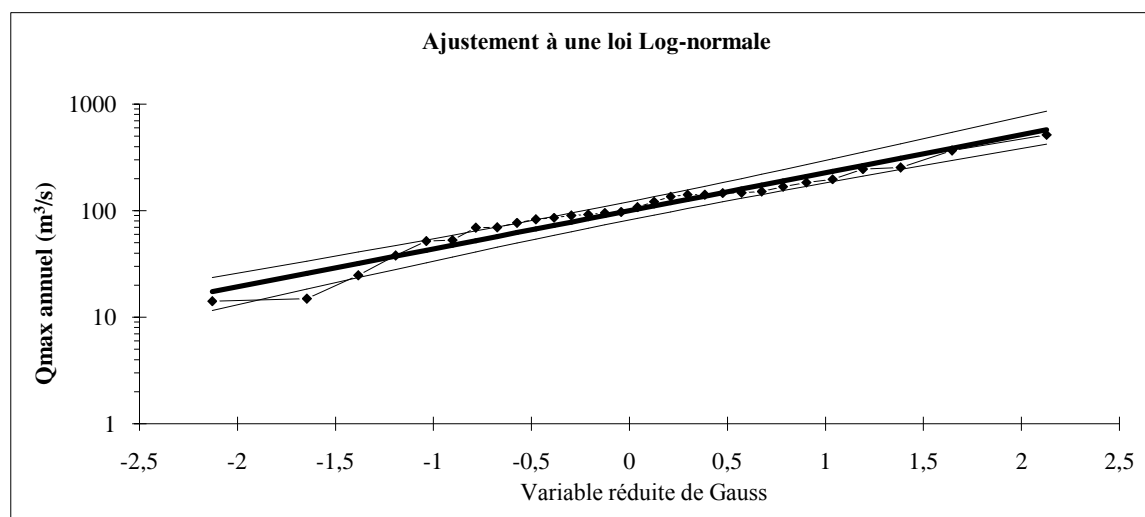


Figure (IV.30) : Ajustement des débits maximal annuel-saison froide- à la loi log normale : Station Tassadane.

#### IV.5.2 Saison chaude

Tableau (IV.17) : Ajustement du débit maximal annuel à la loi log normale-saison chaude- (station Tassadane).

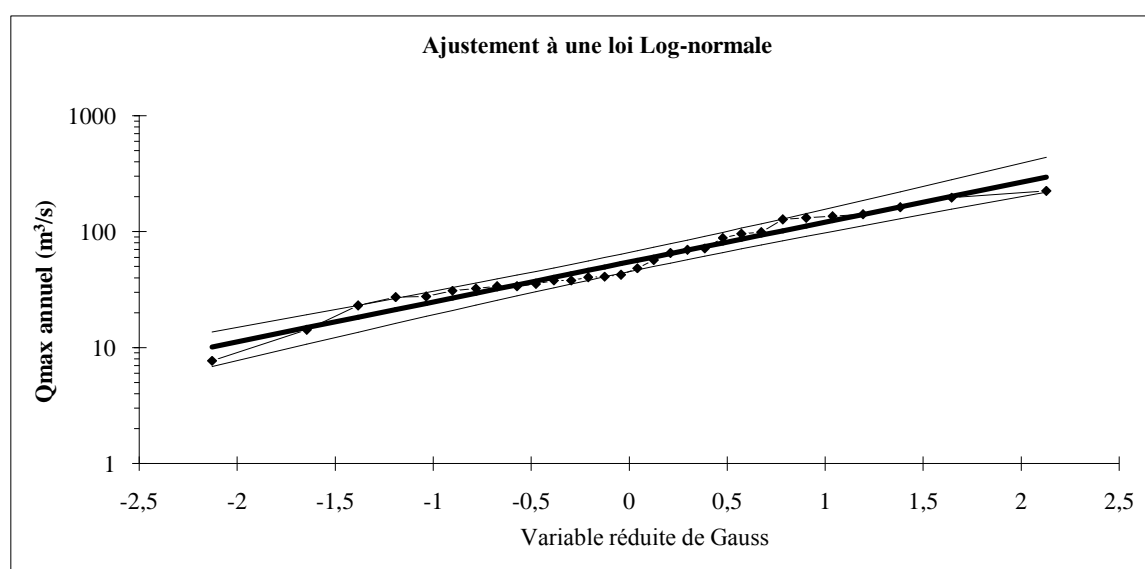
$X_0=0$ , Taille=31, Moylogx=1,74, E.T.logx=0,339, I.C à(en%)=95,  $U_{Gauss}=1,96$

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
196,8	7,71	1	0,016	-2,142	7,71	10,37	5,45	15,82
56,92	14,24	2	0,048	-1,661	14,24	15,11	8,82	21,80
65,4	23,1	3	0,081	-1,401	23,1	18,51	11,39	26,03
88,4	27,22	4	0,113	-1,211	27,22	21,47	13,70	29,68
40,28	27,6	5	0,145	-1,057	27,6	24,22	15,89	33,08
14,24	31	6	0,177	-0,925	31	26,86	18,03	36,36
224	32,4	7	0,210	-0,807	32,4	29,45	20,15	39,60
127,4	33,8	8	0,242	-0,700	33,8	32,03	22,27	42,86
141,2	33,8	9	0,274	-0,600	33,8	34,64	24,41	46,19
131,2	35,41	10	0,306	-0,506	35,41	37,29	26,60	49,61
42,5	38	11	0,339	-0,416	38	40,00	28,84	53,17
162	38	12	0,371	-0,329	38	42,81	31,14	56,89
23,1	40,28	13	0,403	-0,245	40,28	45,73	33,52	60,82
27,6	41	14	0,435	-0,162	41	48,77	35,99	64,99
35,41	42,5	15	0,468	-0,081	42,5	51,98	38,58	69,45
7,71	48,38	16	0,500	0,000	48,38	55,36	41,28	74,25
32,4	56,92	17	0,532	0,081	56,92	58,97	44,13	79,46
41	65,4	18	0,565	0,162	65,4	62,85	47,16	85,16
71,66	69,6	19	0,597	0,245	69,6	67,03	50,40	91,44
98,9	71,66	20	0,629	0,329	71,66	71,60	53,88	98,43
38	81,2	21	0,661	0,416	81,2	76,62	57,65	106,30
95,6	88,4	22	0,694	0,506	88,4	82,20	61,78	115,24
48,38	95,6	23	0,726	0,600	95,6	88,49	66,36	125,56
33,8	98,9	24	0,758	0,700	98,9	95,69	71,51	137,66
38	127,4	25	0,790	0,807	127,4	104,09	77,40	152,15
69,6	131,2	26	0,823	0,925	131,2	114,13	84,30	170,01
27,22	136	27	0,855	1,057	136	126,56	92,66	192,84
31	141,2	28	0,887	1,211	141,2	142,75	103,26	223,67
136	162	29	0,919	1,401	162	165,57	117,76	269,06
33,8	196,8	30	0,952	1,661	196,8	202,91	140,59	347,70

Fréquence	U de Gauss	Valeur théo.	Borne inf.	Borne sup.	Valeur	Fréq. théo.	Pér. Ret.
0,8	0,841	106,90	79,35	157,10	106,90	0,800	5
0,9	1,282	150,83	108,45	239,48	150,83	0,900	10
0,95	1,645	200,41	139,09	342,28	200,41	0,950	20
0,98	2,054	275,93	182,85	514,85	275,93	0,980	50
0,99	2,327	341,48	218,86	677,64	341,48	0,990	100
0,999	3,091	620,47	359,53	1473,71	620,47	0,999	1000

**Tableau (IV.18) :** Equation d'ajustement du débit moyen annuel à la loi log normale.

Station hydrométrique	Equation de la droite de Galton
Tassadane	$\text{Log}Q_{\text{max}}\% = 1,74 + 0,339U_p\%$



**Figure (IV.31) :** Ajustement des débits maximal annuel-saison Chaude- à la loi log normale : Station Tassadane.

## IV.6 La puissance des crues et leur durée de récurrence

### IV.6.1 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.

$e = Q / S^{1/2}$  avec :

Q : débit maximal instantané ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

S : surface réceptrice du bassin (03 sous bassins).

q : Débit maximal spécifique ( $\text{l/s/Km}^2$ ).

$s = 3399 \text{ Km}^2$  pour notre zone d'étude

La puissance des crues en saison froide est plus élevée que celle de la saison chaude.

**Tableau (IV.19) : Caractéristiques des crues saison froide-saison chaude station Tassadane.**

Saison	Saison Froide	Saison chaude
Jour du Q max	25-janv-03	27-juin-79
S (km <sup>2</sup> )	3399	3399
Q (m <sup>3</sup> /s)	609,44	224,00
q (l/s/Km <sup>2</sup> )	179,3	65,9
A=Q/√S	10,45	3,84

**Tableau (IV.20) : Puissance des crues pour la saison froide station de Tassadane.**

Année	Date du débit de pointe	Débit instantané maximal (m <sup>3</sup> /s)	e
1973	14-déc-73	14,89	0,26
1974	31-mars-74	146,60	2,51
1975	16-févr-75	121,60	2,09
1976	06-févr-76	136,00	2,33
1977	09-janv-77	76,80	1,32
1978	03-avr-78	151,60	2,60
1979	16-avr-79	141,20	2,42
1980	20-déc-80	516,00	8,85
1981	31-mars-81	95,40	1,64
1982	27-déc-82	147,70	2,53
1983	18-mars-83	51,70	0,89
1984	03-févr-84	366,20	6,28
1985	07-mars-85	254,40	4,36
1986	27-déc-86	90,22	1,55
1987	13-févr-87	69,27	1,19
1988	21-déc-88	141,20	2,42
1989	15-févr-89	53,00	0,91
1990	16-nov-90	184,40	3,16
1991	21-févr-91	14,09	0,24
1992	18-avr-92	107,74	1,85
1993	04-déc-93	69,85	1,20
1994	19-févr-94	82,90	1,42
1995	02-mars-95	91,90	1,58
1996	08-févr-96	197,20	3,38
1997	23-nov-97	167,60	2,87
1998	28-nov-98	97,20	1,67
1999	20-déc-99	38,00	0,65
2000	30-déc-00	24,70	0,42
2001	20-janv-01	86,00	1,48
2002	06-déc-02	245,00	4,20
2003	25-janv-03	609,44	10,45
Min	/	/	0,24
Max	/	/	10,45
moyenne	/	/	2,54
Ecart-type	/	/	2,30
Coef de var	/	/	0,91
Coef d'asy	/	/	2,18
Coef d'appla	/	/	5,10

**Tableau (IV.21) : Puissance des crues pour la saison chaude station de Tassadane.**

Année	Date du débit de pointe	Débit instantané maximal (m3/s)	e
1973	25-sept-73	196,80	3,38
1974	07-mai-74	56,92	0,98
1975	10-sept-75	65,40	1,12
1976	14-sept-76	88,40	1,52
1977	18-mai-77	40,28	0,69
1978	21-oct-78	14,24	0,24
1979	27-juin-79	224,00	3,84
1980	29-sept-80	127,40	2,19
1981	02-sept-81	141,20	2,42
1982	29-mai-82	131,20	2,25
1983	05-oct-83	42,50	0,73
1984	13-oct-84	162,00	2,78
1985	02-juin-85	23,10	0,40
1986	30-sept-86	27,60	0,47
1987	12-juil-87	35,41	0,61
1988	08-juin-88	7,71	0,13
1989	22-sept-89	32,40	0,56
1990	01-mai-90	41,00	0,70
1991	01-juin-91	71,66	1,23
1992	27-juil-92	98,90	1,70
1993	06-mai-93	38,00	0,65
1994	27-sept-94	95,60	1,64
1995	12-juin-95	48,38	0,83
1996	20-mai-96	33,80	0,58
1997	22-sept-97	38,00	0,65
1998	24-sept-98	69,60	1,19
1999	08-sept-99	27,22	0,47
2000	24-mai-00	31,00	0,53
2001	30-sept-01	136,00	2,33
2002	01-juin-02	33,80	0,58
2003	16-mai-03	81,20	1,39
Min	/	/	0,13
Max	/	/	3,84
moyenne	/	/	1,25
Ecart-type	/	/	0,95
Coef de var	/	/	0,76
Coef d'asy	/	/	1,21

Pour notre zone d'étude, les valeurs correspondantes calculées pour les crues maximales de saison froide et de saison chaude relative à la période 1973/2003 (tableau *IV.16* et *IV.17*) permettent de constater de fortes variations de la puissance des crues, le coefficient « e » oscille entre 0,24 et 10,45 pour la saison froide et de 0,13 à 3,84 pour la saison chaude.

#### IV.6.2 Le rapport débit de pointe / Débit moyen maximal journalier

Un facteur autre que la puissance maximale des débits doit être pris en considération dans l'étude de la variabilité des crues : le rapport du débit instantané maximal au débit moyen journalier maximal. Ce rapport permet de confirmer le caractère aléatoire du régime méditerranéen de la zone d'étude.

En effet, en valeur absolues ce rapport peut atteindre des proportions remarquables : il s'élève en saison chaude à 27,3 sur le Kébir-amont (station de Douar Tassadane), alors que sa valeur moyenne en cette même saison est de 7,5.

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 variable. Comme l'on a vu précédemment elles entraînent des montées d'eau extrêmes rapides et brutales se traduisant par des hydrogrammes très pointus.

#### IV.7 Détermination du volume des crues

*Tableau (IV.22) : volume des crues station de Tassadane.*

Crue	Volume (m3)
Crue du 25 septembre 1973	864,188
Crue du 23 au 24 Février	1083,13
Crue du 29-30 Mars	3898,09
Crue du 31 Mars 1974	4621,53
Crue du 16-17 Février 1975	2053,39
Crue du 13-14 Aout 1975	153,54
Crue du 6-7 Février 1976	1948,01
Crue du 28-29 Mais 1976	1048,22
Crue du 1 -2 Juillet 1976	237,23
Crue du 26 Aout 1976	354,608
Crue 3 Avril 1978	2414,27
Crue du 16 Avril 1979	1537,9
Crue du 27-28 Juin 1979	598,065
Crue du 6-7 Septembre 1979	691,058
Crue du 12-13 Mars 1980	1858,2
Crue 25-26 Septembre 1980	600,954
Crue du 29-30 Septembre 1980	285,702
Crue du 20 Décembre 1980	4264,7
Crue du 1-2 Septembre 1981	896,628
Crue du 28-30 Janvier 1982	5021,77
Crue du 29-30 Mais 1982	542,688
Crue du 1-2 Octobre	527,382
Crue du 26-27 Décembre 1982	3830,79
Crue du 3-4 Février 1984	11315 ,17
Crue du 8-9 Octobre 1984	1232,28
Crue du 10-11 Octobre 1984	830,058
Crue du 13-14 Octobre 1984	2174,34
Crue du 30-31 Décembre 1984	4217,16
Crue du 7-8 Mars 1985	7088,65
Crue du 12 Juillet 1987	234,102
Crue du 21-22 Décembre 1988	5295,19
Crue du 15 au 17 Novembre 1990	2714,738
Crue du 31 Mais au 1 Juin 1991	671,091
Crue du 27-28 Juillet 1992	216,01
Crue 31 Juillet au 1 Aout 1994	134,08
Crue du 7 au 9 Février 1996	2367,66
Crue du 24 Mais 1998	200,91

## Conclusion

La nécessité d'accomplir l'étude détaillée des précipitations par une autre plus fine que possible sur les débits d'écoulement dans la zone d'étude, nous a amené à analyser le régime hydrique du cour d'eau "Oued Enndja", contrôlé par la station hydrométrique de "Tassadane", pour mieux cerner les variations du régime de ce dernier.

D'après l'étude des divers paramètres de l'écoulement, on a remarqué de fortes fluctuations des valeurs de l'hydraulicité " $K_i$ ", ainsi que celles du coefficient de variation " $C_v$ " cela est liée à l'irrégularité de l'alimentation pluviale d'autant plus qu'il s'agit d'une période climatique sèche.

L'hypothèse de la tendance climatique sèche de ces deux dernières décennies est plus confirmée par l'indigence quasi générale de l'écoulement pendant les sept dernières années.

A l'échelle des débits extrêmes : crues et étiages qui sont les aspects les plus importants caractérisant et déterminants d'écoulement d'Oued, la station de jaugeage compte l'enregistrement de 38 crues s'étalant sur une période de 31 ans de 1973 à 2003, dont 18 d'elles s'appartiennent à la saison froide et le reste s'appartiennent à la saison chaude.

Pour la période Hivernale, elle enregistre des débits liquides instantanés qui dépassent les 500 l/s, il s'agit en effet d'épisodes pluvieux qui sont susceptibles d'engendre plus d'une montée successives, leur averse génératrices ont un caractère à la fois durable et extensifs.

Quant<sup>2</sup> à la saison chaude, période des étiages, on remarque une sécheresse climatique prolongée, qui se traduit par grave pénurie des précipitations et d'une intense évapotranspiration provoquant l'étiage du cour d'eau.

Les crues de cet épisode sont liées à des averses orageuses brèves et localisées, et elles entraînent des inondations brutales et revête un caractère de gravité élevé en raison de la forte intensité des averses et du manque de la couverture végétale.

Chapitre V  
Collecte et mise en  
forme des données

## Introduction

Les premières mesures systématiques et standardisées du transport solide en suspension ont débuté en 1946 à la station de trailla, qui contrôle le bassin de l'oued Gueiss, ces mesures ont été étendues à une trentaine de station sur les bassins de côtières constantinois, côtières Algérois, Chélif, Machta, Hodna, Soummam.

Après une interruption d'une dizaine d'années, ces mesures ont été reprises en 1970 et étendues à l'ensemble du réseau hydrique national.

A partir des années soixante-dix, un nombre important de données sur le transport solide en suspension, ont permis d'entreprendre une étude générale sur l'érosion, les écoulements solides et l'envasement des retenues de barrages.

Le but majeur à atteindre avec la présente étude est la collecte de toutes les données des crues d'eau, pour que l'estimation de la masse des sédiments qui transite à travers le cours d'eau Oued Enndja s'approche le plus proche possible de la réalité.

Dans notre étude, les mesures de transport solide, (concentration, débit liquide) ont été effectuées à la station hydrométrique de Tassadane (code 100109) et pour une période qui s'étale de 1977 à 1986.

## V.1 Collecte des données

La collecte des données consiste en un dépouillement systématique de tous les fichiers de hauteur d'eau, et de leur concentration en matière en suspension correspondantes (en g/l).

La station Tassadane (code 100109) dispose d'une série de débit solide qui s'étale de 1977 à 1986.

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.1).

*Tableau(V.1) Inventaire de fichiers de données.*

Fichier	Etat de la donnée
*Débit moyen journaliers	Données à partir des mesures de jaugeage, Non suffisant
*Débit de crue	Jaugeage de crues, nombre insuffisant
*Concentration	Manque de données en période de crue
*Pluviographe	Données observées à bonne qualité

## V.2 Dépouillement de données

### V.2.1 Données de débits instantanés

A la station de Tassadane nous disposons de deux séries :

\*Une série de concentration c'est une série de mesure insuffisante, environ 682 valeurs de débit liquide instantané  $Q_l$  en ( $m^3/s$ ), des heures de mesures en (h) et de concentrations en matière en suspension C en (g/l).

\*Une série de mesure de crue qui s'étale du 25 septembre 1973 jusqu'au 21 Aout 2003, elle comporte la date de prélèvement, l'heure en (h), la hauteur d'eau en (cm), et le débit liquide en ( $m^3/s$ ).

A partir de la relation  $Q_s = C * Q_l$ , on peut calculer le débit solide instantané en (kg/s) pour chacune des valeurs de concentration mesurée en (g/l).

Il est à remarquer que nous ne disposons pas de toutes les valeurs relatives au transport solide lors de crues qui varient d'une année à l'autre, charriant une quantité de sédiments variable dans le temps.

Le régime de l'Oued étant fluvial, il n'est pas facile à l'opérateur, malgré les moyens mis à sa disposition, de procéder à des prélèvements d'échantillon.

### V.2.2 Données de débits moyens journaliers

L'appel aux données relatives aux débits liquides moyens journaliers est justifié, du fait que le fichier global des 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 L'Oued Enndja.

Nous avons été amenés à faire l'inventaire du fichier des apports liquides journaliers.

Ces relevés de débits effectués à la station de Tassadane ont été saisis à l'ANRH et qui sont disponibles sous forme d'annuaires comprenant les valeurs réelles des débits liquides moyens journaliers dans le classement chronologiques allant de 1973 à 2003.

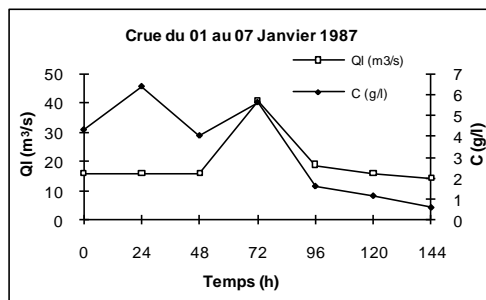
### V.3 Analyse des crues

Les crues dans notre étude ont été analysées dans la station de Tassadane où les données sont disponibles.

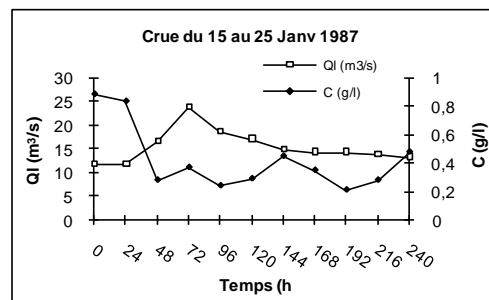
Les crues de cette station montre des pics de concentration qui sont simultanées à ceux aux pointes de débits d'écoulement figure (V.1 c-e-f-g-i-j-k-l-o-p-t).

Certains cas de crues montrent que des pics de concentrations sont retardées d'un minimum de trois heures aux pointes de débits d'écoulement (figure V.1 d-m-r-s). Ce retard a été montré aussi dans les travaux de « Peter Dicenzo, Shiu-hung Luk, 1997 » et qui est le contraire ce qui 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 Algerien), et les caractéristiques des sédiments frais au niveau des lits et des rives des oueds n'arrivent pas au bon moment à la station de jaugeage (station hydrométrique) même jusqu'à ce que l'écoulement atteigne une pointe. (Marouf, Remini, 2011).

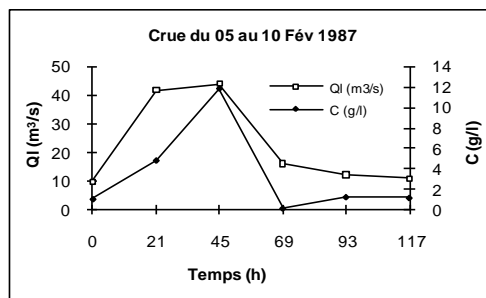
Dans d'autre cas de crue, les pics de concentration précèdent ceux des débits liquides comme il est montré dans les figures (V1.a-b-n-q), cette constatation a été observée dans les caniveaux du bassin expérimental de Shenchong en Chine (Peter et Dicenzo).



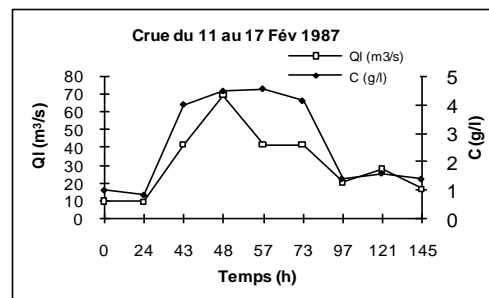
(a)



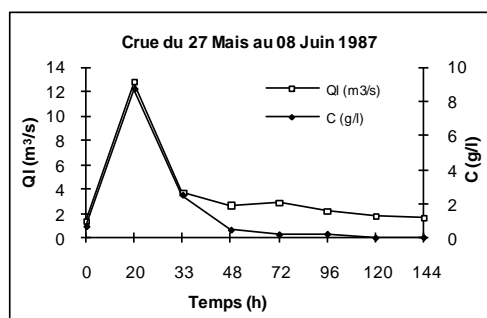
(b)



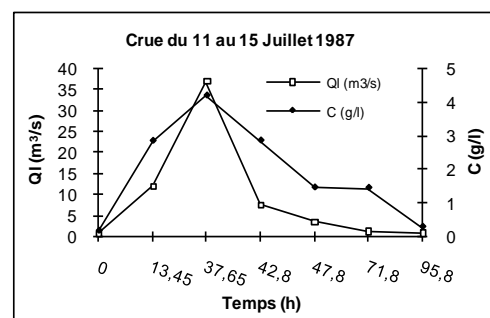
(c)



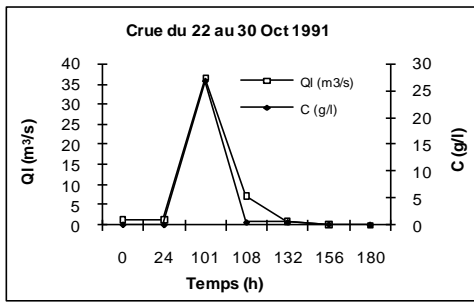
(d)



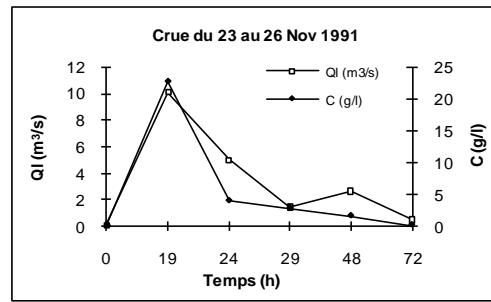
(e)



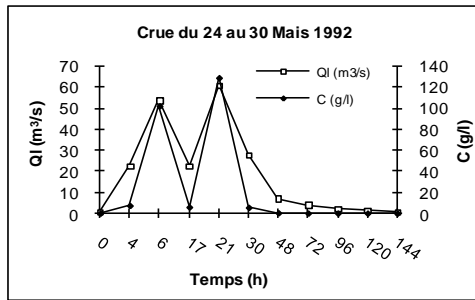
(f)



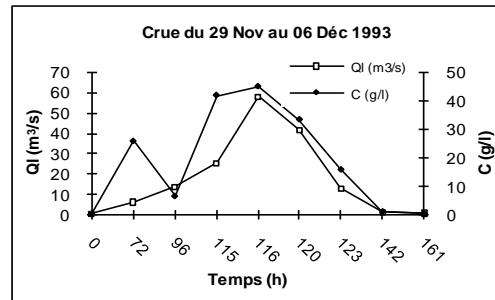
(g)



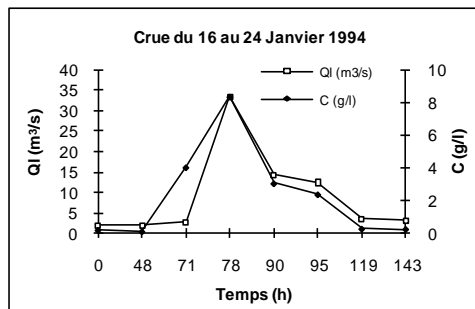
(h)



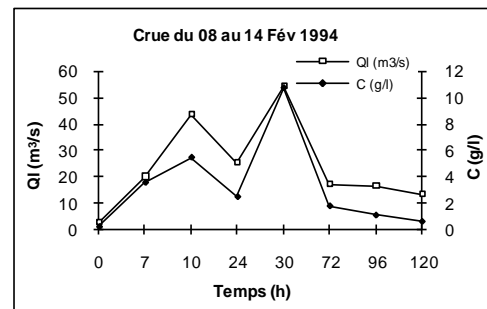
(i)



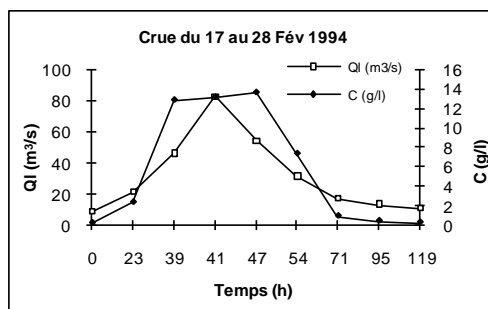
(j)



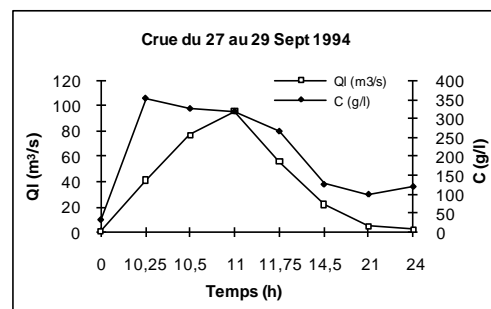
(k)



(l)



(m)



(n)

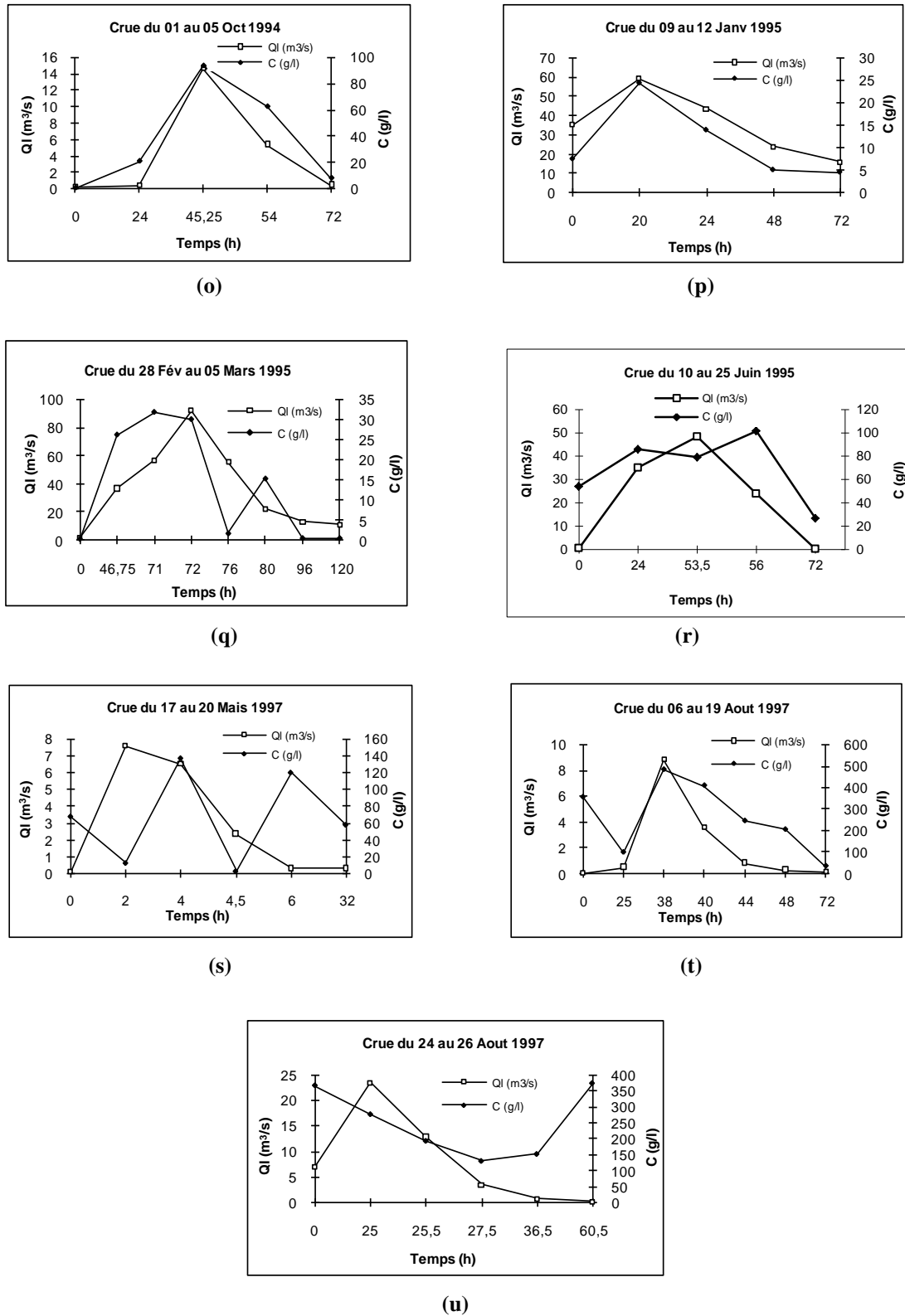
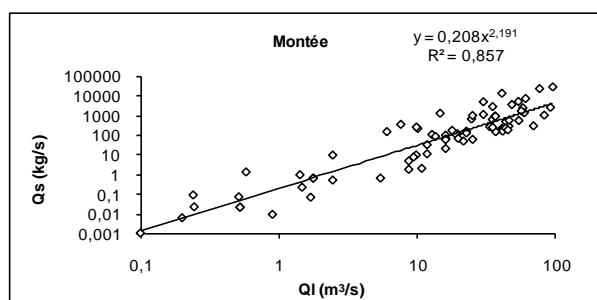
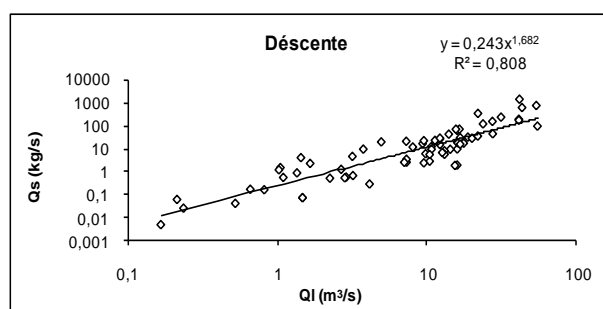


Figure (V.1) : Relation entre la concentration des sédiments et le débit d'écoulement -station Tassadane-.

La représentation de l'ensemble des données a été présentée séparément de la montée et la décrue des hydrogrammes de crue. Les résultats observés montrent l'excellente tendance de la courbe puissance entre les débits liquides ( $Q_l$ ) et les débits solides ( $Q_s$ ) pour les données de 38 crues étudiées à la station de Tassadane (figure V.2 et V.3). Le coefficient détermination atteint le 0,8 pour la montée et la décrue des hydrogrammes de crues étudiés.



**Figure (V.2) :** Représentation graphique des débits solides et des débits liquides pour 23 crues durant la période de 1987-1997 (a- la montée de l'hydrogramme) -station Tassadane-.



**Figure (V.3) :** Représentation graphique des débits solides et des débits liquides pour 23 crues durant la période de 1987-1997 (b- la décrue de l'hydrogramme) -station Tassadane-.

## V.4 Présentation et mise en forme

### V.4.1 Classification des données

Nous avons dans notre fichier de base (690) couples de valeurs instantanées de débit solide et de débit liquide observés durant une période de 8 ans à la station Tassadane.

Chaque année hydrologique a été marquée par ces événements exceptionnels (crues) ou par l'absence de prélèvements pour certaines périodes pour des raisons bien différents.

Afin d'exploiter ces données, on doit les classées selon le nombre exacte d'échantillon relatif à chaque année tout en calculant le nombre de données mensuelles. Le tableau (V.2) illustre tous les résultats obtenus.

A partir de ces résultats nous tirons plusieurs informations et nous procédons au traitement statistique.

Les résultats du tableau (V.2) nous renseignent des moyennes mensuelles et annuelles des sédiments en suspension au droit de la station de Tassadane.

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 celui liquide.

Il est souhaitable de collecter le maximum de données au préalable.

**Tableau (V.2):** Moyennes mensuelle et annuelle des concentrations des sédiments en suspension.

Année / moi	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mais	Juin	Juil	Aout	total
1987	0,02	/	0,08	0,06	1,1	2,2	0,28	1,35	1,02	0,02	0,53	/	/
1991	44,43	7,33	1,46	/	/	/	/	/	/	/	/	/	53,23
1992	/	/	/	/	/	/	/	0,05	9,3	0,04	/	/	9,39
1993	0,21	0,27	0,56	14,86	/	/	/	0,05	0,6	/	/	/	16,56
1994	170,85	23,51	/	11,84	0,93	3,09	0,46	0,5	0,15	/	/	185,96	397,29
1995	44,11		5,5		5,75	0,25	5,17	6,43	6,94	38,59	/	/	112,74
1996	/	/	/	/	/	/	/	/	14,95	/	/	/	14,95
1997	/	/	/	/	/	/	/	18,55	73,11	112,69	/	244,82	449,17
Total	259,63	31,12	7,59	26,76	7,78	5,54	5,92	26,93	106,07	151,34	0,53	430,77	1059,98

Plus le nombre de données est important plus sa réduction au nombre d'un modèle donne une meilleure approximative possible au problème posé.

Les périodes où les prélèvements n'ont été pas effectués peuvent avoir un effet direct sur le résultat final du traitement.

Pour notre cas, la saison estivale enregistre moins d'échantillons que les autres périodes de l'année.

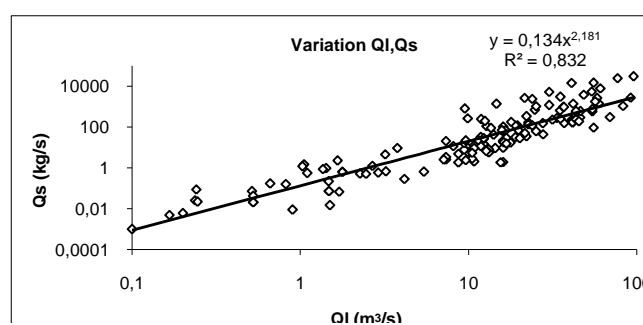
Vu les faibles apports enregistrés pendant la période estivale, cette dernière ne peut avoir une grande influence sur le bilan total des apports annuels.

Avant toute tentative de traitement nous essayons de représenter graphiquement toutes les données afin d'avoir la répartition approximative des débits solides à différentes échelles temporelles (mensuelle, annuelle, saisonnière, saison humide-saison sèche et pour toute la période d'observation) de toutes les données.

## V.5 Répartition des Débits liquides-Débits solides

### V.5.1 Répartition de la totalité des données

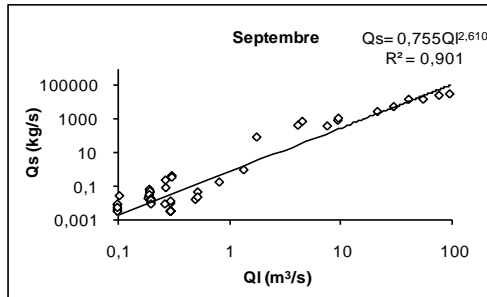
La visualisation de l'ensemble des données observées, dans un diagramme débit liquide-débit solide (figure V.4), permet d'identifier l'allure de la courbe.



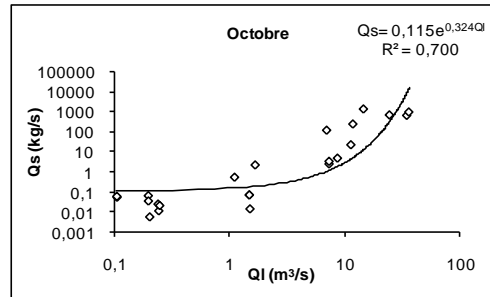
**Figure (V.4) :** Répartition débit solide-débit liquide : totalité des données de 1987-1997 à la station de Tassadane.

### V.5.2 Répartition mensuelle

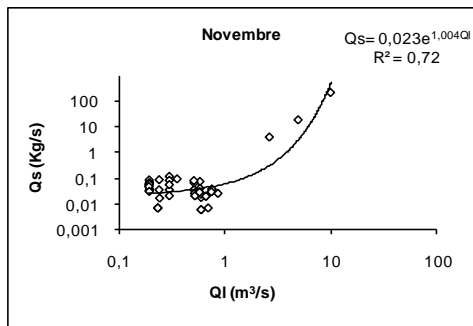
Pour suivre l'évolution du débit solide en fonction du débit liquide dans le temps, et dans le but d'avoir une idée plus précise sur la forme des données, une mise en graphe de toutes les valeurs mensuelles du couple ( $Q_s, Q_l$ ) est imposée (figure V.5).



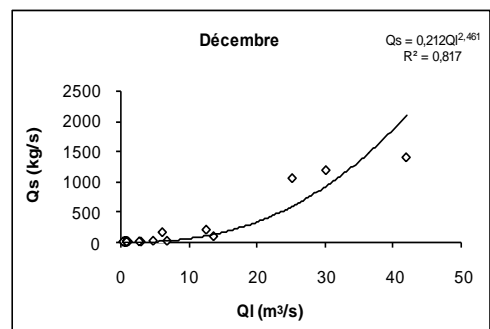
(a)



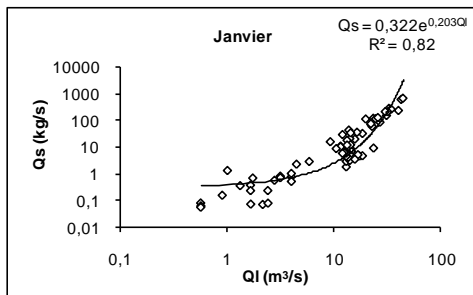
(b)



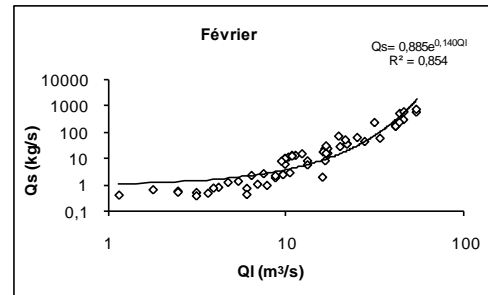
(c)



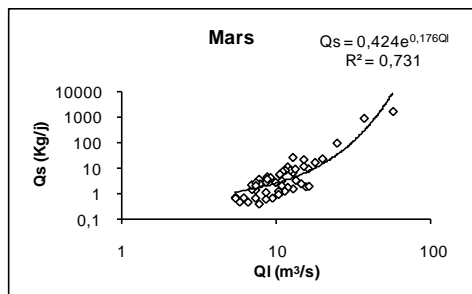
(d)



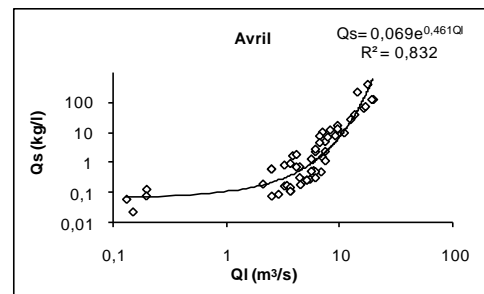
(e)



(f)



(g)



(h)

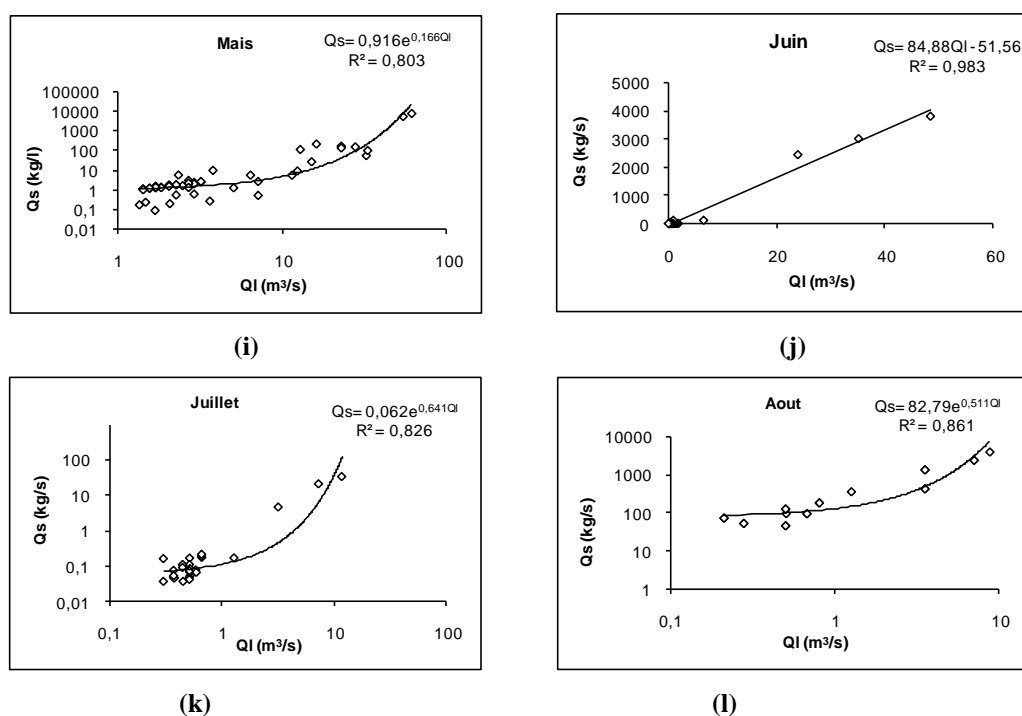


Figure (V.5) : Répartition mensuelle des débits solides-débits liquides (station Tassadane).

Chaque mois est caractérisé par une forme spécifique caractérisant la variation des apports solides en fonction des apports liquides, cette variation nous renseigne sur les limites que atteindre le couples  $(Q_s, Q_l)$ , ainsi que les périodes où 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.3) : Modèles retenues et leurs coefficients de détermination calculés à l'échelle mensuelle pour la station de Tassadane.

Echelle temporelle	Type de modèle	Modèle retenus	Coeff de détermination ( $R^2$ )
Septembre	Puissance	$Q_s=0,755*Q_l^{2,61}$	0,90
Octobre	Exponentielle	$Q_s=0,115 e^{0,324Q_l}$	0,70
Novembre	Exponentielle	$Q_s=0,023 e^{1,004Q_l}$	0,72
Décembre	Puissance	$Q_s=0,212*Q_l^{2,461}$	0,82
Janvier	Exponentielle	$Q_s=0,322 e^{0,203Q_l}$	0,82
Février	Exponentielle	$Q_s=0,885 e^{0,14Q_l}$	0,85
Mars	Exponentielle	$Q_s=0,42 e^{0,176Q_l}$	0,73
Avril	Exponentielle	$Q_s=0,069 e^{0,461Q_l}$	0,83
Mai	Exponentielle	$Q_s=0,916 e^{0,166Q_l}$	0,80
Juin	Linéaire	$Q_s=84,88Q_l-51,56$	0,98
Juillet	Exponentielle	$Q_s=0,062 e^{0,641Q_l}$	0,83
Aout	Exponentielle	$Q_s= 82,79 e^{0,511 Q_l}$	0,86

### V.5.3 Répartition annuelle

Les graphes qui représentent les couples ( $Q_s$ ,  $Q_l$ ) : donnent au 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.

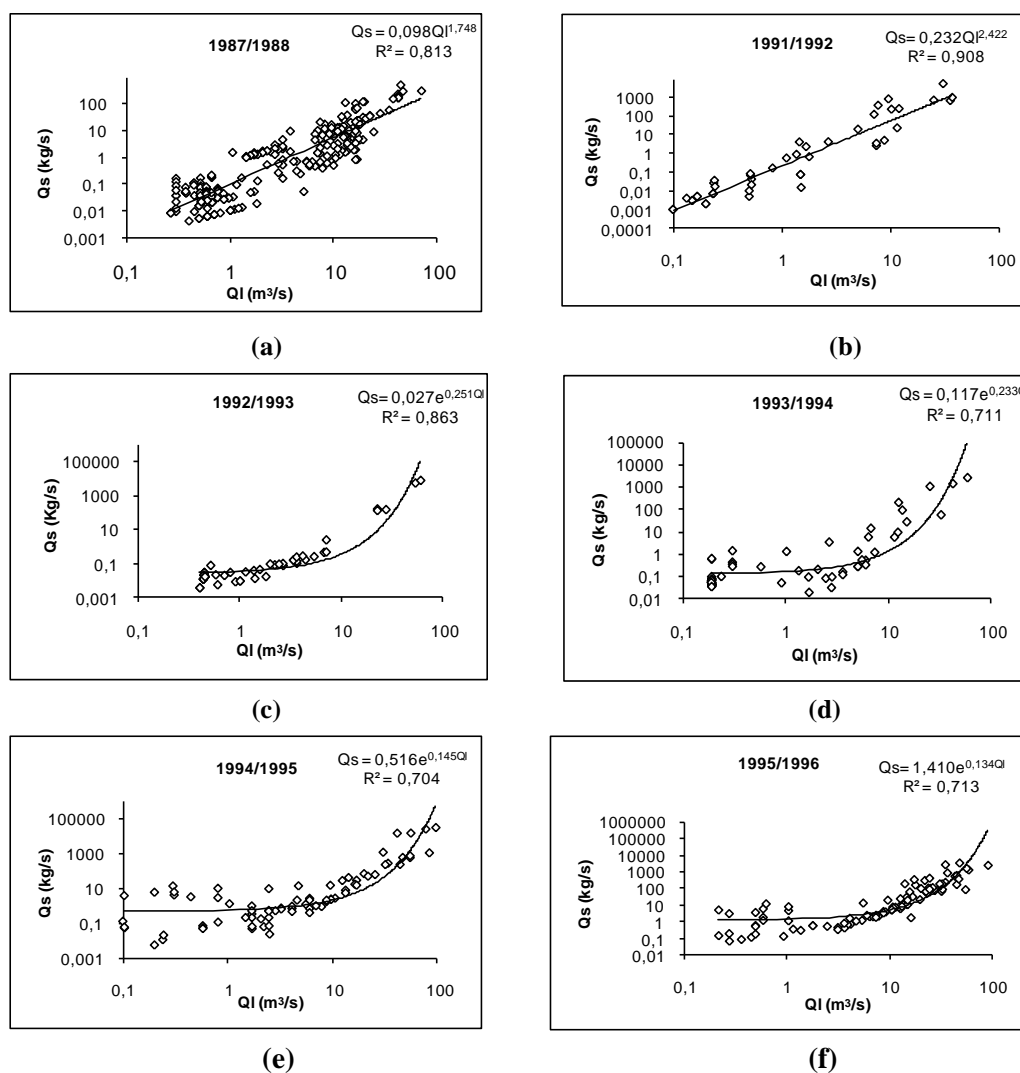


Figure (V.6) : Répartition annuelle des débits solides-débits liquides –station Tassadane-.

Le tableau présenté ci-dessous montre les résultats de la représentation graphique des couples.

Tableau (V.4) : Modèles retenus et leurs coefficients de détermination calculés à l'échelle annuelle – Tassadane-.

Echelle temporelle	Type de modèle	Modèle retenus	Coefficient de détermination ( $R^2$ )
1987/1988	Puissance	$Q_s = 0,098 * Q_l^{1,748}$	0,81
1991/1992	Puissance	$Q_s = 0,232 * Q_l^{2,422}$	0,91
1992/1993	Exponentielle	$Q_s = 0,027 e^{0,251 Q_l}$	0,86
1993/1994	Exponentielle	$Q_s = 0,117 e^{0,233 Q_l}$	0,77
1994/1995	Exponentielle	$Q_s = 0,516 e^{0,145 Q_l}$	0,70
1995/1996	Exponentielle	$Q_s = 1,410 e^{0,134 Q_l}$	0,71

La variation annuelle et mensuelle de débit liquide-débit solide au droit de la station de Tassadane a été montrée dans les figures (V.5 –V.6), la relation reliant le débit liquide ( $Q_l$ ) et le débit solide ( $Q_s$ ) montre la corrélation moyenne à l'échelle annuelle et même mensuelle.

Le coefficient de détermination à l'échelle annuelle varie entre (0,704 et 0,908) alors qu'à l'échelle mensuelle il varie de 0,70 à 0,901.

#### V.5.4 Répartition saisonnière

Vu l'influence des saisons sur le phénomène du transport solide, la visualisation de l'ensemble des données à l'échelle saisonnière permet d'identifier la saison la plus contribuable à l'érosion de la zone d'étude (sous-bassins 01,02 et 03 du bassin Kébir Rhumel).

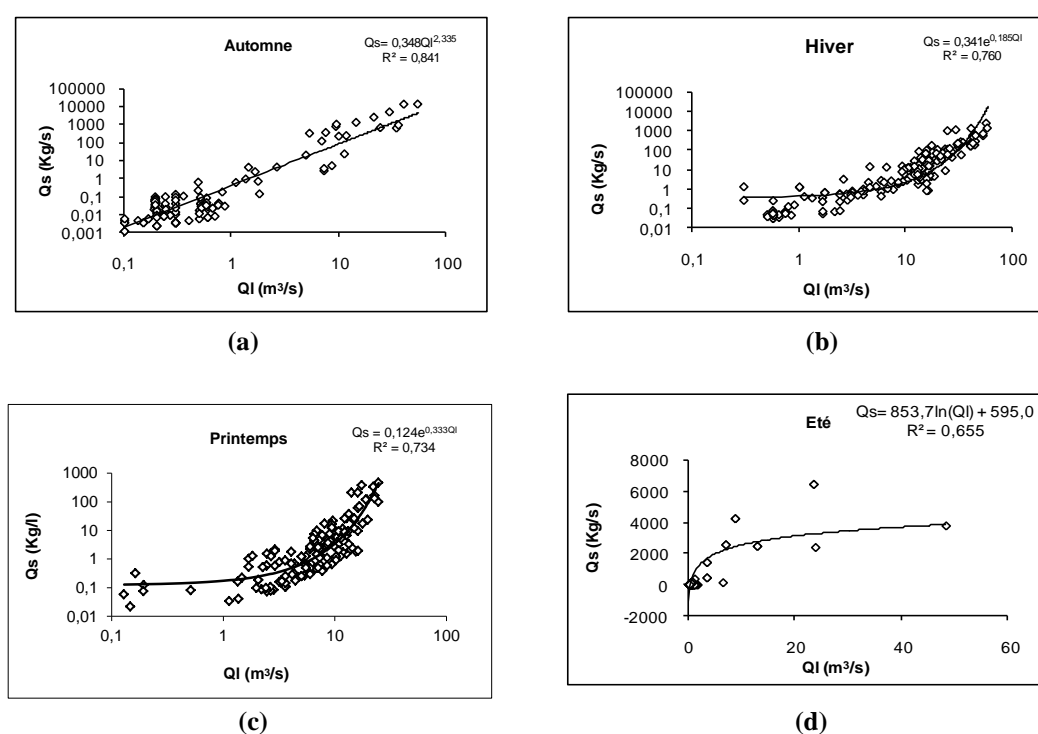


Figure (V.7) : Répartition annuelle des débits solides-débits liquides –station Tassadane-.

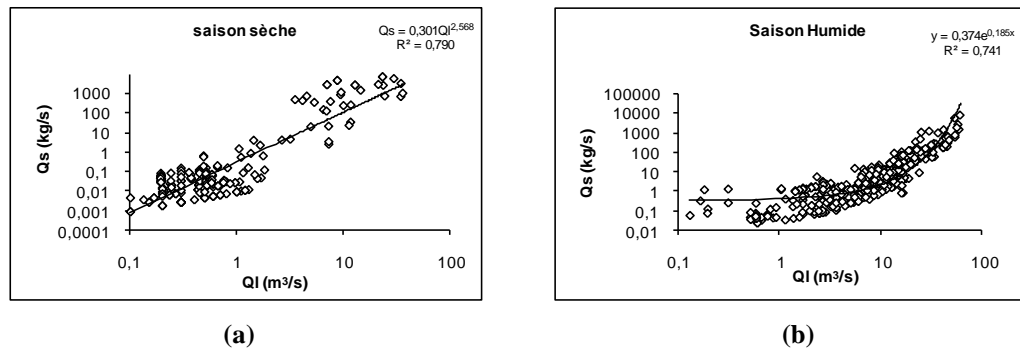
La relation entre le débit liquide et le débit solide au droit de la station de Tassadane montre, que la bonne corrélation est obtenue par le modèle Exponentielle à l'Hiver, Printemps et Été alors qu'elle est obtenue à l'Automne par le modèle Puissance. Dans la saison d'Été les faibles débits sont en accord avec les faibles charges sédimentaires. Dans la saison d'inondation (Automne), la bonne corrélation présentée dans ce cas, le fait que les grandes vitesses d'écoulement et la puissance de cours d'eau pendant les crues peuvent donc mobiliser et transporter les charges mêmes élevées de sédiments.

Le tableau présenté ci-dessous montre les résultats de la représentation graphique des couples débit liquide et débit solide à l'échelle saisonnière de la station de Tassadane.

**Tableau(V.5) : Modèles retenues et leurs coefficients de détermination calculés à l'échelle saisonnière pour la station de Tassadane.**

Echelle temporelle	Type de modèle	Modèle retenus	Coeff de détermination (R <sup>2</sup> )
Automne	Puissance	$Q_s=0,348*Q_l^{2,335}$	0,84
Hiver	Exponentielle	$Q_s=0,341 e^{0,185Q_l}$	0,76
Printemps	Exponentielle	$Q_s=0,124 e^{0,333Q_l}$	0,73
Eté	Exponentielle	$Q_s=853,7\ln(Q_l)+595$	0,66

### V.5.5 Répartition des données pour les saisons humide et sèche



**Figure (V.8) : Répartition saison humide-saison sèche des débits solides-débits liquides-station Tassadane-.**

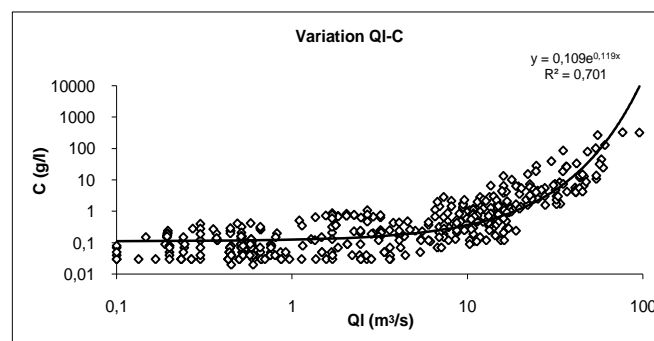
**Tableau(V.6) : Modèles retenues et leurs coefficients de détermination calculés pour les saisons humides et sèches pour la station Tassadane.**

Echelle temporelle	Type de modèle	Modèle retenus	Coefficient de détermination (R <sup>2</sup> )
Saison humide	Exponentielle	$Q_s=0,374 e^{0,185Q_l}$	0,741
Saison sèche	Puissance	$Q_s=0,301*Q_l^{2,568}$	0,79

### V.6 Répartition Débit liquide-Concentration

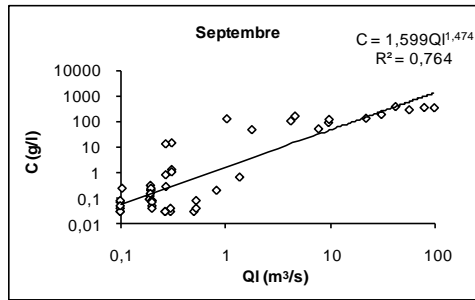
#### V.6.1 Répartition de la totalité des données

La visualisation de l'ensemble des données observées, dans un diagramme débit liquide-Concentration (figure V.9) permet d'identifier l'allure de la courbe.

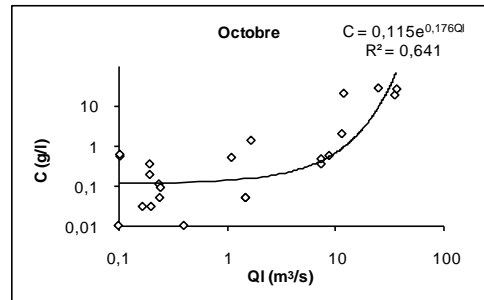


**Figure (V.9) : Répartition de la totalité des données débits liquide-Concentration-station Tassadane-.**

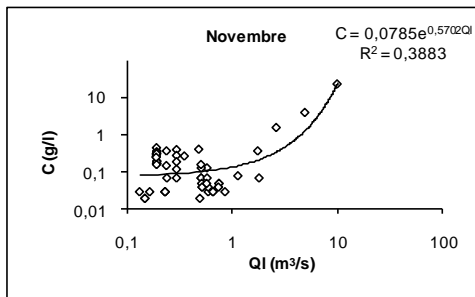
V.6.2 Répartition mensuelle



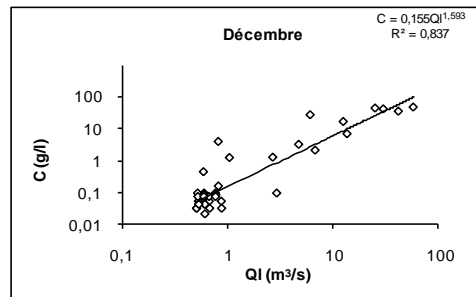
(a)



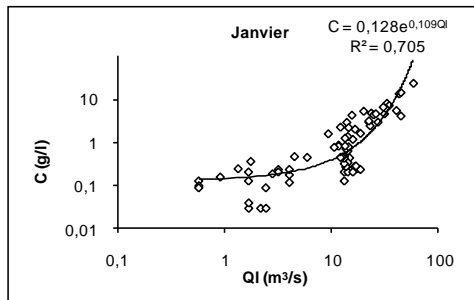
(b)



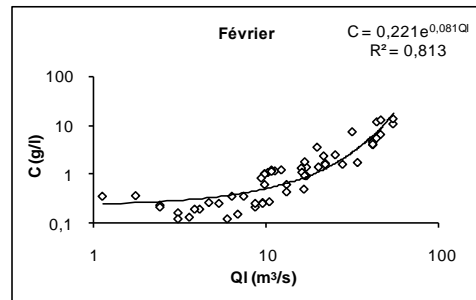
(c)



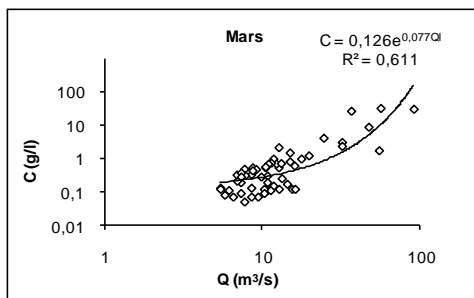
(d)



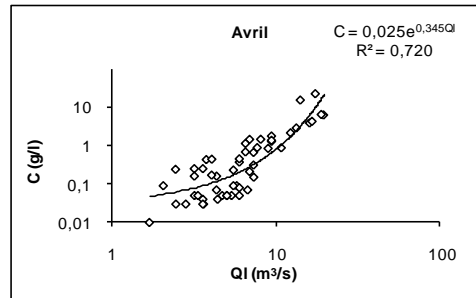
(e)



(f)



(g)



(h)

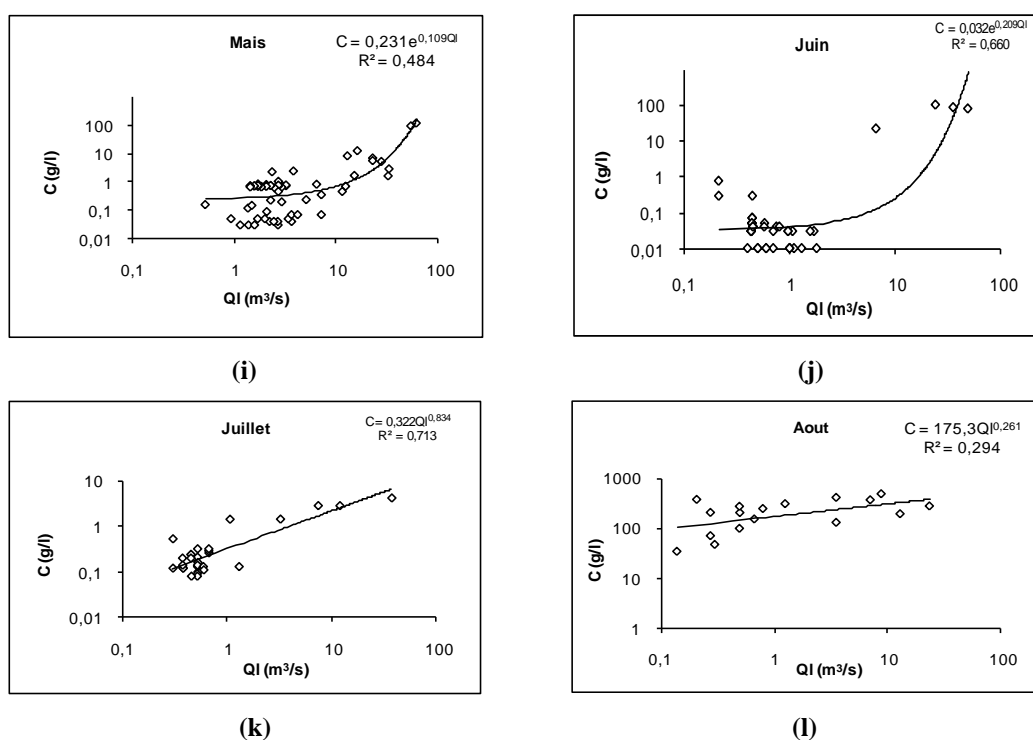


Figure (V.10) : Répartition mensuelle des débits liquides-Concentrations –station Tassadane-.

Tableau(V.7) : Modèles retenues et leurs coefficients de détermination calculés à l'échelle mensuelle pour la station Tassadane.

Echelle temporelle	Type de modèle	Modèle retenus	Coefficient de détermination ( $R^2$ )
Septembre	Puissance	$C=1,599*Ql^{1,474}$	0,764
Octobre	Exponentielle	$C=0,155 e^{0,176Ql}$	0,641
Novembre	Exponentielle	$C=0,0785 e^{0,5782Ql}$	0,39
Décembre	Puissance	$C=0,155*Ql^{1,593}$	0,837
Janvier	Exponentielle	$C=0,128 e^{0,109Ql}$	0,705
Février	Exponentielle	$C=0,221 e^{0,08Ql}$	0,813
Mars	Exponentielle	$C=0,126 e^{0,077Ql}$	0,611
Avril	Exponentielle	$C=0,025 e^{0,345Ql}$	0,72
Mai	Exponentielle	$C=0,231 e^{0,109Ql}$	0,484
Juin	Exponentielle	$C=0,032 e^{0,209Ql}$	0,66
Juillet	Exponentielle	$C=0,322 e^{0,834Ql}$	0,713
Aout	Exponentielle	$C= 175,3 e^{0,261 Ql}$	0,249

## V.6.3 Répartition annuelle

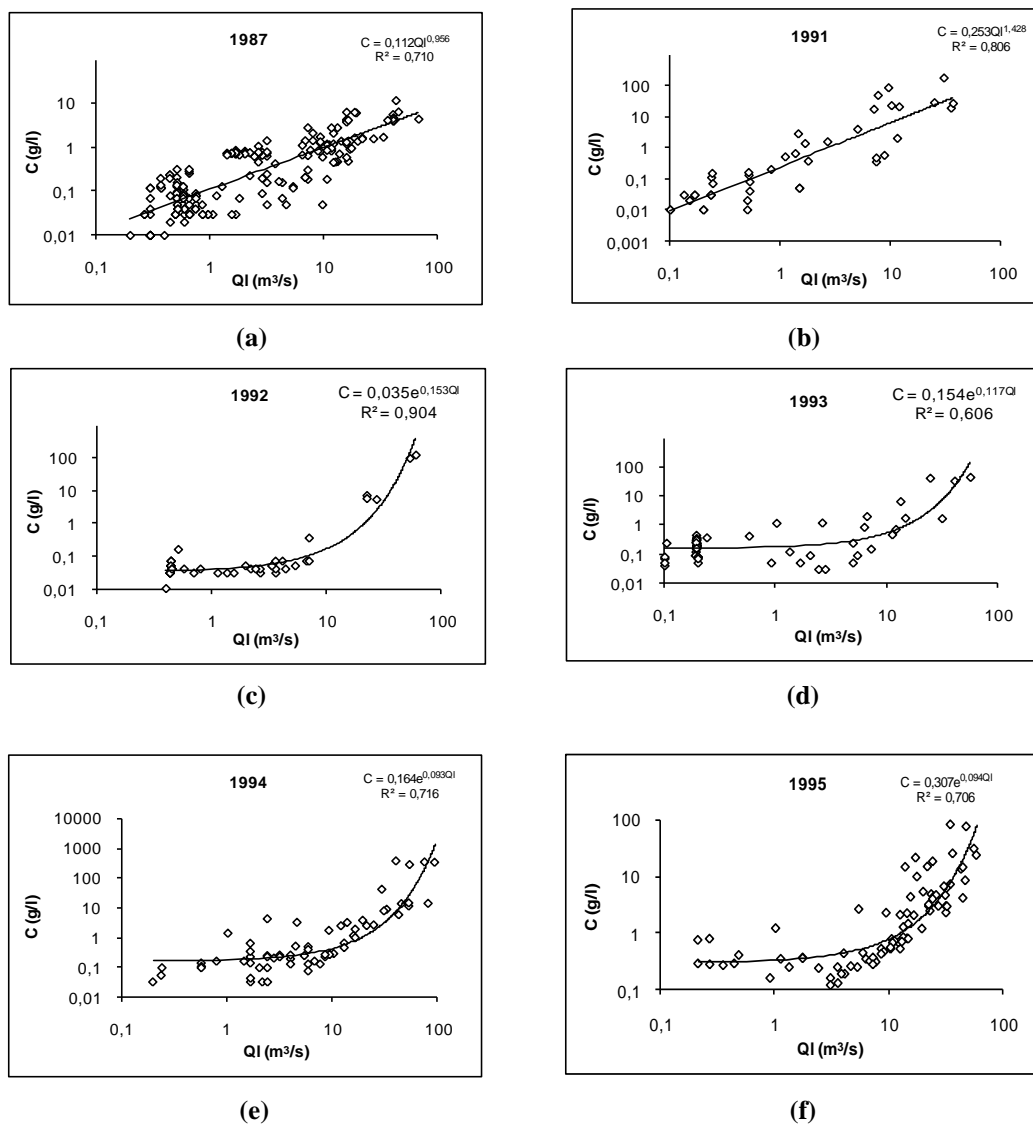


Figure (V.11) : Répartition annuelle des débits liquides-Concentrations –station Tassadane-.

Tableau(V.8) : Modèles retenues et leurs coefficients de détermination calculés à l'échelle annuelle pour la station de Tassadane.

Echelle temporelle	Type de modèle	Modèle retenus	Coefficient de détermination ( $R^2$ )
1987/1988	Puissance	$C=0,112*Ql^{0,956}$	0,71
1991/1992	Puissance	$C=0,253*Ql^{1,428}$	0,806
1992/1993	Exponentielle	$C=0,035 e^{0,135Ql}$	0,904
1993/1994	Exponentielle	$C=0,154 e^{0,117Ql}$	0,606
1994/1995	Exponentielle	$C=0,164 e^{0,093Ql}$	0,716
1995/1996	Exponentielle	$C=0,307 e^{0,094Ql}$	0,706

V.6.4 Répartition saisonnière

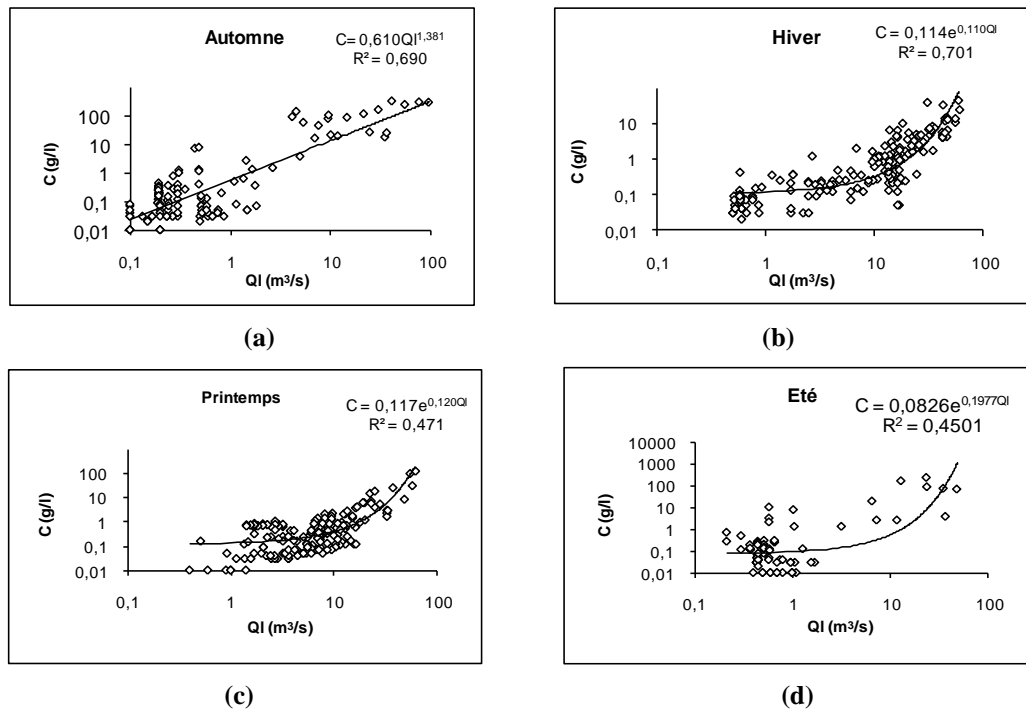
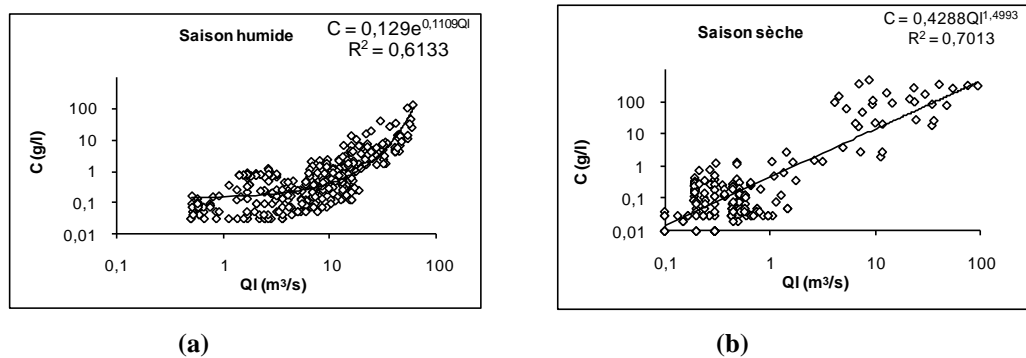


Figure (V.12) : Répartition saisonnière des débits liquides-Concentrations –station Tassadane-

Tableau(V.9) : Modèles retenues et leurs coefficients de détermination calculés à l'échelle saisonnière pour la station Tassadane.

Echelle temporelle	Type de modèle	Modèle retenus	Coefficient de détermination ( $R^2$ )
Automne	Puissance	$C=0,610*Ql^{2,335}$	0,69
Hiver	Exponentielle	$C=0,114 e^{0,111Ql}$	0,701
Printemps	Exponentielle	$C=0,117 e^{0,120Ql}$	0,471
Eté	Exponentielle	$C=0,0826 e^{0,1977Ql}$	0,4501

V.6.5 Répartition des données pour les saisons humide et sèche



*Figure (V.13) : Répartition des données pour les saisons humide et sèche des débits liquides-Concentrations-station Tassadane-.*

*Tableau(V.10) : Modèles retenues et leurs coefficients de détermination calculés pour les saisons humide sèches –station Tassadane-.*

Echelle temporelle	Type de modèle	Modèle retenus	Coefficient de détermination ( $R^2$ )
Saison humide	Exponentielle	$C=0,1306 e^{0,1112Ql}$	0,6133
Saison sèche	Puissance	$C=0,4319*Ql^{1,4879}$	0,7013

### Conclusion

La collecte des données constitue une étape primordiale pour notre travail, dans la quelle, plus le nombre de données est important plus sa réduction au nombre d'un modèle donne une meilleure rse pose toujours lors de la quantification du transport solide en suspension.

La station de jaugeage "Tassadane" nous fournies deux séries de données : la première est celles du couple débit liquide instantané en ( $m^3/s$ ) et concentration des sédiments en ( $g/l$ ) : ( $Q_l, C$ ) s'étalant de 1973 à 2003, la deuxième est la série des crues. Sur la base de ces deux variantes, on peut déterminer le débit solide instantané  $Q_s$  en ( $Kg/s$ ), par la relation :  $Q_s=Q_l*C$ .

L'analyse graphique simultanée des courbes de concentrations et des débits liquides montre trois formes des piques : Dans la première les piques de concentrations sont simultanées aux pointes de débits d'écoulement, pour le 2<sup>ème</sup> cas elles sont retardées à celles du débit, ce qui est expliqué par l'entraînement et le transport limité des sédiments précédemment déposées dans les lits larges et peu profondes (cas des Oueds Algériens), pour la troisième forme où les piques de concentrations précèdent celles de débits , cette constatation a été observée dans les caniveaux du bassin expérimental sèche Shengshoung en chine (Peter et Dicenzo).

La recherche et l'étude de la relation entre le débit liquide et celui solide, ainsi qu'entre le débit liquide et la concentration des sédiments en suspension, par une analyse graphique des couples ( $Q_l, Q_s$ ) et ( $Q_l, C$ ) à différentes échelles : mensuelles, annuelles, saisonnière, saison humide et sèche, a montré que le modèle Exponentiel est le plus convaincant, avec des coefficients de détermination  $R^2=0,70$  à  $0,91$  pour le couple ( $Q_l, Q_s$ ) et de  $0,45$  à  $0,90$  pour celui ( $Q_l, C$ ).

Chapitre VI  
Traitement et  
interprétation des  
résultats

**Généralités**

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 général et à la statistique en particulier.

Ces méthodes statistiques 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 des sédiments qui transitent à travers le cours d'eau considéré, et susceptible de se déposer au droit de la zone d'étude.

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.

## VI.1 Méthodes de régression linéaire

### VI.1.1 Avantage d'un modèle

Nous avons souvent à prendre des décisions au sujet des phénomènes dont on ne connaît le comportement que par des données mesurées.

La connaissance fondamentale des phénomènes en question nous permet de poser un modèle précis à l'avantage :

- ✓ L'exploitation des données expérimentales, exprimant le mieux possible un problème donné ;
- ✓ Réduction de l'ensemble des données expérimentales, exprimant le mieux possible un problème donné ;
- ✓ Simulation du comportement du système.

- **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.

Un modèle est linéaire s'il peut s'écrire sous la forme :

$$Y = A + Bx \dots\dots\dots(VI.1).$$

Un modèle est linéarisable s'il peut être ramené à la forme (VI.1) par un changement de variable.

En général, pour les modèles linéaires ou linéarisables, 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 linéarisables est inévitable.

### VI.1.2 Méthode de moindres carrés

La méthode des moindres carrés est un outil mathématique permettant de faire une approximation des données par une fonction analytique.

Cette méthode consiste à minimiser la somme des carrés entre les valeurs observées et les valeurs théoriques d'une fonction.

La droite qui approche un ensemble des points, obéissant à la norme :

$$\sum_{i=1}^n E^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - y_i^*)^2 \dots\dots\dots(VI.2).$$

Est la meilleure droite d'ajustement, avec  $y^*$  est une 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 ».

### VI.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 :

$$r = \frac{[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_i)(y_i - \bar{y}_i)]^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_i)^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2} \dots\dots\dots(VI.3).$$

**Avec :**

$x_i$  : Variable connue, correspondant à un débit liquide Ql instantané.

$y_i$  : Variable connue, correspondant à un débit solide Qs instantané.

$\bar{x}_i$  : Moyenne arithmétique de la série  $x_i$ .

$\bar{y}_i$  : 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 le modèle le plus convaincant au vu du coefficient de détermination «  $R^2$  » trouvé la liaison entre les variables connues et les variables inconnues.

#### VI.1.4 Modèle linéaire « type de droite » :

C'est un modèle de type linéaire, son équation de droite est de la forme suivante :

$$y = A + Bx \dots\dots\dots (VI.4).$$

« B » représente la pente de la droite est égale à :

$$B = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n x_i) (\sum_{i=1}^n y_i)}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \dots\dots\dots (VI.5).$$

« A » est l'ordonnée à l'origine de la droite est égale à :

$$A = \bar{Y} - B\bar{x} \dots\dots\dots (VI.6).$$

Où  $\bar{X}$  et  $\bar{y}$  sont les moyennes arithmétiques respectivement de la série des « Xi » et de la série des « Yi ».

#### VI.1.5 Modèle Logarithmique

Ce modèle est gouverné par l'équation suivante :  $Y = Lnx + B \dots\dots\dots (VI.7).$

#### VI.1.6 Modèle Exponentiel

L'équation de ce modèle est de la forme suivante :

$$Y = Ae^{Bx} \dots\dots\dots (VI.8).$$

Nous obtenons l'équation suivante pour une transformation logarithmique :

$$LnY = LnA + Lne^{Bx} \dots\dots\dots (VI.9).$$

$$LnY = Ln A + Bx \dots\dots\dots (VI.10).$$

#### VI.1.7 Modèle puissance

L'équation puissance de ce modèle est de la forme suivante :

$$Y = Ax^B \dots\dots\dots (VI.11).$$

Si on introduit le logarithme népérien on a :

$$\ln Y = \ln A + B \ln X \dots \dots \dots (VI.12).$$

D'après les résultats obtenus, ce modèle avec le modèle exponentiel présente les meilleures valeurs de régression  $R^2$ .

### VI.1.8 Modèle polynomiale

Pour un modèle linéaire et dans le cas d'un polynôme de 2<sup>ème</sup> degré, l'équation de la parabole est de la forme suivante :

$$Y = A + Bx + Cx^2 \dots \dots \dots (VI.13).$$

Pour résoudre cette équation afin de déterminer les valeurs des coefficients A, B, C, il faut résoudre un système à trois équations 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 représente le débit solide  $Q_s$  en kg/s.

Vu l'importance de la quantité des données, à notre disposition nous allons chercher les modèles régressifs, traiter leurs caractéristiques et déterminer les valeurs des coefficients de détermination  $R^2$  à l'aide d'un micro-ordinateur.

## VI.2 Traitement des données

### VI.2.1 Recherche des relations : Débit liquide-concentration-débit solide

- **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 de données.

- 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.

### VI.3 Evaluation des apports annuels

Avant toute tentative de traitement et afin d'avoir la forme approximative des apports au droit de la station de Tassadane pour une période de vingt neuf ans allant de 1974 à 2003, nous nous avons tenté d'évaluer les apports annuels susceptibles d'être reçus à la zone d'étude.

Chaque année a été caractérisé 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.

$$A_0 = Q_0 \cdot T \dots \dots \dots (VI.14).$$

$A_0$  : Apport moyen annuel. ( $m^3$ ) ;

$Q_0$  : Débit moyen annuel. ( $m^3/s$ ) ;

T : Le temps d'années. (Secondes).

La comparaison des résultats obtenus nous a permis d'enregistrer plusieurs remarques :

- Les années dont l'apport annuel dépasse la valeur interannuelle 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.

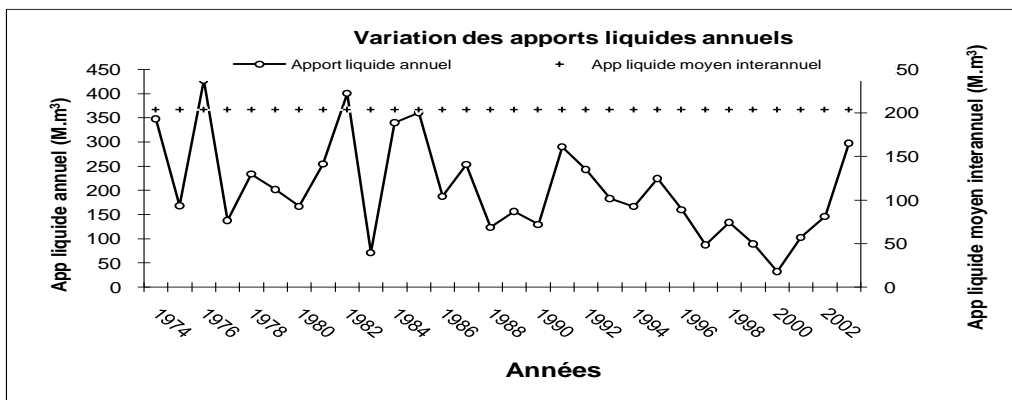


Figure (VI.1) : Variation des apports annuels liquide-station Tassadane-

### VI.4 Calcul des débits et quantification

#### VI.4.1 Calcul du débit solide

L'étude menée a pour objectif principal, la quantification du débit solide à partir des débits liquides moyens journaliers ( $m^3/s$ ) au droit de la station de Tassadane où les prélèvements sont effectués.

Vu à la faiblesse des données concernant la série de concentration on a procédé comme suit :

✓ **1<sup>ère</sup> étape :**

A partir du fichier du transport solide comportant les couples (Ql,Qs) on a choisi le modèle le plus convaincant pour ces derniers (Ql,Qs) et cela suivant la valeur de coefficient de détermination  $R^2$ .

✓ **2<sup>ème</sup> étape :**

A cause de la faiblesse des données de la première série « Transport solide » qui nous donne seulement six ans de mesure s'étalant de 1987 au 2003 et afin d'obtenir une série de donnée suffisante on a appliqué ces modèles trouvés à travers les relations reliant le couples Qs,Ql sur les données de la série de fichier « crue » comportant seulement les données du débit liquide et qui s'étalent sur une période de 29 ans de 1974 jusqu'au 2003.

Sur la base des relations reliant les débits solides aux débits liquides, nous déterminons les débits solides moyens journaliers (en kg/s), en appliquant à chaque valeur de débit liquide journalier (en m<sup>3</sup>/s) son modèle relatif au mois correspondant.

Au total nous avons appliqués toutes les équations de base du modèle de tout les mois ; et nous avons aboutis aux valeurs réelles du débit solide moyen journalier (en kg/s) dans les deux cas : débit solide avec crue, débit solide sans crue, de toute la série d'observation, classée par ordre chronologique à partir de l'année 1974 jusqu'à 2003.

• **Diagramme pour calcul d transport solide**

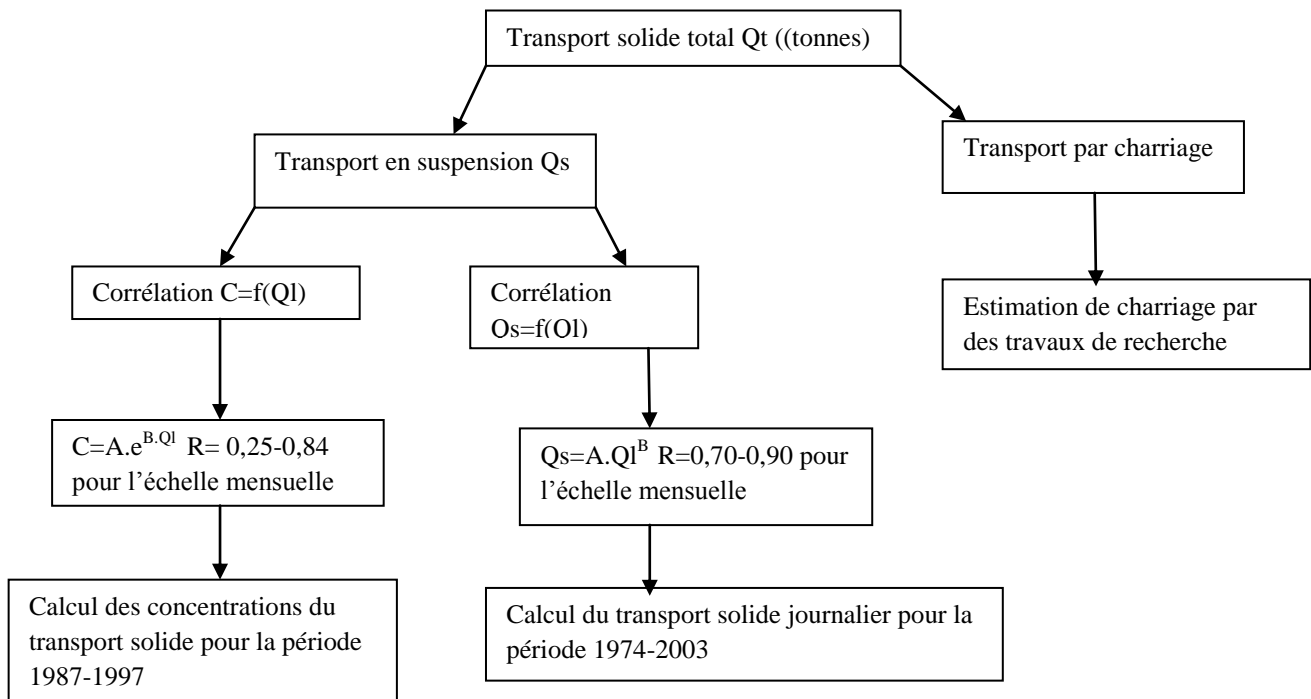
La visualisation des résultats trouvés, dans un diagramme apports solides-apports liquides (**Figure VI.2**), nous donne une meilleure explication quant à la variation des paramètres (Ql,C) ainsi que(Ql,Qs).

Le diagramme ci-dessous explique la méthodologie de calcul du transport solide avec ces deux types : Transport solide en suspension.

**-Transport solide en suspension :** on a utilisé deux modes de corrélations, la première consiste à évaluer les concentrations en matière en suspension à partir de la relation reliant celles dernières avec les débits liquides  $C=f(Ql)$ , pour ce cas et pour une répartition mensuelle des données étudiées, le modèle exponentielle est jugé le plus convaincant pour un coefficient de corrélation allant de 0,25 à 0,84, les concentrations sont calculées pour une période de 6 ans s'étalant entre 1987 et 1995, vu l'insuffisance de la période d'étude on a procédé au deuxième mode de corrélation celui reliant les débits solides avec ceux liquides.

-Pour la deuxième corrélation donnant les valeurs des débits solide à partir de celles des débits liquides  $Qs= f(Ql)$ , et pour une répartition à l'échelle mensuelle le modèle puissance  $Qs=A.Ql^B$  est le plus adéquat avec un coefficient de corrélation allant de 0,70 à 0,90, la période d'étude de 29 ans est largement suffisante pour conclure de bonnes résultats.

**-Transport solide par charriage :** ce type de transport n'est pas calculé mais estimé par différentes méthodes des travaux de chercheurs, on peut citer parmi ces derniers :



*Figure (VI.2) : Calcul du transport solide total.*

#### VI.4.2 Quantification du transport solide en suspension :

Cette partie a consisté à un calcul direct du transport solide en suspension au niveau de la station de Tassadane en fonction des débits liquides instantanés en ( $m^3/s$ ) durant une période qui s'étale entre 1974 et 2003, nous avons déterminé les débits solides moyens (en Kg/s).

Les résultats de calculs annuels de la charge sédimentaire en suspension ont été illustrés dans les tableaux (VI.1, VI.2, VI.3, VI.4, VI.5, VI.6, VI.7, VI.8, VI.9).

-

Tableau (VI.1) : Variation mensuelle du débit liquide ( $m^3/s$ )-station Tassadane-.

Année	sept	oct	nov	déc	janvier	février	mars	avril	mais	juin	juillet	aout	annuel
1974	3,04	9,24	2,93	7,51	4,82	18,72	52,26	19,00	14,80	0,00	0,00	0,00	132,32
1975	5,13	0,00	3,13	7,05	2,90	27,06	7,78	0,00	6,13	0,00	0,00	4,82	64,00
1976	16,60	9,03	7,93	20,65	4,94	27,29	32,82	13,93	9,35	8,14	5,59	6,45	162,72
1977	1,97	0,00	6,10	0,00	24,39	0,00	1,62	8,48	5,37	4,55	0,00	0,00	52,48
1978	0,00	2,39	5,35	16,94	8,33	20,42	15,94	15,95	3,62	0,00	0,00	0,00	88,94
1979	5,56	1,48	6,07	1,18	2,49	15,03	21,96	20,32	0,27	2,36	0,00	0,00	76,72
1980	5,19	0,96	1,94	20,99	5,62	3,61	15,22	4,48	5,46	0,00	0,00	0,00	63,47
1981	3,82	0,00	1,68	13,72	15,58	11,97	30,06	6,15	4,23	8,63	0,00	0,92	96,76
1982	2,31	4,58	4,05	25,18	34,34	25,36	21,84	11,52	11,18	9,04	0,00	2,97	152,37
1983	0,00	2,47	3,84	0,00	0,00	0,00	17,62	0,00	0,00	3,02	0,00	0,14	27,09
1984	0,00	12,78	0,00	27,68	12,97	40,13	20,95	13,53	0,00	0,00	0,00	1,27	129,31
1985	2,27	2,40	0,00	3,09	33,01	21,31	52,92	12,62	5,39	4,16	0,00	0,00	137,17
1986	3,74	3,58	6,90	20,13	7,44	7,55	15,01	4,21	1,39	1,39	0,00	0,00	71,34
1987	1,15	1,74	3,03	1,74	21,19	24,39	12,85	19,41	5,49	0,00	2,72	2,72	96,43
1988	2,33	0,00	0,00	18,79	3,89	0,00	16,33	2,33	1,41	1,91	0,00	0,00	46,99
1989	5,24	2,75	0,88	1,18	8,02	14,60	16,82	5,30	1,67	2,13	0,90	0,00	59,49
1990	2,13	4,47	10,00	12,38	2,62	0,00	0,58	6,60	5,90	1,54	2,36	0,61	49,19
1991	1,86	7,33	2,15	1,39	5,45	16,05	23,81	16,95	14,30	21,03	0,00	0,00	110,32
1992	0,44	0,00	0,76	16,29	8,66	2,36	2,57	18,24	14,62	25,87	2,63	0,00	92,44
1993	0,00	0,00	0,00	8,28	26,00	5,71	12,30	5,71	11,73	0,00	0,00	0,00	69,73
1994	5,65	3,23	0,00	8,16	7,65	24,49	0,00	4,68	0,00	2,53	4,70	2,30	63,39
1995	1,56	5,06	0,00	5,42	31,98	6,87	19,96	8,12	3,96	2,53	0,00	0,00	85,46
1996	0,00	2,20	1,99	5,41	6,96	19,34	9,03	4,27	5,14	3,40	0,00	3,19	60,93
1997	2,89	1,69	10,24	8,31	7,49	0,00	0,00	0,00	0,97	0,96	0,00	0,73	33,28
1998	10,39	0,00	10,00	10,03	0,00	8,33	4,24	7,23	0,00	0,00	0,00	0,70	50,92
1999	2,06	2,32	0,00	7,33	7,05	13,66	0,00	1,53	0,00	0,00	0,00	0,00	33,95
2000	1,29	1,32	0,00	3,33	3,58	0,00	2,30	0,00	0,00	0,38	0,00	0,00	12,20
2001	8,43	1,64	1,72	0,69	12,59	11,06	0,00	1,04	2,00	0,00	0,00	0,00	39,17
2002	2,05	0,80	4,84	36,49	1,19	2,32	1,55	1,06	0,85	2,84	0,75	0,93	55,67
2003	0,00	0,00	0,00	0,00	45,00	27,78	7,04	18,20	10,82	0,00	1,46	2,79	113,09
moy	3,24	2,78	3,18	10,31	11,87	13,18	14,51	8,36	4,87	3,55	0,70	1,02	77,58
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	12,20
max	16,60	12,78	10,24	36,49	45,00	40,13	52,92	20,32	14,80	25,87	5,59	6,45	162,72
Méd	2,20	1,97	2,07	7,84	7,47	12,82	13,93	6,38	4,10	1,73	0,00	0,00	66,87
Var	12,82	10,04	10,88	90,11	138,43	119,31	195,57	46,48	23,07	36,39	2,13	2,69	1467,32
E-T	3,58	3,17	3,30	9,49	11,77	10,92	13,98	6,82	4,80	6,03	1,46	1,64	38,31
coef d'asy	2,16	1,67	0,90	0,98	1,39	0,45	1,32	0,43	0,86	2,74	2,29	1,91	0,59
coef d'aplat	5,98	2,66	-0,23	0,46	1,06	-0,55	1,90	-1,22	-0,39	7,74	4,76	3,44	-0,32
coef var	1,11	1,14	1,04	0,92	0,99	0,83	0,96	0,82	0,99	1,70	2,08	1,61	0,49

## VI.4.2.1 Quantification des apports solides :

D'après les modèles des couples (Ql,Qs) trouvées précédemment, on a procédé à quantifier les apports solides par application du modèle correspondant pour chaque mois pour deux cas: débit solide avec crue et débit solide sans crue, les tableaux (VI.2), (VI.3), (VI.4), (VI.5), (VI.6), (VI.7), (VI.8) illustrent les résultats obtenus.

➤ 1<sup>er</sup> cas : Débit solide avec crue

Dans le cas du débit solide avec crue, on a procédé à quantifier les apports solides en suspension totaux, c-à-d sans élimination des volumes des crues des débits liquides, selon les quels on a calculé les débits solides par application des modèles (Qs,Ql) mensuels.

Tableau (VI.2) : Variation mensuelle des débits solides (kg/s)-station Tassadane-

Année	sept	oct	nov	déc	janv	fév	mars	avril	mais	juin	juill	aout	annuel
1974	13,77	2,30	0,44	30,27	1,52	7,48	18,12	12,80	10,69	0,00	0,00	0,00	97,40
1975	53,76	0,00	0,53	25,96	0,82	6,32	1,67	0,00		0,00	0,00	389,41	478,46
1976	12,05	2,14	65,99	56,71	1,58	22,34	79,82	10,55	2,57	195,44	0,78	323,98	773,94
1977	4,45	0,00	10,51	0,00	830,45	0,00	0,56	3,44	2,23	334,94	0,00	0,00	1186,58
1978	0,00	0,25	4,95	224,29	4,71	15,43	7,01	0,64	1,67	0,00	0,00	0,00	258,95
1979	39,16	0,19	10,17	0,32	0,72	7,25	20,24	255,03	0,96	0,11	0,00	0,00	334,14
1980	3,40	0,16	0,16	115,56	1,97	1,47	3,50	0,54	2,27	0,00	0,00	0,00	129,03
1981	5,70	0,00	0,12	48,72	48,60	4,73	84,16	1,18	1,85	20,59	0,00	132,37	348,02
1982	6,74	0,26	1,34	245,66	2873,53	30,82	19,79	13,97	3,73	375,39	0,00	377,27	3948,50
1983	0,00	0,26	1,08	0,00	0,00	0,00	9,43	0,00	0,00	205,06	0,00	88,74	304,56
1984	0,00	1,32	0,00	129,20	20,96	56,43	16,94	35,29	0,00	0,00	0,00	158,80	418,95
1985	6,45	0,25	0,00	3,39	13296,80	17,49	71,82	23,15	2,24	301,28	0,00	0,00	13722,87
1986	23,62	0,37	23,51	246,69	3,54	2,55	5,95	0,48	1,15	66,83	0,00	0,00	374,69
1987	1,08	0,20	0,48	0,83	295,56	26,91	4,07	530,60	2,28	0,00	0,14	332,93	1195,08
1988	6,87	0,00	0,00	77,97	1,13	0,00	7,51	0,20	1,16	110,47	0,00	0,00	205,31
1989	56,90	0,28	0,06	0,32	4,26	6,84	8,18	0,79	1,21	129,25	0,11	0,00	208,19
1990	5,44	0,49	0,03	103,63	0,75	0,00	0,47	1,45	2,44	79,32	0,28	113,24	307,53
1991	3,79	1,23	0,20	0,47	1,86	8,38	28,01	170,93	4,82	390,66	0,06	0,00	610,42
1992	0,09	0,00	0,05	113,16	5,23	1,23	0,67	1,07	5,43	303,24	0,11	0,00	430,27
1993	0,00	0,00	0,00	38,50	1393,45	1,97	3,70	0,96	6,42	0,00	0,00	0,00	1444,99
1994	9,70	0,33	0,00	37,19	3,78	27,29	0,00	0,60	0,00	163,13	0,07	105,80	347,89
1995	2,40	0,59	0,00	13,57	9556,67	2,32	11,89	2,92	1,77	163,13	0,00	0,00	9755,25
1996	0,00	0,23	0,17	13,51	3,03	13,27	2,08	0,49	2,15	237,36	0,00	423,46	695,77
1997	12,01	0,20	668,34	38,85	3,59	0,89	0,00	0,09	1,08	29,97	0,00	120,37	875,38

*Tableau (VI.2) : Variation mensuelle des débits solides (kg/s)-station Tassadane-Suite.*

Année	sept	oct	nov	déc	janv	fév	mars	avril	mais	juin	juill	aout	annuel
1998	339,87	0,00	2,22	61,72	0,00	2,84	0,89	1,94	2,46	0,00	0,00	118,65	530,59
1999	5,00	0,24	0,00	28,52	3,11	5,99	0,00	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	43,02
2000	1,48	0,18	0,00	4,09	1,02	0,00	0,64	0,00	1,41		0,00	0,00	8,81
2001	197,10	0,20	0,13	0,09	18,54	0,00	0,00	0,11	1,28	0,00	0,00	0,00	217,44
2002	4,93	0,15	0,05	434,78	0,47	1,23	0,56	0,11	1,06		0,10	132,82	576,25
2003	0,00	0,00	0,00	0,00	8,40	43,28	1,46	0,16	5,52	0,00	0,16	345,33	404,31
moy	27,19	0,39	26,35	69,80	946,20	10,49	13,64	35,65	2,41	110,93	0,06	105,44	1341,09
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	8,81
max	339,87	2,30	668,34	434,78	13296,80	56,43	84,16	530,60	10,69	390,66	0,78	423,46	13722,87
Méd	5,22	0,22	0,15	33,73	3,56	5,36	3,88	0,88	1,85	48,40	0,00	0,00	411,63
E-T	4871,47	0,35	14862,05	10021,63	8698447,49	198,19	542,26	11722,08	5,29	17580,05	0,02	20540,29	8777226,99
c.d'asy	69,80	0,59	121,91	100,11	2949,31	14,08	23,29	108,27	2,30	132,59	0,15	143,32	2962,64
c.d'aplat	3,83	2,38	5,39	2,20	3,61	1,84	2,37	3,88	2,00	0,88	4,03	1,16	3,53
coef var	15,26	5,20	29,29	5,33	12,81	3,23	4,72	16,02	5,07	-0,59	18,42	-0,07	12,40

Tableau (VI.3) : Variation moyennes mensuelle des apports solides (kg/jour)-station Tassadane-

Année	sept	oct	nov	déc	janvier	février	mars	avril	mais	juin	juillet	aout	annuel
1974	1189945,12	191395,56	37756,28	2615283,48	74087,32	1050609,92	361689614,28	37961922,67	923617,26	0,00	0,00	0,00	405734231,91
1975	4644714,21	9936,00	45993,28	2242636,04	50086,33	3378776,84	143979,43	0,00	219021,32	0,00	0,00	84144197,05	94879340,50
1976	99743797,62	178642,53	5701283,55	31534869,88	75887,53	3489286,14	11812306,44	3673452,70	373694,09	55256564,45	192291,14	193154363,09	405186439,16
1977	384088,36	9936,00	907725,98	0,00	3936136,14	0,00	48718,39	297134,78	193033,91	28939214,88	0,00	0,00	34715988,44
1978	0,00	21377,60	427994,22	19379053,01	151021,96	1332824,13	605305,11	9304830,02	144302,90	0,00	0,00	0,00	31366708,95
1979	5733679,59	15937,02	878605,73	27245,11	46125,02	626721,24	1748555,17	69810501,60	82774,84	12842559,33	0,00	0,00	91812704,65
1980	4792677,87	13519,56	13907,18	32836668,36	87050,20	126814,03	533427,98	46967,09	195799,85	0,00	0,00	0,00	38646832,15
1981	2154302,33	9936,00	10718,62	11533373,99	657607,49	408320,18	7271490,13	101746,07	159603,12	58817482,30	0,00	11437025,20	92561605,42
1982	582696,28	42981,92	115761,92	51394822,48	29656254,34	2663244,11	1710093,83	1206736,32	506248,33	61820317,87	0,00	32595937,95	182295095,35
1983	0,00	21880,62	93577,83	0,00	0,00	0,00	814505,23	0,00	0,00	17716822,66	0,00	7667242,73	26314029,06
1984	0,00	593010,26	0,00	64862035,89	387027,28	21065646,92	1463761,46	3049304,78	0,00	0,00	0,00	13719960,75	105140747,32
1985	556975,50	21437,36	0,00	293189,45	22614548,88	1511358,94	406207754,67	2000325,49	193704,99	26030665,87	0,00	0,00	459429961,17
1986	2040771,96	31260,79	2031287,79	29626233,12	126081,45	220102,85	514313,46	41540,44	99683,74	5773799,23	0,00	0,00	40505074,83
1987	93564,37	17346,04	41438,20	71284,80	2052176,32	2325411,76	351443,46	45843868,93	196804,01	0,00	30653,06	28765104,73	79789095,70
1988	593930,87	9936,00	0,00	24987571,77	61243,49	0,00	648871,49	17432,15	100007,09	9544813,92	0,00	0,00	35963806,79
1989	4915965,89	23968,86	4806,12	27749,51	141626,81	590645,23	707004,14	68639,77	104498,66	11166972,58	9559,64	0,00	17761437,21
1990	470058,76	41542,81	45557320,93	8953456,82	47397,79	0,00	40573,07	125133,29	210810,31	6853065,41	24271,69	9784127,07	72107757,96
1991	327497,08	103586,24	17168,35	40906,58	84162,90	723771,00	2419967,41	14768604,99	850508,97	149803581,60	0,00	0,00	169139755,12
1992	7718,20	9936,00	4242,20	17583874,95	161364,64	106361,00	57595,32	26741686,03	896158,75	185232663,36	28851,95	0,00	230830452,40

Tableau (VI.3) : Variation moyennes mensuelle des apports solides (kg/jour) -station Tassadane-Suite.

Année	sept	oct	nov	déc	janvier	février	mars	avril	mais	juin	juillet	aout	annuel
1993	0,00	9936,00	0,00	3326081,80	5454798,19	170159,01	319387,44	82933,00	554340,21	0,00	0,00	0,00	9917635,64
1994	5986736,01	27950,39	0,00	3213533,80	131347,25	2358218,64	0,00	51620,24	0,00	14094568,66	108969,36	23123242,06	49096186,41
1995	206970,87	50112,54	0,00	1172749,93	18363609,52	200152,37	1228586,28	252335,36	152752,09	14094568,66	0,00	0,00	35721837,61
1996	0,00	20113,60	14692,89	1167515,02	114355,87	1146646,46	179623,16	42712,47	185626,95	20508091,96	0,00	36587072,57	59966450,95
1997	1037405,76	17078,06	57744429,70	3356879,72	127156,60	0,00	0,00	0,00	92957,03	2589627,89	0,00	10400208,84	75365743,60
1998	29365173,86	9936,00	45557320,93	5332574,90	0,00	245306,71	77207,41	167354,93	0,00	0,00	0,00	10251589,02	91006463,76
1999	432349,23	20901,06	0,00	2464143,10	116315,45	517798,11	0,00	12067,72	0,00	0,00	0,00	0,00	3563574,67
2000	127970,81	15147,57	0,00	353087,65	57560,84	0,00	54932,39	0,00	0,00	1681666,50	0,00	0,00	2290365,76
2001	17029306,64	16798,30	11163,60	7424,53	358182,96	359859,24	0,00	9620,08	110340,43	0,00	0,00	0,00	17902695,77
2002	425898,62	12827,16	256232,85	128056307,49	35446,24	105872,34	48083,55	9712,04	91199,94	16362952,70	8645,55	11475990,44	156889168,92
2003	0,00	9936,00	0,00	0,00	258017822,86	3739329,92	126412,23	26253088,06	476588,79	0,00	13661,40	29836786,98	318473626,24
moy	6094806,53	52610,13	5315780,94	14882018,44	11439549,39	1615441,24	26694117,10	8064709,03	237135,92	23304333,33	13896,79	16764761,62	114479160,45
min	0,00	9936,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2290365,76
max	99743797,62	593010,26	57744429,70	128056307,49	258017822,86	21065646,92	406207754,67	69810501,60	923617,26	185232663,36	192291,14	193154363,09	459429961,17
Méd	513517,13	18729,82	15930,62	2914408,64	126619,02	463059,15	432878,46	113439,68	156177,60	8198939,66	0,00	0,00	73736750,78
E-T	18696647,65	111579,79	15172725,35	27010469,88	47133627,90	3849015,46	97318805,74	16818092,36	265101,86	43223238,78	39727,74	37796693,80	126735638,77
coef d'asy	4,70	4,29	2,87	2,98	5,28	4,75	3,68	2,47	1,60	2,85	3,82	3,92	1,65
c.d'aplat	23,48	20,19	6,92	10,45	28,44	24,35	12,43	6,04	1,76	8,24	15,32	17,24	1,82
coef var	3,07	2,12	2,85	1,81	4,12	2,38	3,65	2,09	1,12	1,85	2,86	2,25	1,11

➤ 2<sup>ème</sup> cas : Débit solide sans crue

De la même procédure on calcule les variations mensuelles des débits solides en (kg/s) et en Kg mais cette fois-ci par élimination des volumes des crues des débits liquides donc on minimise les valeurs des débits solides.

Tableau (VI.4) : Variation mensuelle des débits solides (kg/s)-station Tassadane-. (sans crue)

Année	sept	oct	nov	déc	janvier	février	mars	avril	mais	juin	juillet	aout	annuel
1974	13,77	2,3	0,44	30,27	0,86	7,48	18,29	12,8	10,69	0,00	0,00	00,00	96,9
1975	53,76	0,12	0,53	25,96	0,58	6,32	1,67	0,07	2,53	00,00	0,00	389,41	480,95
1976	12,05	2,14	65,99	56,71	0,88	22,34	79,82	10,55	2,57	195,44	0,78	323,98	773,25
1977	4,45	0,12	10,51	0	45,56	0,89	0,56	3,44	2,23	334,94	0,00	0,00	402,7
1978	0,00	0,25	4,95	224,29	1,75	15,43	7,01	0,64	1,67	0,00	0,00	0,00	255,99
1979	39,16	0,19	10,17	0,32	0,53	7,25	20,24	255,03	0,96	0,00	0,00	0,00	333,85
1980	3,4	0,16	0,16	115,56	1,01	1,47	3,5	0,54	2,27	0,00	0,00	0,00	128,07
1981	5,7	0,12	0,12	48,72	7,61	4,73	84,16	1,18	1,85	20,59	0,00	132,37	307,15
1982	6,74	0,26	1,34	245,66	99,64	30,82	19,79	13,97	3,73	375,39	0,00	377,27	1174,61
1983	0,00	0,26	1,08	0,00	0,32	0,89	9,43	0,07	0,92	205,06	0,00	88,74	306,77
1984	0,00	1,32	0,02	129,2	4,48	56,43	16,94	35,29	0,92	00,00	0,00	158,8	403,4
1985	6,45	0,25	0,02	3,39	261,74	17,49	71,82	23,15	2,24	301,28	0,00	0,00	687,83
1986	23,62	0,37	23,51	246,69	1,46	2,55	5,95	0,48	1,15	66,83	0,00	0,00	372,61
1987	1,08	0,2	0,48	0,83	23,75	26,91	4,07	530,6	2,28	0	0,14	332,93	923,27
1988	6,87	0,12	0,02	77,97	0,71	0,89	7,51	0,2	1,16	110,47	0	0,00	205,92
1989	56,9	0,28	0,06	0,32	1,64	6,84	8,18	0,79	1,21	129,25	0,11	0,00	205,58
1990	5,44	0,49	0,03	103,63	0,55	0,89	0,47	1,45	2,44	79,32	0,28	113,24	308,23
1991	3,79	1,23	0,2	0,47	0,97	8,38	28,01	170,93	4,82	390,66	0	0,00	609,46
1992	0,09	0,12	0,05	113,16	1,87	1,23	0,67	1,07	5,43	303,24	0,11	0,00	427,04
1993	00,00	0,12	0,02	38,5	63,13	1,97	3,7	0,96	6,42	0	0	0,00	114,82
1994	9,7	0,33	0,02	37,19	1,52	27,29	0,42	0,6	0,92	163,13	0,07	105,8	346,99
1995	2,4à	0,59	0,02	13,57	212,54	2,32	11,89	2,92	1,77	163,13	0,00	0	411,15
1996	00,00	0,23	0,17	13,51	1,32	13,27	2,08	0,49	2,15	237,36	0,00	423,46	694,04
1997	12,01	0,2	668,34	38,85	1,47	0,89	0,42	0,09	1,08	29,97	0,00	120,37	873,69
1998	339,87	0,12	2,22	61,72	0,32	2,84	0,89	1,94	2,46	0,00	0,00	118,65	531,03
1999	5,00	0,24	0,02	28,52	1,35	5,99	0,62	0,14	0,92	0,00	0,00	0,00	42,8
2000	1,48	0,18	0,02	4,09	0,67	0,89	0,64	0,07	1,41	0,00	0,00	0,00	9,45
2001	197,1	0,2	0,13	0,09	4,15	4,16	0,42	0,11	1,28	0,00	0,1	0,00	207,74
2002	4,93	0,15	0,05	434,78	0,41	1,23	0,56	0,11	1,06	189,5	0,1	132,82	765,7
2003	0,00	0,12	0,02	0,00	2,52	43,28	1,46	0,16	5,52	0,00	0,16	345,33	398,57
moy	27,19	0,43	26,36	69,80	24,84	10,78	13,71	35,66	2,54	109,85	0,06	105,44	426,65
min	0,00	0,12	0,02	0,00	0,32	0,89	0,42	0,07	0,92	0,00	0,00	0,00	9,45
max	339,87	2,30	668,34	434,78	261,74	56,43	84,16	530,60	10,69	390,66	0,78	423,46	1174,61
Méd	5,22	0,22	0,15	33,73	1,47	5,36	3,89	0,88	2,00	48,40	0,00	0,00	385,59
Var	4871,40	0,32	14861,80	10021,76	3856,72	192,58	540,59	11721,57	4,60	17004,36	0,02	20540,24	78684,06
E-T	69,80	0,57	121,91	100,11	62,10	13,88	23,25	108,27	2,15	130,40	0,15	143,32	280,51
coef d'asy	3,83	2,53	5,39	2,20	3,10	1,89	2,37	3,88	2,34	0,87	4,00	1,16	0,82
coef d'aplat	15,25	5,76	29,29	5,33	9,30	3,40	4,73	16,02	6,45	-0,56	18,23	-0,07	0,38
coef var	2,57	1,33	4,63	1,43	2,50	1,29	1,70	3,04	0,85	1,19	2,46	1,36	0,66

*Tableau (VI.5) : Variation moyennes mensuelle des apports solides (kg/jour)-Station Tassadane-. (Sans crue)*

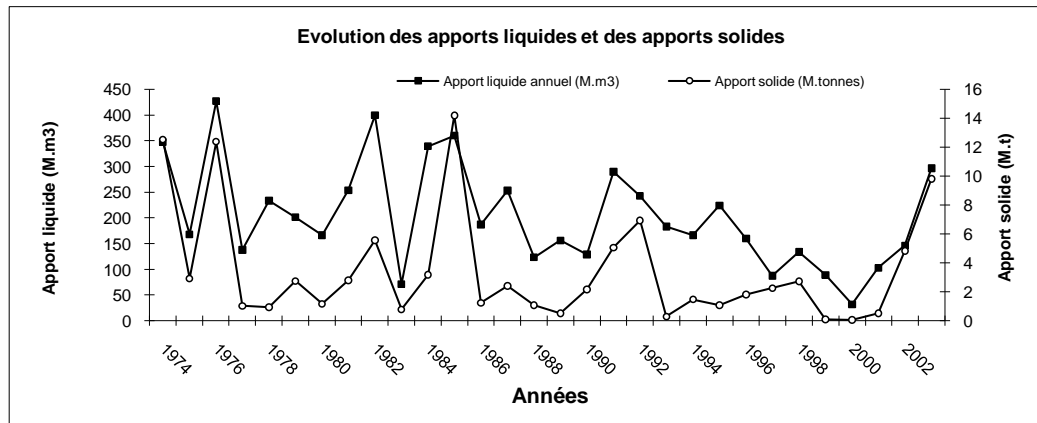
Année	sept	oct	nov	déc	janvier	février	mars	avril	mais	juin	juillet	aout	annuel
1974	1189728	198720	38016	2615328	74304	646272	1580256	1105920	923616	0	0	0	8372160
1975	4644864	10368	45792	2242944	50112	546048	144288	6048	218592	0	0	33645024	41554080
1976	1041120	184896	5701536	4899744	76032	1930176	6896448	911520	222048	16886016	67392	27991872	66808800
1977	384480	10368	908064	0	3936384	76896	48384	297216	192672	28938816	0	0	34793280
1978	0	21600	427680	19378656	151200	1333152	605664	55296	144288	0	0	0	22117536
1979	3383424	16416	878688	27648	45792	626400	1748736	22034592	82944	0	0	0	28844640
1980	293760	13824	13824	9984384	87264	127008	302400	46656	196128	0	0	0	11065248
1981	492480	10368	10368	4209408	657504	408672	7271424	101952	159840	1778976	0	11436768	26537760
1982	582336	22464	115776	21225024	8608896	2662848	1709856	1207008	322272	32433696	0	32596128	101486304
1983	0	22464	93312	0	27648	76896	814752	6048	79488	17717184	0	7667136	26504928
1984	0	114048	1728	11162880	387072	4875552	1463616	3049056	79488	0	0	13720320	34853760
1985	557280	21600	1728	292896	22614336	1511136	6205248	2000160	193536	26030592	0	0	59428512
1986	2040768	31968	2031264	21314016	126144	220320	514080	41472	99360	5774112	0	0	32193504
1987	93312	17280	41472	71712	2052000	2325024	351648	45843840	196992	0	12096	28765152	79770528
1988	593568	10368	1728	6736608	61344	76896	648864	17280	100224	9544608	0	0	17791488
1989	4916160	24192	5184	27648	141696	590976	706752	68256	104544	11167200	9504	0	17762112
1990	470016	42336	2592	8953632	47520	76896	40608	125280	210816	6853248	24192	9783936	26631072
1991	327456	106272	17280	40608	83808	724032	2420064	14768352	416448	33753024	0	0	52657344
1992	7776	10368	4320	9777024	161568	106272	57888	92448	469152	26199936	9504	0	36896256

*Tableau (VI.5) : Variation moyennes mensuelle des apports solides (kg) station Tassadane- Suite. (Sans crue)*

Année	sept	oct	nov	déc	janvier	février	mars	avril	mais	juin	juillet	aout	annuel
1993	0	10368	1728	3326400	5454432	170208	319680	82944	554688	0	0	0	9920448
1994	838080	28512	1728	3213216	131328	2357856	36288	51840	79488	14094432	6048	9141120	29979936
1995	207360	50976	1728	1172448	18363456	200448	1027296	252288	152928	14094432	0	0	35523360
1996	0	19872	14688	1167264	114048	1146528	179712	42336	185760	20507904	0	36586944	59965056
1997	1037664	17280	57744576	3356640	127008	76896	36288	7776	93312	2589408	0	10399968	75486816
1998	29364768	10368	191808	5332608	27648	245376	76896	167616	212544	0	0	10251360	45880992
1999	432000	20736	1728	2464128	116640	517536	53568	12096	79488	0	0	0	3697920
2000	127872	15552	1728	353376	57888	76896	55296	6048	121824	0	0	0	816480
2001	17029440	17280	11232	7776	358560	359424	36288	9504	110592	0	8640	0	17948736
2002	425952	12960	4320	37564992	35424	106272	48384	9504	91584	16372800	8640	11475648	66156480
2003	0	10368	1728	0	217728	3739392	126144	13824	476928	0	13824	29836512	34436448
moy	2349388,80	36806,40	2277244,80	6030633,60	2146492,80	931276,80	1184227,20	3081139,20	219052,80	9491212,80	5328,00	9109929,60	36862732,80
min	0,00	10368,00	1728,00	0,00	27648,00	76896,00	36288,00	6048,00	79488,00	0,00	0,00	0,00	816480,00
max	29364768,00	198720,00	57744576,00	37564992,00	22614336,00	4875552,00	7271424,00	45843840,00	923616,00	33753024,00	67392,00	36586944,00	101486304,00
Méd	451008,00	18576,00	12528,00	2914272,00	126576,00	463104,00	335664,00	75600,00	172800,00	4181760,00	0,00	0,00	33314976,00
E-T	6030324,97	48968,67	10532935,33	8649396,87	5365654,72	1199001,10	2008844,62	9354197,70	185328,99	11266626,08	13103,37	12382731,27	24235787,45
coef d'asy	3,83	2,53	5,39	2,20	3,10	1,89	2,37	3,88	2,34	0,87	4,00	1,16	0,82
coef d'aplat	15,25	5,76	29,29	5,33	9,30	3,40	4,73	16,02	6,45	-0,56	18,23	-0,07	0,38
coef var	2,57	1,33	4,63	1,43	2,50	1,29	1,70	3,04	0,85	1,19	2,46	1,36	0,66

### VI.5 Variation des apports solides-apports liquides

Dans ce qui suit on a présenté l'évolution des apports solides (en million tonnes) par rapport à celle des débits liquides (en million m<sup>3</sup>), sur une période de 29 ans s'étalant de 1974 jusqu'au 2003. Par l'analyse graphique (figure VI.3) on peut remarquer la variation presque subordonnée des débits liquides et solides, ainsi les pics importantes des débits solides dans les années 1974, 1976 et 1985 ce qui peuvent être expliquées par la survenance des crues contribuant à l'érosion des terres traversées donc l'augmentation des volumes des sédiments en suspension.



Figure(VI.3) : Evolution des apports solides et des apports liquides-station Koudiat-.

### VI.6 Calcul du transport solide par charriage

Dans les rivières, le transport sédimentaire de fond (charriage) qui détermine la morphologie du lit se produit principalement aux moments des hautes eaux et lors des crues. Les questions scientifiques concernant la compréhension des mécanismes de transport des matériaux de granulométries différenciées, les rythmes de ce transport des stocks sédimentaires du lit en relation avec les événements hydrologiques, sont toujours face à l'absence de mesure du sédiment charrié dans la zone d'étude, cette absence de mesure du charriage le long d'Oued est actuellement l'obstacle principal à l'avancement de la connaissance scientifique et opérationnelle de ces phénomènes de transport solide.

De nombreux hydrauliciens ont cherché d'établir les relations permettant d'estimer le débit du charriage dans un cour d'eau (formules de MEYER-PETER et MULLER), ces formules donnent rarement des résultats comparables, puisqu'elles sont établis dans des conditions différentes.

Le transport solide par charriage peut être également estimé à partir de celui en suspension d'un pourcentage de 15% à 25% selon plusieurs auteurs.

**VI.7 L'érosion spécifique****VI.7.1 Calcul du taux d'érosion spécifique**

Ce calcul a consisté à la détermination des volumes annuels des sédiments transportés par unité de surface.

En prenant en considération le transport solide total annuel en suspension  $Q_s$  (en tonnes/an), l'érosion spécifique moyenne sur une période de 29 ans,  $E_s = Q_s/S$  où  $S$  est la surface de la zone d'étude estimée par 3399  $Km^2$  (surface des trois sous-bassins 10-01, 10-02, et le 10-03), au droit de la station de Tassadane, est estimée par **1030,05** tonnes/ $km^2$ .an ou bien **0,001** M.t/ $Km^2$ .an.

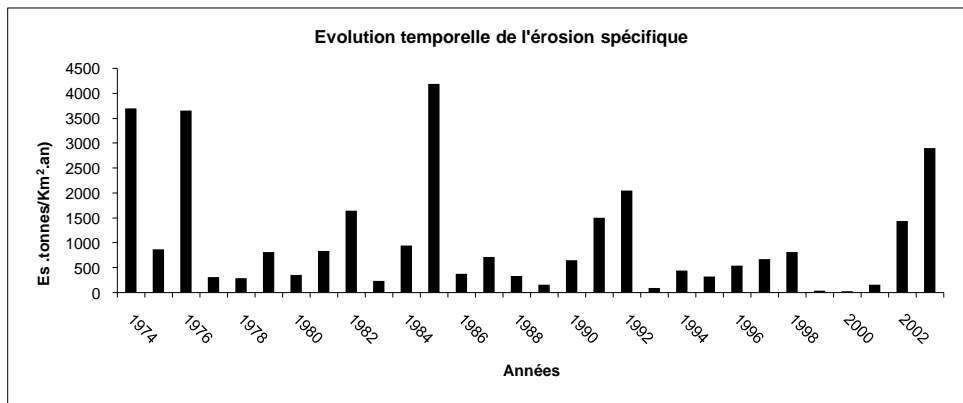
En considérant les volumes annuels, de sédiments en suspension transportés par unité de surface, nous avons pu détecter les années qui ont formées les plus importants volumes du transport solide.

*Tableau (VI.6) : Résultats de l'érosion spécifique-station Tassadane-*

Année	As (tonnes)	Es (t/ $km^2$ .an)	As ( $10^6$ tonnes)	Es (M.t/ $km^2$ .an)
1974	12535419,74	3687,97	12,54	0,00369
1975	2926124,5	860,88	2,93	0,00086
1976	12385936,66	3643,99	12,39	0,00365
1977	1045359,46	307,55	1,05	0,00031
1978	958636,68	282,03	0,96	0,00028
1979	2755048,33	810,55	2,76	0,00081
1980	1192817,8	350,93	1,19	0,00035
1981	2806792,54	825,77	2,81	0,00083
1982	5579432,71	1641,49	5,58	0,00164
1983	797924,5	234,75	0,8	0,00024
1984	3193116,92	939,43	3,19	0,00094
1985	14209206,75	4180,41	14,21	0,00418
1986	1245109,61	366,32	1,25	0,00037
1987	2420506,86	712,12	2,42	0,00071
1988	1104413,82	324,92	1,1	0,00032
1989	532676,23	156,72	0,53	0,00016
1990	2182334,92	642,05	2,18	0,00064
1991	5076244,24	1493,45	5,08	0,00149
1992	6943130,62	2042,70	6,94	0,00204
1993	306545,28	90,19	0,31	0,00009
1994	1494774,2	439,77	1,49	0,00044
1995	1092222,63	321,34	1,09	0,00032
1996	1834954,54	539,85	1,83	0,00054
1997	2274966,59	669,30	2,27	0,00067
1998	2745066,59	807,61	2,75	0,00081
1999	108473	31,91	0,11	0,00003
2000	69191,7	20,36	0,07	0,00002
2001	536853,9	157,94	0,54	0,00016
2002	4846191,82	1425,77	4,85	0,00143
2003	9834903,32	2893,47	9,83	0,00289

**Tableau (VI.6) : Résultats de l'érosion spécifique.-station Tassadane-Suite.**

	As (tonnes)	Es (t/km <sup>2</sup> .an)	As (10 <sup>6</sup> tonnes)	Es (M.t/km <sup>2</sup> .an)
moy	3501145,88	1030,05	3,50	0,0010
min	69191,70	20,36	0,07	0,0000
max	14209206,75	4180,41	14,21	0,0042
Méd	2228650,76	655,68	2,23	0,0007
Var	15238011943747,20	1318942,86	15,24	0,0000
E-T	3903589,62	1148,45	3,90	0,0011
coef d'asy	1,67	1,67	1,67	1,67
C.d'aplat	1,8935	1,8935	1,8945	1,8945
C. var	1,1149	1,1149	1,1149	1,1149

**Figure (VI.4) : Evolution temporelle de l'érosion spécifique-station Tassadane-**

### VI.7.2 Estimation du taux d'érosion spécifique par la méthode de Tixeront

Le modèle de Tixeront est basé sur les corrélations entre l'apport moyen annuel liquide et le débit solide moyen.

La formule qui donne le taux d'érosion spécifique est la suivante :

$$T_a = a \cdot A^b$$

Pour notre station pluviométrique "Koudiat tendart" représentative de la zone d'étude les paramètres fournis par A.N.R.H de Constantine, sont données respectivement :  $a=0,411$ ,  $b=0,267$

Donc  $T = 350.450,34^{0,267} = 1788,8065$  tonnes/an.

$a=350$  pour une perméabilité moyenne (à vérifier selon la perméabilité de la zone d'étude)

$A$  : lame d'eau ruisselée en mm/an ;

$A = P_0 - D_m$  ou  $P_0$  est la pluviométrie annuelle en mm ;  $A=450,34$  mm (pluie moyenne annuelle station Koudiat)

$D_m$  est le déficit annuel de l'écoulement

$T=23C^\circ$  (cst)

## VI.8 Discussion des résultats

### VI.8.1 Résultats du transport solide en suspension

Les résultats des apports solides illustrés par le tableau (VI.6) relèvent que les années (1985, 1974, 1976, 2003, 1992, 1982, 1991, et 2002) sont celles qui ont formés la quantité la plus importante des apports solides, elles offrent successivement des volumes de sédiments en suspension de l'ordre de (4180-2688-3644-2894-2043-1642-1493 et 1426 de tonnes).

Au cours du cycle hydrologique, les périodes de crues jouent un rôle prédominant dans l'exportation des matières en suspension. En effet, c'est durant les épisodes de crues que les apports solides dans les cours d'eau sont très significatifs. Ce qui justifie sans doute le fait que ces années ont été marquées par l'avènement des crues exceptionnelles en volume et en durée et cela est plus confirmé par le graphique nommé « Influence des crues sur le taux annuel des apports solides » figure (VI.10). Donc la contribution de crues de ces années dans l'apport annuel solide est estimée par (58,42M. Tonnes, de l'ordre de 81,80% d'apport solide total) et qui ont un effet direct sur le bilan interannuel. Restreintes aux années 1985, 1974, 1976, 2003, 1982, 2002 totalisent successivement un pourcentage de 19,89%-17,55% - 17,34% -13,76% -9,71% - 7,81% - 7,11% - 6,79% - du volume total d'apport solide.

L'extraction de ces crues réduirait le volume total annuel de l'ordre de 71,40 million de tonnes avec un pourcentage de 68 % du volume total du transport solide.

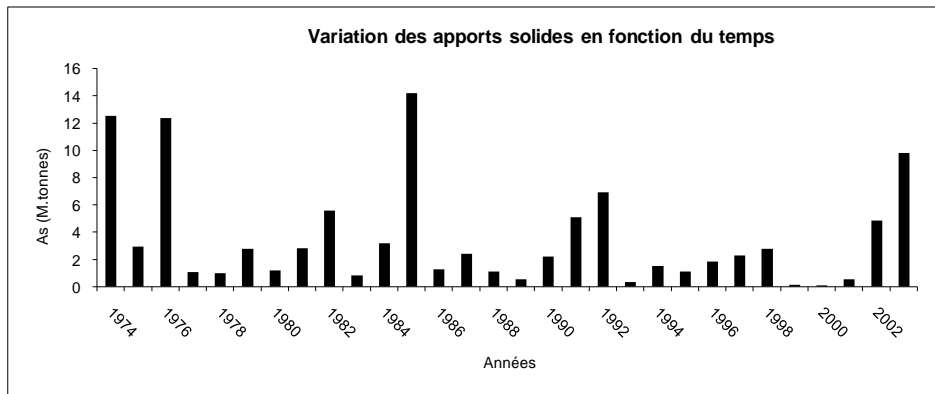
La saison froide de l'année 1985 a été caractérisée par une crue puissante qui a été enregistré le 7 au 8 Mars avec un débit max de 254,4 m<sup>3</sup>/s. A l'absence de cette crue, le taux d'apport solide se réduirait par 12,40 million de tonnes.

Les années 1974 et 1976 ont enregistrées des taux élevés d'apport solide, elles sont marquées par l'avènement des crues exceptionnelles : dont trois s'appartiennent à la saison froide qui sont : la crue du 23 au 24 Février, crue du 29 au 30 Mars de l'année 1974 avec des Q<sub>max</sub> de 119,2 m<sup>3</sup>/s et 113 m<sup>3</sup>/s successivement et celle de 6 au 7 Février 1976 avec un Q<sub>max</sub> de 136 m<sup>3</sup>/s et le reste des crues s'appartient à la saison chaude. L'extraction de ces crues élimine un volume de 32, 60 million de tonnes du volume total d'apport solide.

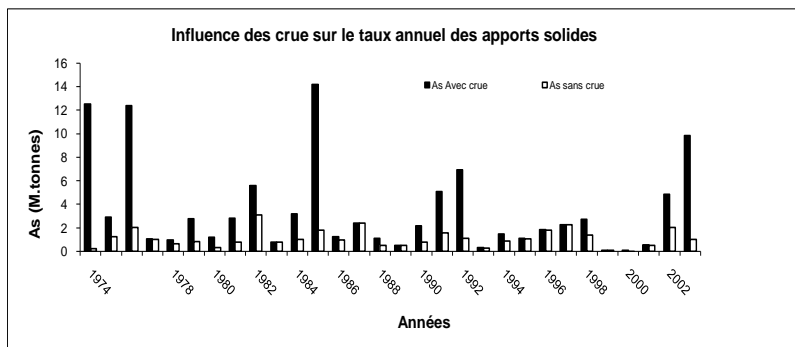
Malgré les grandeurs faibles des débits liquides max des crues de la saison chaude, ils ont un effet majeur sur la quantité des apports solides cela est confirmé par la crue du 25 Septembre 1973 qui totalise un apport de sédiment en suspension de l'ordre de 8294,4 de tonnes avec un Q<sub>max</sub> qui atteint le 196,80 m<sup>3</sup>/s.

D'après l'étude précédente des crues, notamment l'enregistrement simultané des débits liquides Q<sub>l</sub> en m<sup>3</sup>/s et des matières en suspension en g/l ou bien des débits solides en kg/s on peut constater ce qui suit :

-La charge solide en suspension augmente avec les débits liquides sans qu'il y ait une véritable proportionnalité entre ces deux paramètres. En effet les plus fortes teneurs en MES sont restreintes aux épisodes de crues, qui ont été marquées suite à un orage estival (Juin, Juillet) ou bien des pluies hivernales (Janvier, Décembre).



*Figure (VI.5) : Variation des apports solides en fonction du temps-station Koudiat-.*



*Figure (VI.6) : Influence des crues sur le taux annuel des apports solides-station Koudiat-*

### VI.8.2 Erosion spécifique-Crues

Le calcul de l'érosion spécifique annuelle, sur toute la période d'étude a fait sortir les années les plus intenses en ce qui concerne le transport solide dans la région d'étude. L'intensité du phénomène du transport solide se manifeste, essentiellement, en périodes de crues.

Les années hydrologiques (1974/1976/1982/1985/1992/2002/2003) ont été marquées par de très fortes crues (figure VI.6). Ces crues exceptionnelles ont un effet direct sur les résultats finals du calcul de l'érosion spécifique interannuel et ont totalisé un volume de 71,42 million de tonnes de sédiments. Donc le rôle des événements extrêmes est évident en présentant les valeurs de l'érosion spécifique annuelle avec et sans crue de vingt neuf ans qui influent sur le bilan total interannuel du transport solide.

Le tableau suivant 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.7) : Taux d'érosion extrêmes-station Tassadane-.

Année	Taux d'érosion Es (t/km <sup>2</sup> .an)	Taux d'érosion Es (M.t/km <sup>2</sup> .an)	Apport (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Débit <sub>max</sub> Q <sub>max</sub> (m <sup>3</sup> /s)
1974	3687,97	0,00369	347,74	196,80
1976	3643,99	0,00365	427,63	136,00
1982	1641,49	0,00164	400,43	141,20
1985	4180,41	0,00418	360,48	254,40
1991	1493,45	0,00149	289,92	184,40
1992	2042,70	0,00204	242,93	127,00
2002	1425,77	0,00143	146,30	136,00
2003	2893,47	0,00289	297,20	509,20

### VI.9 Influences des paramètres hydro-climatologiques sur l'érosion

Dans un bassin versant, l'arrachement des particules sédimentaires, leur emplacement d'origine ; leur déplacement et leur dépôt dépendent de nombreux paramètres qui influent directement sur le processus de l'érosion de ce bassin.

Dans le but de suivre l'évolution de l'érosion spécifique et de certains paramètres hydro-climatiques en fonction du temps, nous avons mis en évidence les indices les plus significatifs de la variation de l'érosion spécifique par une analyse en corrélation appliquée aux données annuelles de la zone d'étude.

#### VI.9.1 Recherche de relation entre l'érosion spécifique et le coefficient d'écoulement :

Dans les régions à climat semi-aride, la variabilité temporelle des écoulements solides et liquides est intéressante à examiner.

Nous donnons en figure (IV.7), les fluctuations interannuelles de l'érosion spécifique, (Es), et du coefficient (Ce), pour toute la période d'observation.

En terme de variabilité interannuelle ; nous donnerons d'abord, dans le tableau (VI.8) et en figures (VI.7-VI.8), les fluctuations interannuelle de l'érosion spécifique (Es), et du coefficient d'écoulement(Ce), pour la zone d'étude, sur toute la période d'observation.

Tableau (VI.8) : fluctuations interannuelles des paramètres Es-Ce-Qmoy-Lr-P.

Année	Es (t/km <sup>2</sup> .an)	Ce (%)	Qmoy (m <sup>3</sup> /s)	Qmax(m <sup>3</sup> /s)	Lr(mm)	P (mm)
1974	3687,97	12,42	3,69	196,8	33,86	420,67
1975	860,88	41,38	1,71	121,6	15,6	645,46
1976	3643,99	11,62	4,38	136	40,28	467,92
1977	307,55	16,06	2,63	100	24,37	391,31
1978	282,03	18,19	3,14	151,6	28,67	521,4
1979	810,55	13,68	2,53	224	23,37	319,7
1980	350,93	23,02	1,73	115,4	16,09	370,4
1981	825,77	22,47	2,5	516	23,12	519,4
1982	1641,49	5,2	5,25	141,2	48,16	250,6
1983	234,75	15,82	2,56	147,7	23,76	375,8
1984	939,43	11,18	5,29	366,2	48,19	538,8
1985	4180,41	3,66	9,66	254,4	89,68	328,3
1986	366,32	30,62	1,96	58,68	18,11	554,6
1987	712,12	5,94	6,09	90,22	55,83	331,9
1988	324,92	56,27	1,1	44,5	10,28	578,5
1989	156,72	11,63	2,91	141,2	26,88	312,5
1990	642,05	76,34	0,72	127,6	6,7	511,5
1991	1493,45	13,31	4,42	184,4	40,7	541,9
1992	2042,70	16,7	2,58	127	23,89	399
1993	90,19	12,87	3,18	97,5	29,64	381,6
1994	439,77	15,79	2,77	235,4	24,54	387,5
1995	321,34	14,27	4,38	291,2	41,04	585,8
1996	539,85	13,79	2,37	260,8	21,69	299,2
1997	669,30	112,86	0,42	23,56	3,91	441,3
1998	807,61	32,68	2,08	167,6	19,24	628,7
1999	31,91	17,1	2,68	97,2	24,37	416,8
2000	20,36	47,06	0,69	38	6,43	302,6
2001	157,94	19,21	1,33	86	12,09	232,2
2002	1425,77	151,19	0,46	136	4,28	647,1
2003	2893,47	6,06	8,8	509,2	81,24	491,97
moy	1030,05	28,28	3,13	172,90	28,87	439,81
min	20,36	3,66	0,42	23,56	3,91	232,20
max	4180,41	151,19	9,66	516,00	89,68	647,10
Méd	655,68	15,94	2,61	138,60	24,13	418,74
Var	1318942,22	32,79	2,20	120,47	20,33	118,71
E-T	1318942,22	2,63	1,45	1,61	1,48	0,15
c.d'asy	1,67	7,21	2,42	2,68	2,53	-1,00
c.d'aplat	1,89	1,16	0,70	0,70	0,70	0,27
coef var	1280,46	28,28	3,13	172,90	28,87	439,81

A la station de Tassadane, l'érosion spécifique (Es) a varié de 20,36 (t/Km<sup>2</sup>.an) dans l'année 2000 à 4180,41(t/Km<sup>2</sup>.an) en 1985 pour des valeurs respectives du coefficient d'écoulement : 47,06% et 3,66%. Cette variation de l'érosion spécifique s'accroît de la même façon avec le coefficient d'écoulement.

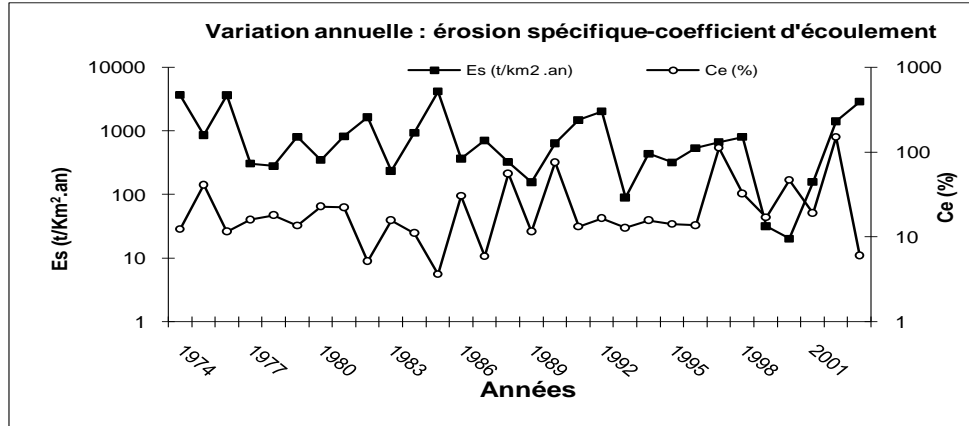


Figure (VI.7) : Variation annuelle de l'érosion spécifique et du coefficient d'écoulement -station Tassadane-

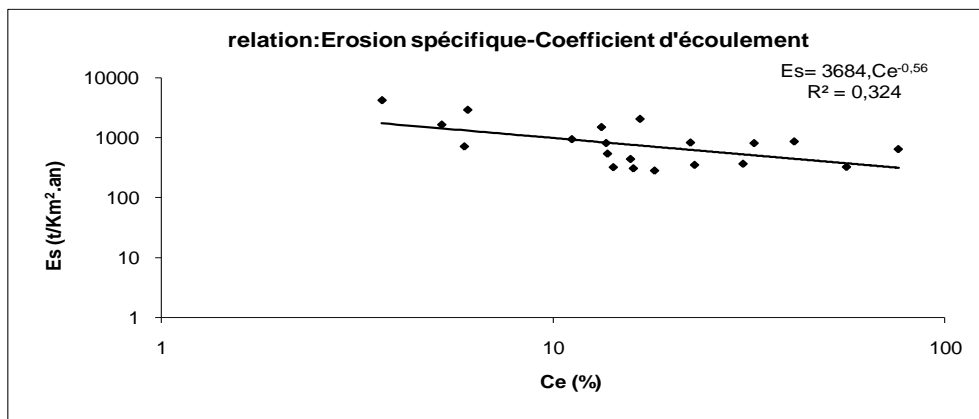


Figure (VI.8) : Relation : Erosion spécifique-Coefficient d'écoulement-station Tassadane-.

Relation Erosion spécifique –Débit moyen

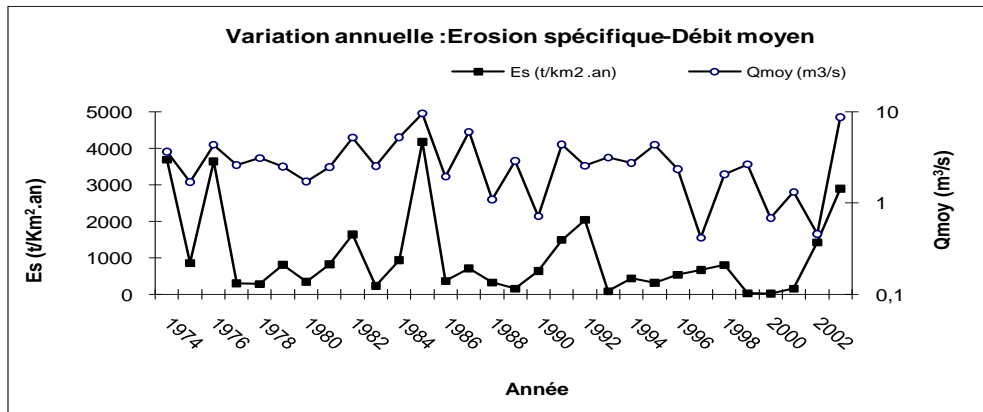


Figure (VI.9) : Variation annuelle de l'érosion spécifique et du Débit moyen-station Tassadane-

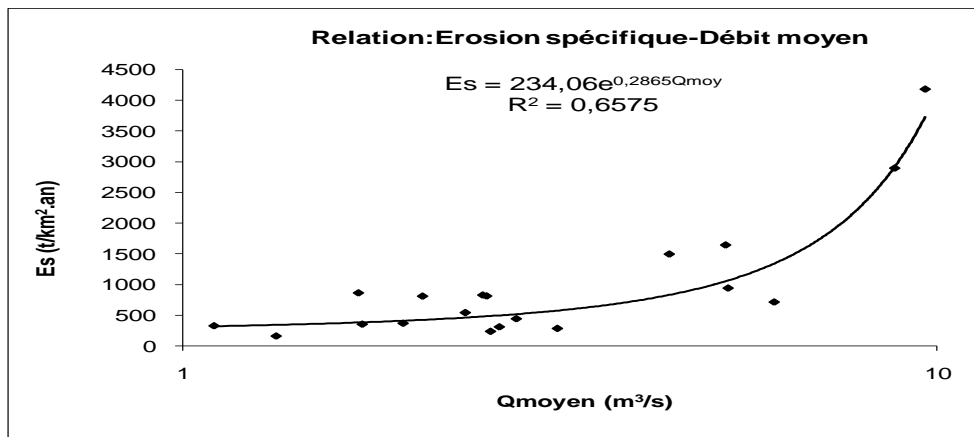


Figure (VI.10) : Relation : Erosion spécifique-Débit moy annuel-Tassadane –

## VI.9.2 Influence du débit maximum sur l'érosion

Les bilans annuels des apports enregistrés dans la zone d'étude (les trois sous-bassins 10-01,10-02, et 10-03 du B.V Kébir Rhumel) 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 et transformé en tonnage annuel peut avoir un effet direct sur le volume de sédiments en suspension susceptible d'être disposé au droit de la zone d'étude. L'étude de la 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. En effet, les valeurs des débits maximums enregistrés présentent dans l'ensemble, la forme irrégulière des événements exceptionnels, considérés comme facteur causal des apports solides, les plus importants.

L'analyse graphique de l'érosion spécifique en fonction du débit maximum annuel enregistré au droit la station de Tassadane (figures : VI.11 et VI.12) donne une bonne corrélation ( $R=0,62$ ). L'érosion spécifique suit le modèle puissance étant donné par la relation  $Es=134,94e^{0,0049Q_{max}}$ .

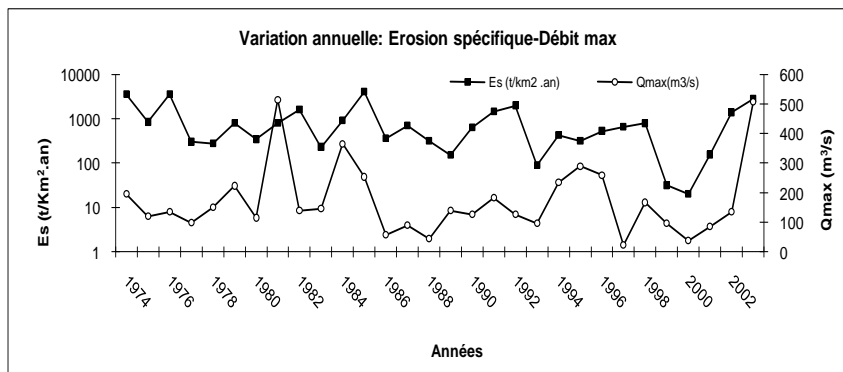


Figure (VI.11) : Influence du débit maximum annuel sur l'érosion spécifique-Tassadane-

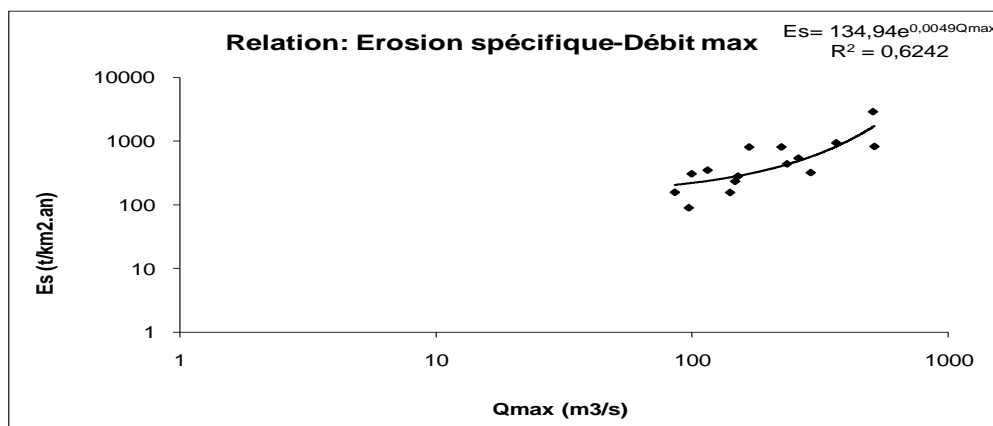


Figure (VI.12) : Relation : Erosion spécifique-débit maximum annuel-Tassadane-

### VI.9.3 Relation entre la dégradation spécifique et lame d'eau ruisselée

L'importance que présente le ruissellement des eaux de la zone d'étude, ses conséquences et son rapport direct avec l'érosion nécessite l'analyse de son évolution dans le temps. A l'examen des données relatives aux taux d'érosion spécifique et aux lames d'eau ruisselées par l'analyse graphique, (figures : VI.13 et VI.14), nous remarquons une excellente corrélation entre ces deux paramètres ce qui l'indique la relation donnée par le modèle exponentiel:  $Es=168,9e^{0,032Lr}$  avec un coefficient de détermination R qui atteint la valeur de 0,70. Cette dernière confirme l'importance des effets de ruissellement lors des événements extrêmes (crues) dans l'augmentation des quantités de transport solide par dégradation des terrains traversés.

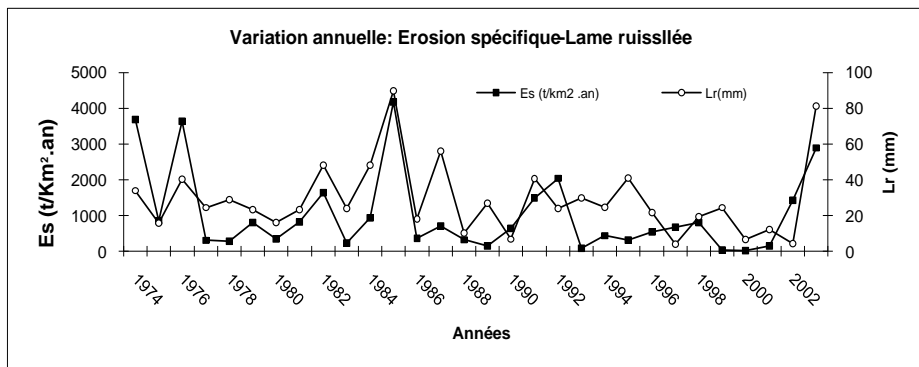


Figure (VI.13) : Evolution temporelle de l'érosion spécifique et la lame d'eau écoulée-station Tassadane-.

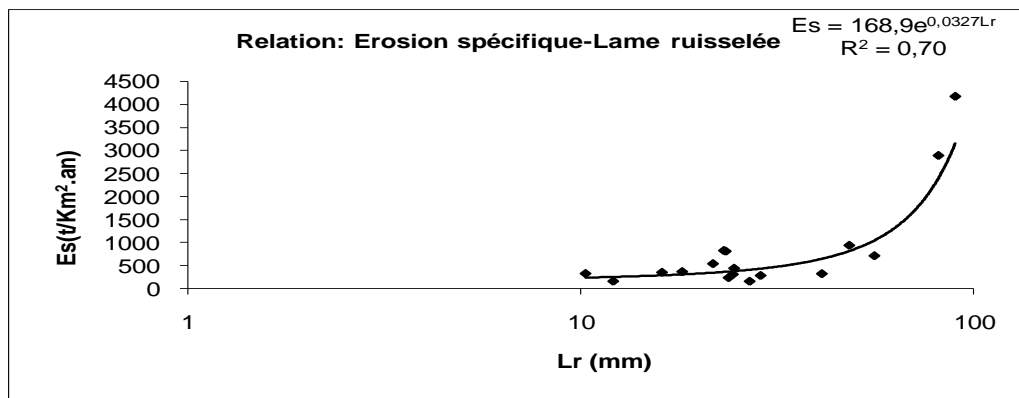


Figure (VI.14) : Relation : Erosion spécifique-lame d'eau ruisselée-station Tassadane-

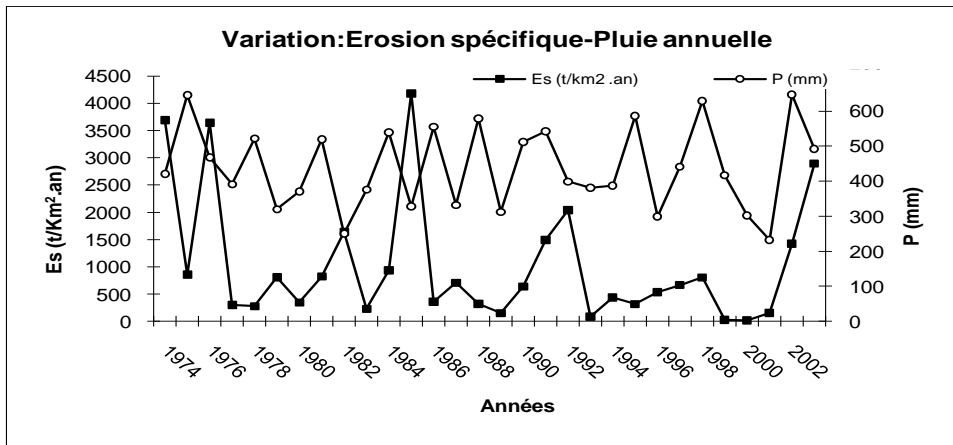
**VI.9.4 Variation du taux d'érosion et de la pluie annuelle**

La pluie annuelle constitue l'agent causal principal de l'érosion et la source d'énergie nécessaire à l'arrachement des particules, entraînant la destruction des agrégats et leur transport. La pluie annuelle est l'indice le plus significatif des différentes caractéristiques des précipitations. Vu l'importance de ce paramètre on a procédé à la mise en évidence de la pluie annuelle et du taux de dégradation spécifique par analyse en corrélation appliquée aux données annuelle pour quelques stations représentatives de la zone d'étude comme les montres les figures (VI.15-VI.16) pour la station Koudiat Tendart, les figures (VI.17,VI.18) pour la station de Chelgoum El Aid , celles (VI.19-VI.20) pour la station de Belaa, et enfin les figures (VI.21,VI.22) pour la station de Ain El Kebch. Pour les quatres stations l'évolution de l'érosion spécifique suit celle de la pluie annuelle, les résultats de l'analyse graphique sont donnés par le tableau (VI.9) :

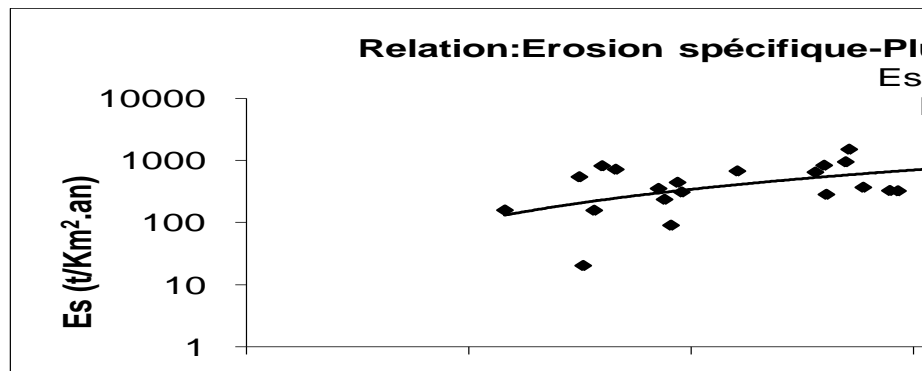
**Tableau(VI.9) : Résultats d'analyse graphique de la variation du taux d'érosion et de la pluie annuelle.**

station	modèle	Coef de détermination R <sup>2</sup>	Relation
Koudiat Tendart	Puissance	0,29	$Es=0,009P^{1,763}$
Chelgoum El Aid	Puissance	0,71	$Es=5^E-10P^{4,61}$
Belaa	Puissance	0,67	$Es=0,008P^{2,195}$
Ain El Kebch	Exponentiel	0,53	$Es=51,11^{e00,867}$

• **Station Koudiat Tendart**



**Figure (VI.15) : Evolution temporelle de l'érosion spécifique et de la pluie annuelle -stations : Tassadane, Koudiat-**



**Figure (VI.16) : Relation : Erosion spécifique-Pluie annuelle- stations : Tassadane, Koudiat-**

• Station Chelgoum El Aid

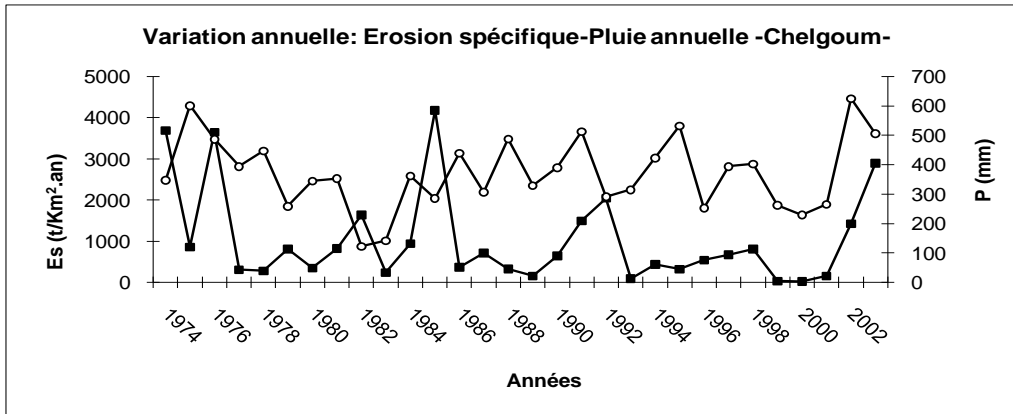


Figure (VI.17) : Variation annuelle de l'érosion spécifique et du Débit moyen-stations : Tassadane-Chelgoum-

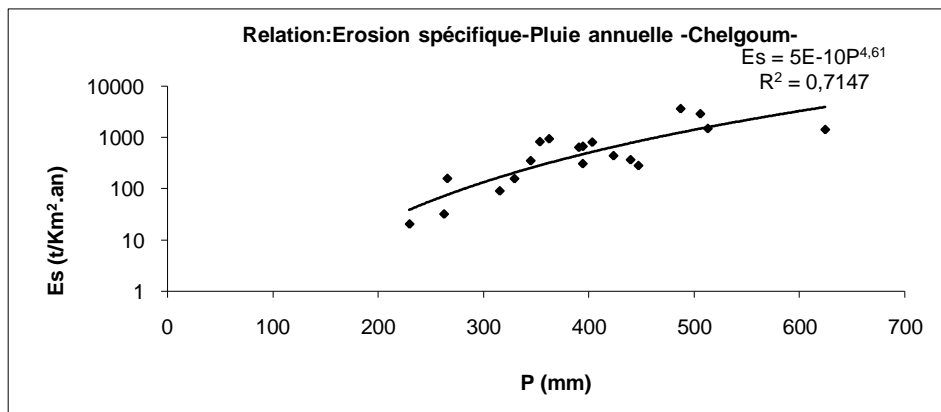


Figure (VI.18) : Relation : Erosion spécifique-Pluie annuelle- stations : Tassadane, Chelgoum-

• Station Belaa

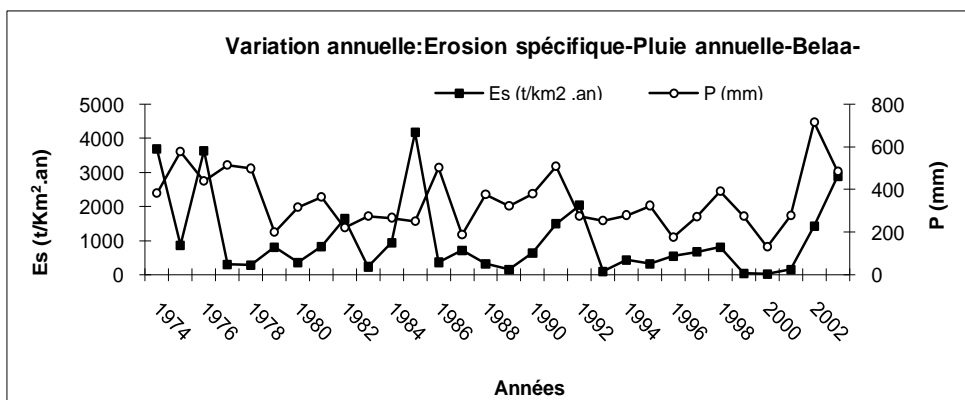


Figure (VI.19) : Variation annuelle de l'érosion spécifique et du Débit moyen-stations : Tassadane, Belaa-

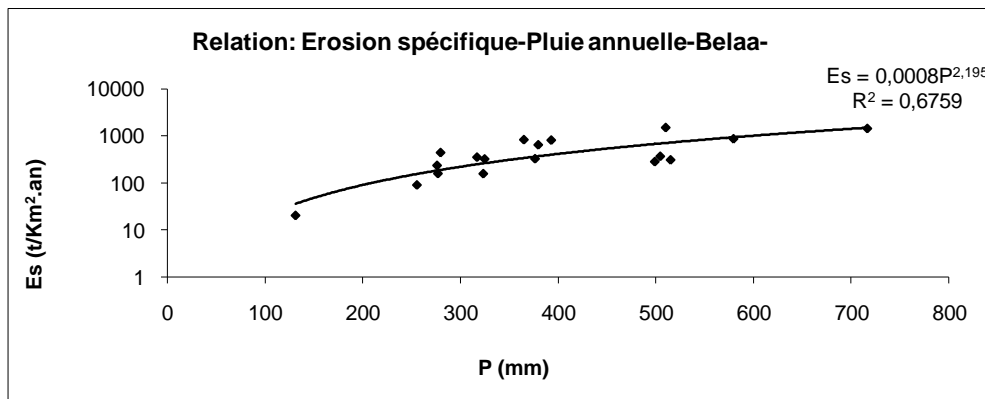


Figure (VI.20) : Relation : Erosion spécifique-Débit moyen annuel-stations : Tassadane, Belaa-

- Station Ain el Kebch

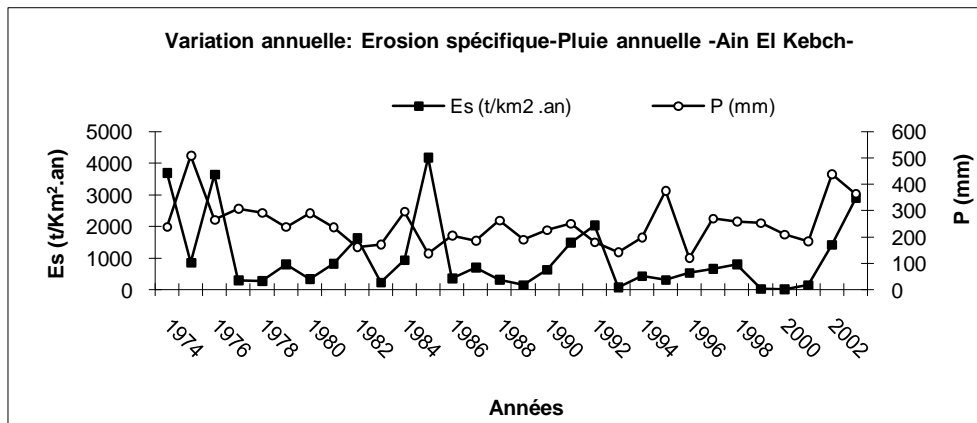


Figure (VI.21) : Variation annuelle de l'érosion spécifique et du Débit moyen -stations : Tassadane, Ain El Kebch-

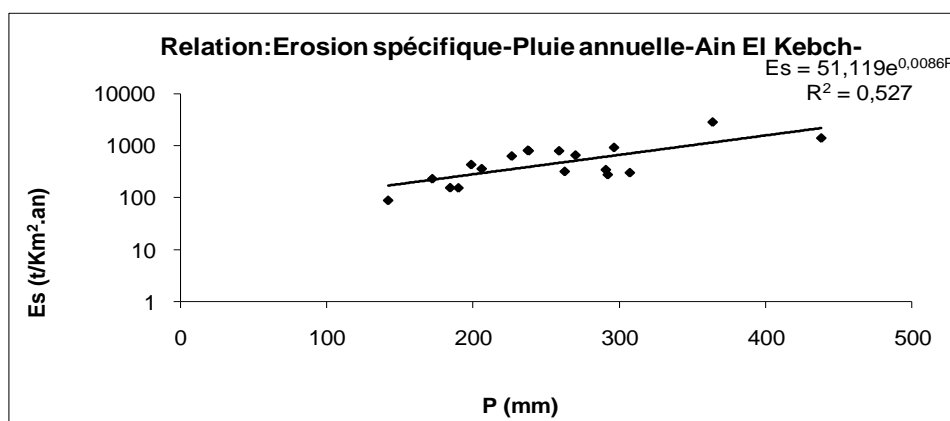


Figure (VI.22) : Relation : Erosion spécifique-Débit moyen annuel-stations : Tassadane, Ain el Kebch-

**Conclusion**

Dans le but de quantifier les apports solides à partir des débits liquides enregistrés au droit de la station de "Tassadane", par exploitation de la banque des données collectée à l'étape précédente, on se basant sur le modèle mensuelles le plus convaincant reliant le couple (Ql,Qs) : Ql : comme une variante explicative et Qs : comme une variante expliquée, et par utilisation du fichier du crue au lieu de celui de la série de transport solide (vu l'insuffisance de ses données), comportant seulement la série des débits liquides pour une période de 29 ans s'étalant de 1974 à 2003, on détermine les valeurs des débits solides instantanés (kg /s) pour chaque mois, et cela pour les deux cas : débit solide avec crue, et débit solide sans crue.

Après avoir déterminé les débits solide, on peut facilement déterminer les apports solides journaliers, mensuelles annuelles.

Dans le cas des débits solides sans crue, on élimine le volume des crues des débits liquides, ce qui permet d'apprécier le rôle prédominant des crues dans l'exportation des sédiments en suspension, et de montrer leur effet direct sur le bilan interannuel des apports solides, et cela justifie le pourcentage très élevé (81,8% d'apport solide total) d'apport solide contribué par les années qui ont été marquées par l'avènement des crues exceptionnelles.

Malgré les grandeurs faibles des débits liquides maximaux des crues de la saison chaude, ils ont un effet majeur sur la quantité des sédiments, vu les conditions des sols et celles de la végétation.

On peut conclure que la charge en suspension augmente avec les débits liquides (l'analyse graphique des deux variantes montre une variation presque subordonnée), sans qu'il y ait une véritable proportionnalité entre ces deux paramètres. En effet les plus fortes teneurs en MES sont restreintes aux épisodes de crues, qui ont été marquées suite à un orage estival (juin, juillet) ou des pluies hivernales (janvier, Décembre).

Chapitre VII  
Analyse de l'effet  
d'hystérésis  
sur la relation C-Q

### Introduction

La relation entre la concentration des sédiments en suspension,  $C$ , et le débit liquide,  $Q$ , d'un cours d'eau est une relation fondamentale dans le domaine de transport solide en rivière. Les types de relation  $C$ - $Q$ , dans leur ensemble restent mal connus. Dans cette analyse, on cherche à caractériser la relation  $C$ - $Q$  à travers une série chronologique (crues). L'analyse à mener est orientée beaucoup plus vers l'aspect graphique que donnerait la mise en graphe selon l'ordre chronologique de  $C$  et de  $Q$ .

La dispersion des points est une caractéristique très importante qui, avec d'autres caractéristiques liées à l'allure de graphe (asymétrie et aplatissement), permettra d'effectuer des combinaisons en liaison avec le phénomène. L'objectif est d'élaborer une de classification de cette relation, et d'en ressortir le modèle de boucle d'hystérésis dominant. L'analyse s'effectue principalement en deux étapes :

- (a) L'identification et classement des principaux types de la relation  $C$ - $Q$  ;
- (b) L'analyse et la discussion de chaque type de relation.

### VII.1 Données

Plus d'une vingtaine de crues réparties sur une période de 10 ans allant de 1987 à 1997, ont été analysées représentant des épisodes ayant différentes caractéristiques (tableau VII.1). Cette sélection n'est pas exhaustive, mais elle 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.

Leopold et al. (1964) ont analysé les enregistrements concentration des sédiments en suspension-débit liquide dans plusieurs bassins des Etats-Unis et ont constaté qu'une grande partie de la charge annuelle de sédiments s'est produite durant des crues modérées avec répétition fréquente.

*Tableau (VII.1) : Chronologie des crues sélectionnées.*

N°	Date	Nombre d'observations
1	1-7 Janvier 1987	7
2	15-25 Janvier 1987	11
3	5-10 Février 1987	6
4	11-17 Février 1987	11
5	27mars-8 Juin 1987	8
6	11-15 Juillet 1987	7
7	22-30 octobre 1991	7
8	23-26 Novembre 1991	6
9	24-30 Mais 1992	11
10	29 novembre-6 décembre 1993	9
11	16-24 janvier 1994	8
12	8-14 Février 1994	8
13	17-28 Février 1994	9
14	27-29 Septembre 1994	7
15	1-5 Octobre 1994	5
16	9-12 Janvier 1995	5
17	28 Février-5 Mars 1995	8
18	10-25 Juin 1995	5
19	17-20 Mais 1997	6
20	6-19 Aout 1997	7
21	24-26 Aout 1997	6

De plus les périodes de crues sont de courtes durées si on les rapporte à l'échelle annuelle, et la durée cumulée de tous les évènements de crues représente, en effet, un faible pourcentage de temps annuel.

La démarche d'obtention des relations C-Q est purement graphique. Elle se présente en trois étapes :

1-Les données de débit et de concentration sont mise en graphe avec en ordonnée la concentration en g/l et le débit en m<sup>3</sup>/s, et en abscisse le temps comme variable indépendante. On obtient les graphes temporels de C et de Q. Pour la représentation graphique de l'hystérésis, la concentration C en g/l est prise en ordonnée et le débit Q en m<sup>3</sup>/s en abscisse.

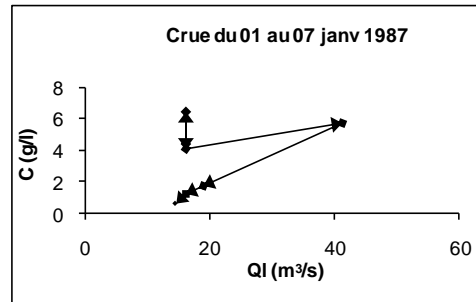
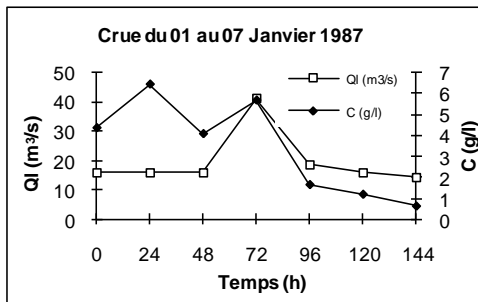
2-Un graphique chronologique idéal est établi, en faisant varier l'étalement.

3-Les associations idéales C-Q réalisées sont retenues et analysées.

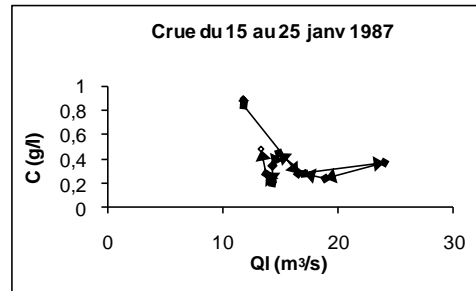
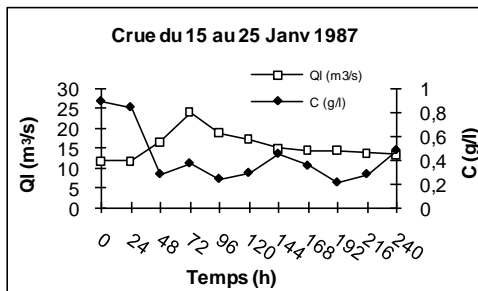
### VII.2 Identification des classes de relation C-Q

L'identification 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 (VII.1) de (a) à (v) représente respectivement les graphes temporels et l'hystérésis des événements sélectionnés. Le tableau représente les grandeurs statistiques des crues retenues dans cette analyse. Ces paramètres fournissent des informations très importantes pour l'identification des classes d'hystérésis.

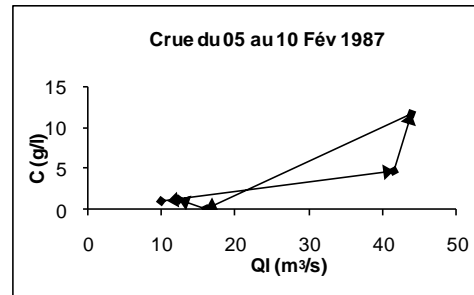
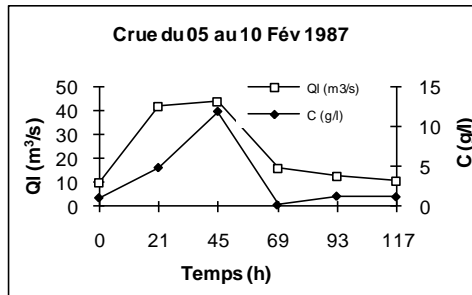
(1)



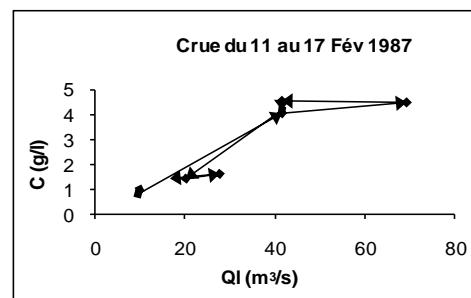
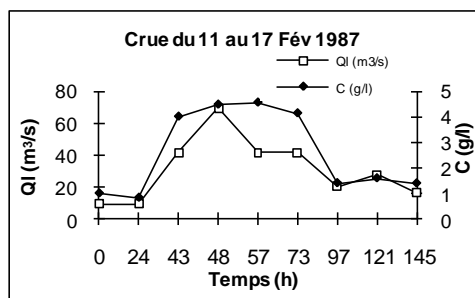
(2)



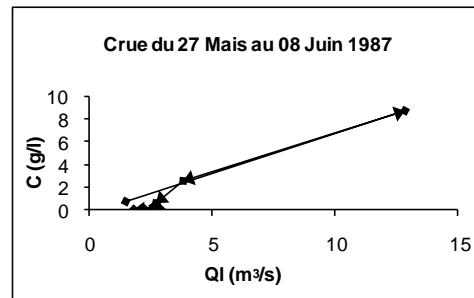
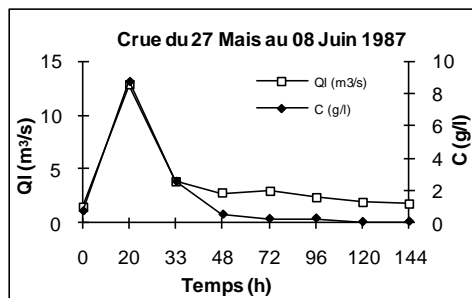
(3)



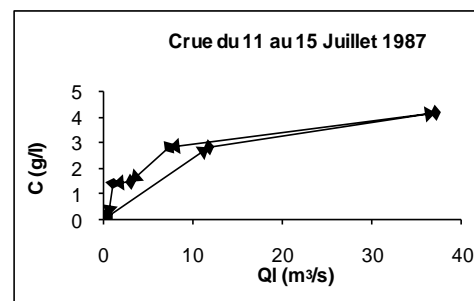
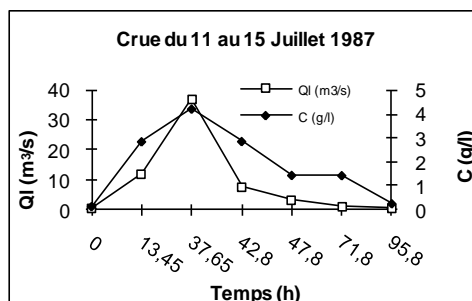
(4)



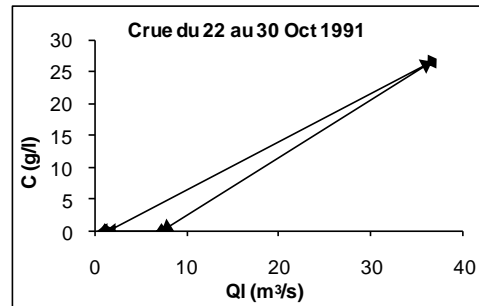
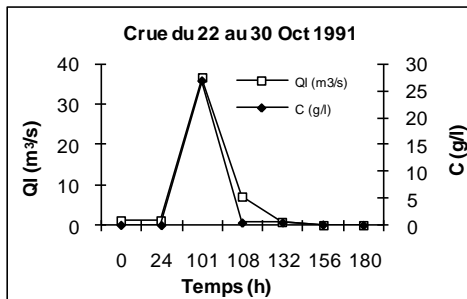
(5)



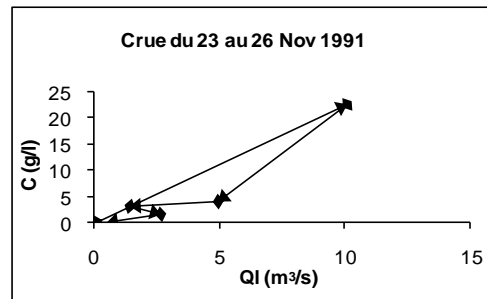
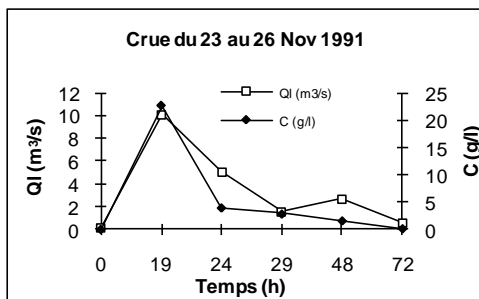
(6)



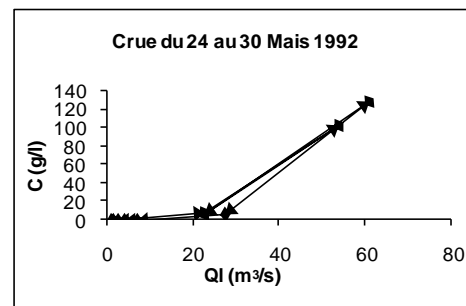
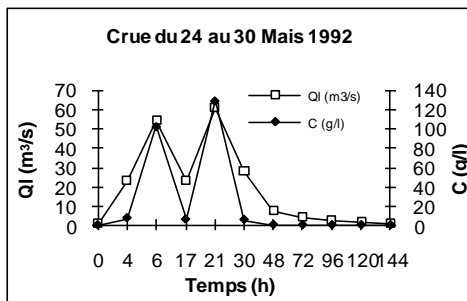
(7)



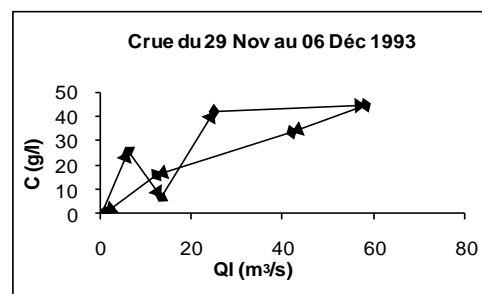
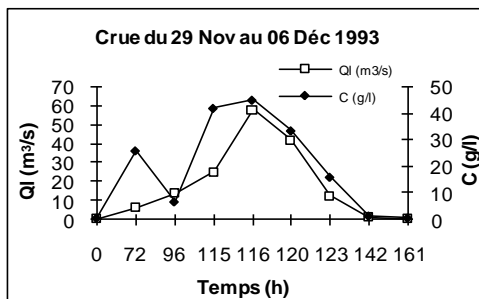
(8)



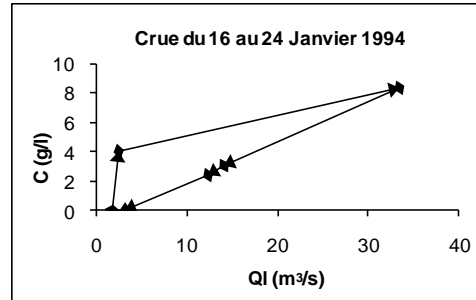
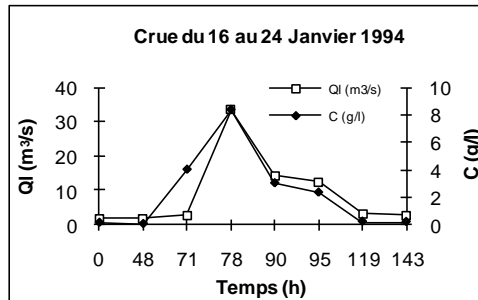
(9)



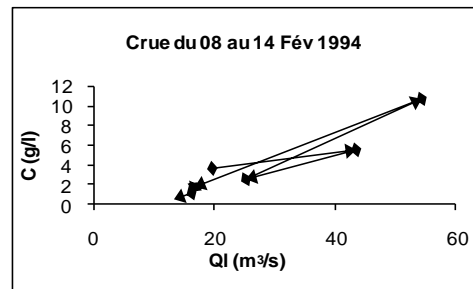
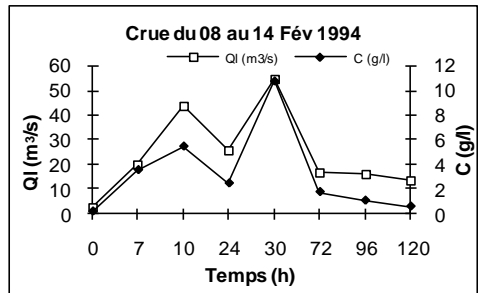
(10)



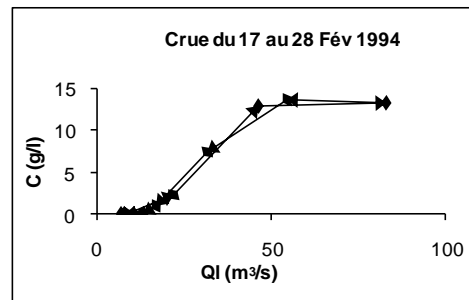
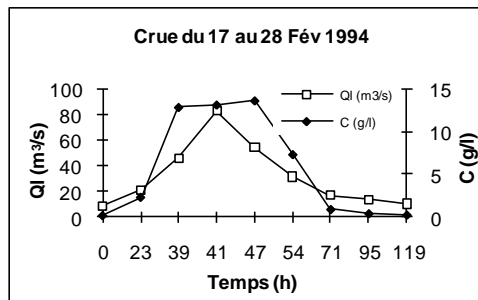
(11)



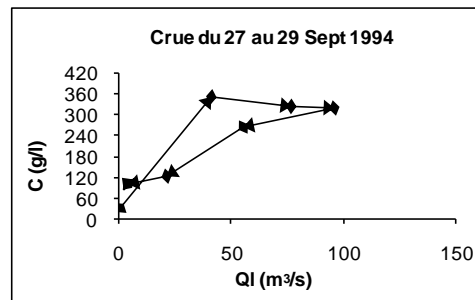
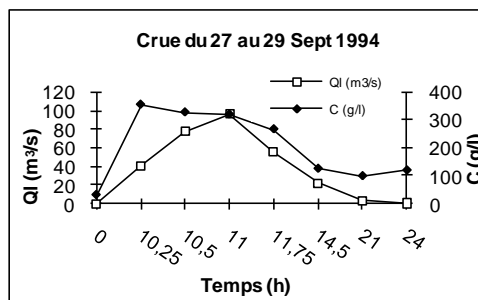
(12)



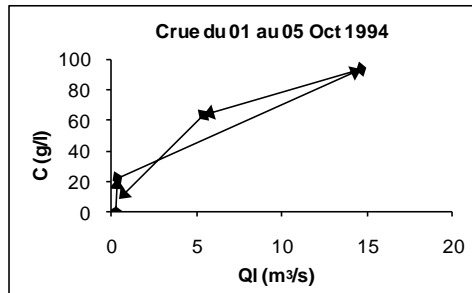
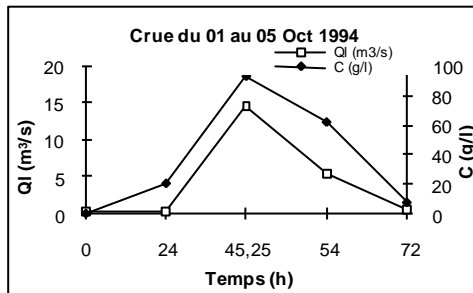
(13)



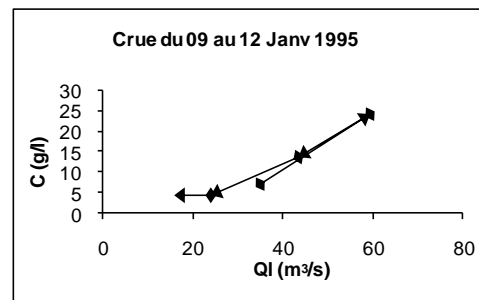
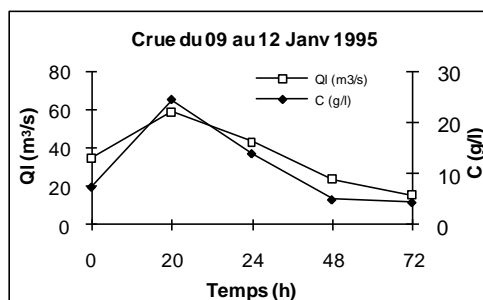
(14)



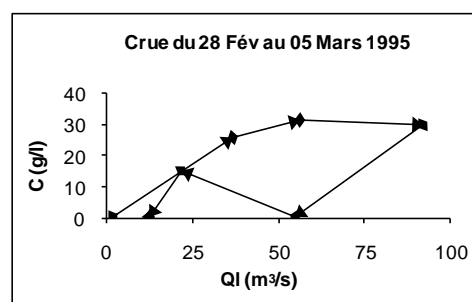
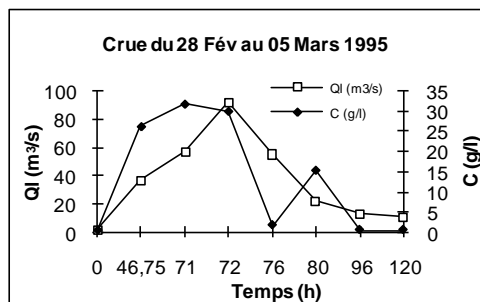
(15)



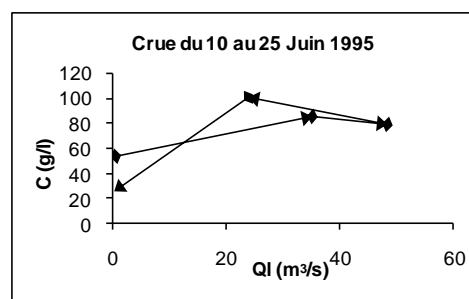
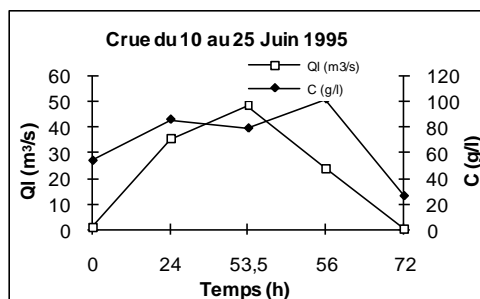
(16)



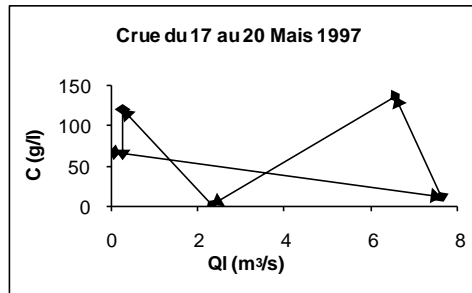
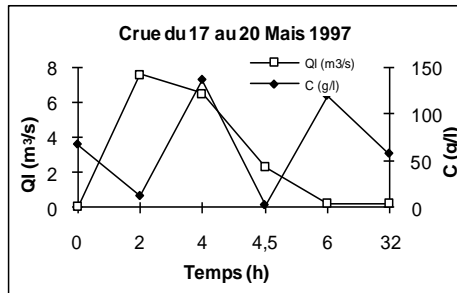
(17)



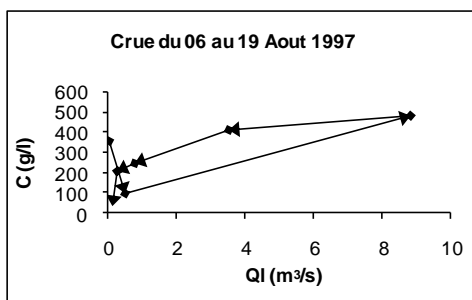
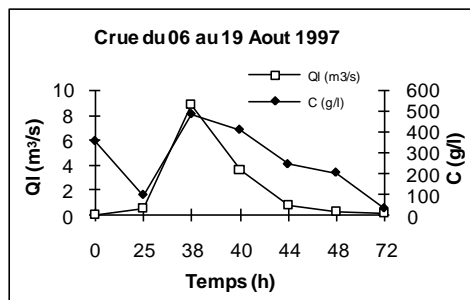
(18)



(19)



(20)



(21)

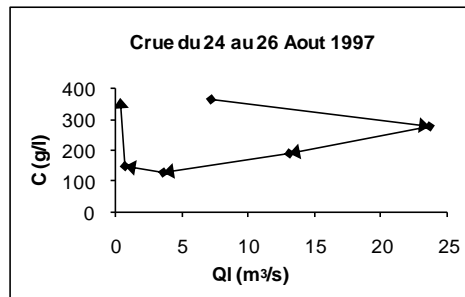
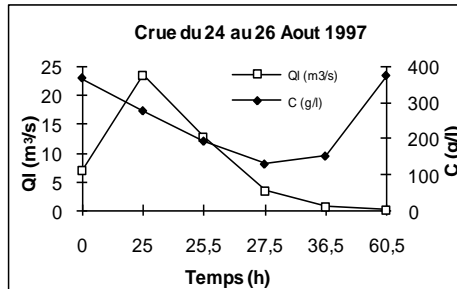


Figure (VII.1): Boucles d'hystérésis pour les 21 crues retenues.

*Tableau (VII.2): Paramètres statistiques des crues sélectionnées.*

Crue	Nbr de couples	variable	Moy	E-T	Cv	C <sub>f</sub>	Cs
1-7 Janvier 1987	7	Q	19,81	9,49	0,48	6,56	2,54
		C	3,44	2,28	0,66	-1,91	0,01
15-25 Janvier 1987	11	Q	15,58	3,55	0,23	2,43	1,43
		C	0,43	0,23	0,55	0,88	1,42
5-10 Février 1987	6	Q	22,38	15,84	0,71	-1,84	0,9
		C	3,36	4,46	1,33	3,24	1,85
11-17 Février 1987	11	Q	30,84	19,5	0,63	0,39	0,81
		C	2,6	1,63	0,63	-2,37	0,24
27mais-8Juin 1987	8	Q	3,67	3,77	1,03	7,04	2,61
		C	1,61	3	1,86	6,22	2,46
11-15 Juillet 1987	7	Q	8,78	13,1	1,49	4,78	2,14
		C	1,88	1,49	0,79	-0,95	0,32
22-30 octobre 1991	7	Q	6,9	13,28	1,92	6,21	2,47
		C	3,98	10,01	2,52	6,99	2,64
23-26 Novembre 1991	6	Q	3,3	3,77	1,14	1,84	1,45
		C	5,19	8,7	1,68	5,37	2,29
24-30 Mais 1992	11	Q	18,62	21,58	1,16	0,17	1,15
		C	22,78	46,38	2,04	2,54	1,98
29nov-6déc 1993	9	Q	17,67	20,38	1,15	0,51	1,21
		C	18,94	18,13	0,96	-1,73	0,35
16-24 janvier 1994	8	Q	8,98	11,07	1,23	3,6	1,89
		C	2,28	2,9	1,27	2,19	1,49
8-14 Février 1994	8	Q	23,94	16,97	0,71	0,2	0,92
		C	3,25	3,49	1,07	2,92	1,68
17-28 Février 1994	9	Q	31,75	24,97	0,79	0,81	1,19
		C	5,73	6,11	1,07	-2,01	0,49
27-29 Septembre 1994		Q	36,93	36,5	0,99	-1,2	0,53
		C	205,39	125,32	0,61	-2,03	-0,08
1-5 Octobre 1994	5	Q	4,2	6,25	1,49	2,41	1,66
		C	36,81	39,81	1,08	-1,33	0,79
9-12 Janvier 1995	5	Q	35,56	17,05	0,48	-0,59	0,48
		C	11,06	8,43	0,76	1,04	0,76
28Fév-5Mars 1995	8	Q	35,97	30,42	0,85	-0,01	0,81
		C	13,34	14,28	1,07	-2,22	0,35
10-25 Juin 1995	5	Q	21,64	21,24	0,98	-2,16	0,1
		C	69,49	29,41	0,42	-0,4	-0,71
17-20 Mais 1997	6	Q	2,85	3,39	1,19	-1,78	0,78
		C	66,18	54,8	0,83	-1,67	0,17
6-19 Aout 1997	7	Q	2,01	3,25	1,61	3,93	2,02
		C	262,41	165,04	0,63	-1,31	-0,06
24-26 Aout 1997	6	Q	8,01	8,97	1,12	0,91	1,22
		C	248,82	107,1	0,43	-2,28	0,22

Avec :

**E-T** : Ecart type.

**C<sub>v</sub>** : Coefficient de variabilité.

**C<sub>f</sub>** : Coefficient d'aplatissement.

**C<sub>s</sub>** : Coefficient d'asymétrie.

### **VII.3 Caractérisation des boucles d'hystérésis**

Le tracé des 21 graphes temporels de la concentration et du débit liquide permet de constater les caractéristiques types pour chaque crue. La procédure de classement des crues sélectionnées est effectuée de la manière suivante :

- (a) Regrouper les boucles qui ont la même orientation et la même forme ;
- (b) Séparer les boucles d'une même classe ayant différentes formes en analysant les critères retenus dans la bibliographie.

Les caractéristiques des crues classées sont présentées dans le tableau (**VII.2**).

### **VII.4 Interprétation**

Les résultats du tableau (**VII.3**) confirment bien que le rapport  $C/Q$  est le critère fondamental dans l'identification des boucles d'hystérésis (Benkhaled et Remini, 2003). Les autres paramètres ne portent que des détails concernant la largeur et l'orientation de la boucle. L'asymétrie n'affecte ni la forme de la boucle ni son orientation. Les crues de deuxième classe (sens contraire des aiguilles d'une montre) sont caractérisées par une pente de la partie montante du graphe temporel plus élevée que celle de la partie descendante. Pour la première classe, cette caractéristique est plus modérée.

Tableau (VII.3) : Classement et caractéristiques des crues.

Classe	Sous-classe	Crue	Caractéristiques	Forme et caractéristiques de la boucle
I	1	2	$C/Q$ (monté) > $C/Q$ (décrue) $C_{max}$ avant $Q_{max}$ . $C_s > 0$ . $C_f$ varie pour C et Q	Sens des aiguilles d'une montre La boucle est moins large
	2	1, 5, 7, 11	$C/Q$ (monté) > $C/Q$ (décrue) $C_{max}$ avec $Q_{max}$ . $C_s > 0$ . $C_f$ varie pour C et Q	Sens des aiguilles d'une montre la largeur de la boucle est remarquable pour la crue 11
II	2	6, 9, 16	$C/Q$ (monté) < $C/Q$ (décrue) $C_{max}$ avec $Q_{max}$ . $C_s > 0$ . $C_f$ varie pour C et Q	Sens contraire des aiguilles d'une montre La boucle est très rétrécie et la montée est linéaire
III	1	4, 15, 20	$C/Q$ (monté) < $C/Q$ (décrue) Pour des valeurs de Q et $C/Q$ (monté) > $C/Q$ (décrue) Pour autre valeur de Q $C_{max}$ avec $Q_{max}$ $C_s$ et $C_f$ varie pour C et Q	Boucle sous forme de huit
	2	14, 17	$C/Q$ (monté) < $C/Q$ (décrue) pour des valeurs de Q et $C/Q$ (monté) > $C/Q$ (décrue) $C_{max}$ avant $Q_{max}$ $C_s$ varie pour C et Q, $C_f < 0$	Boucle sous forme de huit complet
	3	18	$C/Q$ (monté) < $C/Q$ (décrue) pour des valeurs de Q et $C/Q$ (monté) > $C/Q$ (décrue) $C_{max}$ après $Q_{max}$ $C_f < 0$ , $C_s$ varie pour C et Q	Boucle sous forme de huit complet
IV	1	3, 8, 10, 12	$C/Q$ (monté) > $C/Q$ décrue $C_{max}$ avec $Q_{max}$ $C_s > 0$ , $C_f$ varie pour C et Q	Boucle sous forme de huit complet
	2	13, 19	$C/Q$ (monté) > $C/Q$ décrue $C_{max}$ après $Q_{max}$ $C_s > 0$ , $C_f$ varie pour C et Q	Boucle sous forme de huit complet

### VII.5 Variabilité de la concentration des sédiments en suspension

En visualisant les valeurs des concentrations des sédiments en suspension, et particulièrement les plus fortes dans le tableau (VII.4), le rapport des concentrations maximales aux concentrations minimales durant la montée de la crue ainsi qu'en décrue est très indicatif.

*Tableau (VII.4) : Rapport de variation de la concentration.*

Crue	C <sub>max</sub> / C <sub>min</sub> lors de la montée	C <sub>max</sub> / C <sub>min</sub> lors de la décrue
1	1,57	2,57
2	3,18	2,29
3	11,6	9,5
4	5,39	3,27
5	12,87	252
6	30	10,96
7	2667	15,67
8	2268	30,23
9	12907	552
10	121,59	79,52
11	209	15,84
12	51,24	2,93
13	63,1	50,89
14	11,5	2,7
15	3118	8,22
16	3,3	3,15
17	88,58	28,94
18	1,46	3,8
19	11,32	50,87
20	4,93	12,05
21	1,33	2,89

## VII.6 Analyse de l'hystérésis

Quartres principaux classes d'hystérésis sont analysées ici et comparées qualitativement.

### VII.6.1 Classe I :

C'est le modèle le plus répandu et le plus étudié. L'obtention de  $C_{\max}$  avant  $Q_{\max}$  pour les boucles ayant le sens des aiguilles d'une montre ou « clockwise loop » est due essentiellement à l'existence d'une couche de pavage formée sur le lit de l'oued antérieurement à la crue (Arnborg et al., 1967). Colby (1963) note que la concentration maximale des matériaux fins se produisant avant le maximum de l'écoulement est conforme à l'idée que des particules lâches de sol au début d'une averse sont érodées par le premier ruissellement direct en quantité appréciable. Cette situation peut être aussi obtenue lorsqu'il y a une réduction des matières en suspension juste avant l'obtention du débit maximal (Arnborg et al, 1967 ; Wood, 1977 ; Battala & Sala, 1992, Benkhaled et Remini, 2003) ou une limitation d'approvisionnement en matériaux (Moog & Whiting, 1998). De plus elle est considérée comme une caractéristique commune aux petit bassins (Emmett, 1970 ; Walling, 1974). A titre d'exemple les crues illustrent cet effet. L'oued Endja est caractérisé comme la plupart des cours d'eau algériens par un régime hydrologique irrégulier. Mais il est à remarquer que la diminution de la concentration, expliquant une faible production de sédiments ou une faible disponibilité de matériaux, concernerait des crues durables et/ou très intenses (Arnborg et al, 1967). La crue est un exemple en ce sens.

De la boucle dans le sens des aiguilles d'une montre 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 maximale des sédiments se produit habituellement avant le débit maximum.

**VII.6.2 Classe II :**

Cette forme est peu connue et peu de travaux ont été publiés. D'une manière générale les crues de cette classe sont caractérisées par un temps de montée inférieur au temps de concentration de bassin et une concentration en sédiments très élevée (environ 250g/l). Cela peut être indicatif quant à l'érodabilité du sol du bassin de l'oued. Une cause certaine semble expliquer l'origine de cette forme de boucle.

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  $Q$  données alors  $(C/Q)_r < (C/Q)_f$ . 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 d'exemples semblent 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 tend à se traîner derrière l'onde de crue. Aussi le temps de retard (latence) augmente avec la distance en aval (dimensions importantes d'oued).

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.

### VII.6.3 Classe III et Classe IV

Pour la classe **III** et la classe **IV** qui sont en forme de huit (8) ou «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-Q<sub>i</sub>.

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 Q<sub>i</sub> 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.

### VII.7 Sources de l'hystérésis

La concentration des sédiments en suspension mesurée en une section transversale d'un cour d'eau résulte de la mobilisation, la rétention, la réduction et l'épuisement des sédiments dans le bassin fluvial amont.

L'origine des sédiments dans le réseau d'écoulement sont le lit, les berges et les affluents. L'érosion en nappes des versants n'apporte qu'une faible part au transport solide des oueds (Demmak, 1982). Les sources majeures des sédiments directement mobilisés par les oueds lors des fortes crues se trouvent au niveau des ravinements, des éboulements en masse des versants entaillés par la divagation des oueds. Il est communément admis que les sources de sédiments dans les cours d'eau sont l'érosion du sol et l'érosion des berges (Colby, 1963). Les quantités relatives de ces deux sources dans un cours donné sont rarement connues.

. Pour un débit moyen maximal de 80 m<sup>3</sup>/s, la concentration moyenne maximale avoisine 500 g/l pour tous les événements considérés.

Les matériaux du lit, transportés lors d'une crue, caractérisés par des quantités et des diamètres différents, laissés par des crues et des étiages précédents, peuvent être influencés par la capacité de crue à briser ou rompre la couche de pavage. Les débris organiques peuvent également avoir une influence, si de tel débris piègent ou libèrent des sédiments. L'homme joue également un rôle non négligeable dans le processus de genèse des sédiments par pratiques culturales.

### Conclusion

Dans le but de classifier la relation : concentration-débit liquide, et d'identifier le modèle de boucle d'hystérésis dominant, en insistant en particulier sur l'effet saisonnier, on a effectué une analyse graphique basée sur une vingtaine de crues réparties sur une période de 10 ans allant de 1987 à 1997. On se basant sur deux étapes : la première consiste à l'identification et le classement des principaux types de couples C-Q, puis l'analyse et la discussion de chaque type de relation.

Le rapport C/Q est le critère fondamental dans l'identification des boucles d'hystérésis.

D'après l'analyse graphique, on constate que le modèle de boucle sous forme de huit est le plus dominant avec 12 couples , puis de sens des aiguilles d'une montre avec 5 couples et l'autre de sens contraire des aiguilles d'une montre avec 3 couples seulement.

La forme de huit ou "Eight», combine des parties de la classe « Clockwise loop » et de « Counterclockwise loop ». En premier les concentrations et les débits liquides arrivent en même moment, puis l'augmentation rapide de C par rapport à celle des QI, alors le pic de concentration vient avant celui de débit, ce qui donne une boucle dans le même sens des aiguilles d'une montre. Après pendant la décrue la diminution du pic de C en fonction de temps, on obtient une boucle dans le sens contraire des aiguilles d'une montre.

Les sources majeurs des sédiments sont celles mobilisés directement par les oueds lors des fortes crues se trouvent au niveau des ravinements, des éboulements en masse des versants entaillés par la divagation des oueds. L'origine des sédiments dans le réseau d'écoulement sont le lit, les berges et les affluents.

Partie II:

Pollution

Chapitre I  
Pollution des eaux de  
surface

## Introduction

L'eau est un élément omniprésent dans la nature. Sa masse totale représente environ la 1/4500<sup>e</sup> partie de celle de la Terre, soit  $1\,350 \times 10^{15}$  t.

L'écorce terrestre en contient des quantités considérables sous la forme d'eaux vadoses (infiltration et percolation) ou d'eaux profondes, parfois appelées eaux fossiles (eaux stagnantes, eaux connées\*), toutes d'origine météorique, auxquelles s'ajoutent les eaux juvéniles, eaux magmatiques expulsées du magma initial par la cristallisation. (eaux connées : eaux incluses dans les roches au moment de leur formation).

Les précipitations représentent annuellement  $400\,000\text{ km}^3$  sur toute la surface du globe soit  $110\,000\text{ km}^3$  sur l'ensemble des terres émergées. Le débit total des fleuves dans les mers et océans représente  $25\,000\text{ km}^3/\text{an}$ .

L'eau contenue dans l'atmosphère sous forme de vapeur représenterait, après condensation, l'équivalent d'une couche uniformément répartie sur toute la surface du globe d'une épaisseur de 25 mm environ.

Tout en étant le liquide le plus répandu à la surface de la Terre et le plus utilisé, l'eau n'est pas un liquide simple, identique à lui-même en tous lieux.

C'est un agent physico-chimique actif et efficace qui se livre, sur l'écorce terrestre, à une action destructrice intense et permanente. Elle véhicule pratiquement toutes les matières existant sur le globe terrestre, qui s'y retrouvent en quantités très variables allant du gramme au nanogramme (ou moins) par litre sous forme de suspension vraie, de suspension colloïdale ou de solution. Pour satisfaire les besoins de l'homme, seules peuvent être mobilisées les eaux des nappes souterraines et des cours d'eau. Et encore, en raison des fortes variations saisonnières, on considère que l'on n'en peut utiliser réellement que 25 %. En Europe, zone plutôt tempérée voire humide, les quelque 20 % de la population mondiale actuelle ne disposent que d'environ 7 % des réserves mondiales mobilisables. (GODART.H, )

L'eau est une ressource naturelle semi-renouvelable car son stock n'est pas inépuisable. C'est un bien vital puisqu'elle est essentielle à toute forme de vie, et qui plus est, ne possédant aucun substitut parfait. Ses usages sont multiples : domestiques, industriels, agricoles... L'eau est aussi caractérisée par sa valeur écologique, esthétique et récréative. Il s'agit d'un bien fragile, volumineux et lourd, et donc difficile à transporter. (GARCIA.S, 2001).

Malgré toute l'importance que nous reconnaissons à l'eau pour notre santé et pour celle de l'environnement, de la faune et de la flore, nous contribuons, par toutes les activités de notre société industrielle, à la polluer et à en dégrader la qualité. Aucun aspect de notre vie moderne n'y échappe : la fabrication des produits de consommation, l'agriculture, l'enfouissement des déchets et même les sports de loisir tels que le nautisme (et particulièrement les motomarines) ont des impacts négatifs importants sur l'eau, l'environnement et notre santé.

Des milliers de produits chimiques différents sont utilisés dans la fabrication des biens de consommation courants. Bien souvent, ces produits chimiques se retrouvent dans l'eau, puis rejetés dans l'environnement après que les eaux aient été traitées. C'est le cas de plusieurs usines manufacturières, métallurgiques et de fabriques de pâtes et papiers notamment. Cependant, il faut savoir que les traitements que l'on fait subir aux eaux usées sont surtout efficaces pour les débarrasser des coliformes d'origine fécale comme la bactérie E. coli, mais ne peuvent neutraliser tous les produits chimiques qui s'y retrouvent

Ainsi, en juillet 2001 le ministère de l'Environnement du Québec a publié une étude qui démontrait que les eaux usées traitées rejetées dans les cours d'eau demeuraient toxiques. Elles contenaient par exemple des pesticides, des déchets industriels, de l'arsenic, des métaux, des graisses, des diluants à peinture, de l'antigel, de l'huile à moteur, etc.

Parce que les traitements effectués ne sont pas suffisants pour assurer la qualité de l'eau rejetée dans l'environnement, il est fondamental de réussir à réduire à la source la contamination de l'eau par les produits chimiques. (C.R.S.E.S, 2006).

Une autre source importante de contamination de l'eau est l'agriculture. L'agriculture a connu de profondes mutations au cours des dernières décennies. On a ainsi vu la spécialisation des entreprises, l'augmentation de la taille des cheptels, la généralisation de la gestion liquide des effluents d'élevage, lesquels ont grandement contribué à faire évoluer l'agriculture, et notamment la production porcine, vers des modes de production industriels. Cette évolution est responsable d'une pression accrue sur l'environnement et de là, a émergé une prise de conscience sociale de la nécessité de protéger cet environnement et particulièrement les ressources en eau. (C.R.S.E.S, 2006).

L'eau est également indispensable pour les activités industrielles et commerciales. Le développement industriel et artisanal avec utilisation successive d'eau et de produits chimiques dans la fabrication et le traitement industriel, constitue une menace pour la qualité de l'eau.

La plupart des industries évacuent leurs effluents dans les proches cours d'eau, pensant les diluer ainsi. La solution de la pollution ne doit être la dilution, déplacer les déchets liquides d'un lieu à un autre ne saurait résoudre le problème d'assainissement. Ces options ne sont que des alternatives provisoires qui ne font que transférer le problème. D'où la nécessité de lutter contre la pollution sous toutes ses formes notamment la pollution des eaux.

L'évacuation non contrôlée de ces déchets liquides par manque de stations d'épuration ou par des stations non opérationnelles, le cas de fonctionnement des stations d'épuration en Algérie, aboutit à la pollution des eaux de surface et des eaux souterraines, véritable danger pour la faune et la flore. Les rejets d'eaux usées constituent donc un élément fondamental en matière de pollution car lieu de nombreuses réactions chimiques et de la reproduction de nombreux vecteurs de maladies. L'eau transporte les métaux lourds, les insère dans la chaîne alimentaire (poissons, etc...).

Même si ceux-ci sont le plus souvent présents à l'état de traces dans les rejets industriels et artisanaux, ils n'en restent pas moins très dangereux puisque leur toxicité se développe par bioaccumulation dans l'organisme.

L'inquiétude progresse et les contentieux se multiplient, les rejets industriels et artisanaux représentent eux-mêmes un danger de part leurs qualités physico-chimiques et microbiologiques mais aussi pour l'environnement qu'ils contaminent.

Au regard de tout ce qui précède l'assainissement en milieu urbain constitue un véritable problème de santé.

En Algérie, à priori le constat est rassurant, l'eau distribuée au robinet est de bonne qualité bactériologique. Les programmes d'approvisionnement en eau dans les villes algériennes ont surtout visé à développer les sources de stockage (barrages et transfert hydraulique) ce qui nécessite à modifier les cours d'eau des oueds mais malheureusement sans tenir compte à la gestion des eaux usées domestiques et industrielles déversées dans les cours d'eau des bassins.

Si l'on ne saurait trop insister sur la nécessité d'un approvisionnement suffisant en eau des citoyens, il faut aussi considérer que la pression démographique due à ces populations, l'industrialisation et les contraintes croissantes subies par l'environnement exigent que les politiques de l'eau soient envisagées dans l'optique d'un développement durable.

Les nappes aquifères peuvent s'épuiser et les écosystèmes peuvent être perturbés, il sera impossible de satisfaire les besoins en eau d'une meilleure qualité dans les grandes villes dans les années à venir ; des mesures de protections d'eau ne propagent pas les infections et ne soient pas responsables d'une exposition chronique à des substances nocives.

Les rejets industriels et artisanaux sont soumis à des lois, même si la réglementation n'empêche ni les rejets délictueux qui doivent être poursuivis avec la plus extrême rigueur, ni les difficultés issues des petites entreprises du secteur informel.

---

**Introduction**

Elément essentiel pour toute existence et fondamental pour l'économie de l'humanité, mais élément dont les réserves ne peuvent augmenter, l'eau ne doit pas être gaspillée. Les pollutions, rupture avec l'équilibre naturel et avec les lois de la vie, sont un gaspillage du présent qui préfigure un vol pour l'avenir. (CHARTIER.M, 2009).

L'Algérie, se caractérise par rareté des ressources en eau, rejoignant ainsi l'ensemble des pays arides et semi-arides, la pollution de ces ressources par les effluents domestiques et industrielles due à l'accroissement démographique et les activités industrielles favorisent la dégradation de sa qualité et compromette le déséquilibre du milieu récepteur. (GODART. H, 2006).

Les eaux de surface sont de plus en plus polluées : taux d'acidité des mers et océans qui ne cesse d'augmenter à cause des gaz à effets de serre ; pollution des mers par des produits toxiques; métaux lourds, engrais et pesticides charriés par les fleuves... sans compter les dizaines de millions de sacs plastiques qui flottent entre deux eaux. La pollution maritime n'épargne plus aucune région de la planète et les fleuves et les rivières ne sont pas en reste ! Ils contiennent des millions de tonnes de polluants formés par des rejets chimiques de nos industries, de notre agriculture et de nos activités quotidiennes. L'eau douce renouvelable est une ressource indispensable à la vie. Aujourd'hui, le développement économique va de pair avec l'augmentation de sa consommation et l'apparition de problèmes de disponibilité ou de qualité.

Aujourd'hui, bien rares sont les régions du monde épargnées et les milieux aquatiques continentaux non pollués. La moitié des fleuves et des lacs européens et nord-américains serait gravement polluée. Moins connue, la situation dans les pays en développement ne serait pas meilleure. Selon les experts du Conseil mondial de l'eau, dans un rapport élaboré pour le deuxième Forum mondial de l'eau (mars 2000, La Haye), seuls « deux des principaux fleuves mondiaux peuvent être qualifiés de sains : l'Amazone et le Congo ». (CHARTIER.M, 2009 ).

Les Oueds d'Algérie sont devenus de véritables dépotoirs, en ce sens ils charrient toutes sortes de rejets liquides et solides. Ceci a eu pour incidence une dégradation de la qualité • des eaux. Les apports d'eau aux Oueds constituent un danger pour la population.

**I-1-Définition de la pollution**

La pollution est la conséquence de l'introduction de matières, en quantité suffisamment importante pour perturber son fonctionnement habituel à court, moyen, ou long terme. La plus part du temps elle est due à l'activité de l'homme mais pas toujours. (MOLETTA .R, 2010)

**I-2 Les principales pressions que les rivières subissent :****I-2-1 Les pressions domestiques :**

Les stations d'épurations, les systèmes d'assainissement autonome défectueux (puisards) ou mal entretenus, voire même l'absence d'assainissement, le ruissellement des eaux pluviales, les dépôts sauvages.... Ces rejets augmentent les concentrations des eaux de surface en chlorures, phosphates, ammonium, solvants..., sur les petites cours d'eau, en été, les rejets des stations d'épuration constituent l'essentiel du débit. Ces rejets ont alors un impact très fort sur la qualité des eaux de surface. (C.P.A.C.B, 2009).

**I-2-2 La pression industrielle :**

L'assainissement industriel, les risques de pollution accidentelles (les secteurs de chimie, l'exploitation pétrolière, l'agro-alimentaire, l'imprimerie, le traitement de surface) les risques de contamination de la nappe par anciens forages pétroliers, l'impact des carrières,...

Les pressions agricoles : l'utilisation massive d'intrants (engrais, pesticides) et le drainage agricole. Ainsi, plus la protection de terres agricoles est importante dans le bassin d'alimentation d'un captage, plus les concentrations en nitrates ont tendance à augmenter.

-L'entretien des espaces publics et privés, avec les pesticides. (C.P.A.C.B, 2009).

**I-3 Les signes caractéristiques de la pollution****I -3.1 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.

**I-3.2 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.

**I-3.3 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. (MOUMOUNI.M, 2005).

#### I-4 Pollution localisée et pollution diffuse

Nos ressources en eau sont constamment affectées par un ensemble d'activités humaines. De façon générale, la pollution des eaux de surface peut être divisée en deux classes : pollution ponctuelle et pollution diffuse. Les sources de **pollution ponctuelle** sont dites locales, facilement repérables, quantifiables et leurs impacts peuvent être rapidement évalués. Il s'agit d'un rejet direct de polluants dans les cours d'eau. Elles sont habituellement de type industriel ou domestique, mais le milieu agricole n'y échappe pas : effluent des eaux de laiterie, sortie d'un système de drainage agricole souterrain, etc. De plus en plus facile à identifier et à contrôler, elles peuvent être éliminées soit en arrêtant l'apport de polluants, soit en traitant les eaux polluées avant leur déversement dans les cours d'eau.

Les sources **de pollution diffuse** sont beaucoup plus difficiles à percevoir à cause de leur répartition sur l'ensemble du territoire et à leur manifestation de façon intermittente. En effet, lors d'événements pluvieux ou de fonte des neiges, il se produit une augmentation des polluants dans les cours d'eau. De par l'écoulement de l'eau sur le territoire pollué, les sols, les composés chimiques adsorbés et les substances dissoutes sont alors apportés vers les cours d'eau. L'évaluation des sources de pollution diffuse est d'autant plus complexe qu'il y a des transformations physiques, chimiques et biologiques des polluants tout au long de leur migration. Ces changements sont en relation directe avec les caractéristiques physiques et hydrologiques du territoire. C'est pourquoi, la pollution diffuse varie d'une région à l'autre en fonction des conditions géologiques et géographiques s'y rapportant. Les sources de pollution diffuse prises individuellement n'ont pas ou peu d'impacts sur l'environnement. Il s'agit plutôt de l'effet cumulatif amont-aval de tous ces polluants qui crée de sérieux problèmes au point de vue environnemental. À ce jour, la pollution agricole est considérée comme étant responsable en majeure partie de la génération des charges polluantes des eaux de surface. Les plus récentes études ont démontré une diminution importante de la plupart des polluants des rivières, à l'exception de ceux reliés aux activités agricoles tels que les nitrites, nitrates et phosphore (Landry CAROLINE, 1997).

#### I-5 Classification des polluants :

Quand l'eau est dégradée, il peut s'agir d'une pollution thermique, d'une pollution par les substances chimiques et minérales, d'une pollution par les matières en suspension, par des produits radioactifs. La pollution peut également résulter d'agents infectieux ou de produits organiques (VEYRET ET PECH, 1993).

Si l'on cherche à classer les matières polluantes, c'est pour essayer de s'y retrouver et de bien choisir les procédés qui permettront de l'éliminer. La nature des matières polluantes de l'eau dépend bien sûr, de l'origine de l'eau usée. On les classe en fonction des caractéristiques décrites ci dessous. (MOLETTA.R, 2010).

##### I.5.1 Matière organique ou minérale

- **Matière organique** : D'après Kerspen (1998) il en existe trois :
  - Les pollutions organiques facilement biodégradables ;
  - Les pollutions organiques difficilement biodégradables ;
  - Les pollutions organiques toxiques ;

- **Les pollutions organiques facilement biodégradables**

Il s'agit de matières organiques provenant d'activités biologiques : matières fécales et urines, déchets de l'élevage et des industries agroalimentaires ; feuilles, plantes et animaux morts. La nuisance qui en résulte est due aux germes pathogènes que peut contenir ces matières organiques ou due à une forte concentration de ces déchets qui annihilent le phénomène d'auto-épuration naturelle. Cette pollution est souvent la plus grave, du moins la plus répandue.

- **Les pollutions organiques difficilement biodégradables**

Elles proviennent d'activités comme la fabrication de pâte à papier, de textiles, de cuirs et peau ; ce sont aussi les détergents qui produisent des mousses diminuant la capacité d'oxygénation du cours d'eau. La dégradation par le milieu naturel de cette pollution est plus lente. Du fait de la dégradation difficile de ce type de pollution, leur nuisance résulte de leur accumulation dans le milieu naturel.

- **Les pollutions organiques toxiques**

Elles proviennent des industries pétrochimiques et des raffineries qui rejettent dans leurs effluents des quantités importantes de phénols et d'hydrocarbures. Certains pesticides utilisés en agriculture sont d'origine organique et l'on sait que ce sont des produits toxiques particulièrement nuisants pour la faune aquatique ; ils peuvent atteindre l'homme par accumulation dans la chaîne alimentaire. Ce type de pollution gênera ou empêchera totalement les mécanismes d'épuration.

- **Matière minérale** : Une pollution minérale peut avoir un effet aigu et immédiat : il s'agit par exemple d'un déversement de toxique minéral par une industrie chimique, métallurgique, sidérurgique... (LEROY, 1999).

Cette matière minérale sont les sels, toutes les matières structurées autour du silicium, ... On y retrouve les métaux lourds, l'ammoniac, les nitrates, les phosphates..., et le gaz carbonique (le CO<sub>2</sub>).

Pratiquement, les eaux usées contiennent toujours ces deux types de pollution à des quantités variables suivant son origine. (MOLETTA.R, 2010).

### I-5-2 Matière soluble ou insoluble

Cette matière organique ou minérale peut être sous forme soluble ou insoluble.

- **Matière soluble** : elle est dissoute dans l'eau et se trouve donc souvent sous forme d'unité chimique simple, la molécule, ou de macromolécules comme les protéines, les colloïdes... qui «flottent» dans l'eau mais que l'on ne voit pas. (MOLETTA.R, 2010)

- **Matière insoluble** : C'est un agrégat de matière qui se retrouve sous forme particulière. Les particules solides qui peuvent, soit flotter, soit tomber en fonction de leurs densités. (Moletta.R).

### I-5-3 Matières toxiques ou non

Parmi les différentes matières présentes dans des eaux polluées, certaines ont une toxicité élevée pour le monde vivant. C'est à dire qu'à très faible concentration, elles ont un impact important sur l'équilibre du milieu naturel.

Par exemple, le cyanure en très faible quantité peut avoir un effet dévastateur sur un écosystème. C'est le cas aussi de métaux lourds comme le cadmium, le mercure par exemple qui, présent en très faible quantité, modifient fortement l'équilibre des écosystèmes. (MOLETTA .R, 2010).

### I-5-4 Matière inerte ou vivante

Les eaux polluées contiennent des matières organiques ou/et minérales qui n'ont donc pas les caractéristiques du «vivant » et que l'on peut qualifier de «matières inertes ».

Mais on y trouve aussi, très souvent, des micro-organismes (des bactéries par exemple), qui sont de la matière vivante. Ces micro-organismes se développent dès que l'eau est souillée. Ils peuvent être pathogènes (donner des maladies) ou pas. (MOLETTA.R, 2010).

### I-5-5 La température.

Le rejet de chaleur dans l'environnement constitue une forme de pollution physique du milieu naturel susceptible de provoquer de véritables bouleversements biocénotiques car elle agit sur un facteur écologique primordial : la température du milieu. Elle provient de l'usage par l'homme des sources d'énergies artificielles qui modifient de façon plus ou moins importante le bilan énergétique des écosystèmes et est généralement produite par des rejets d'eaux de refroidissement industrielles (RAMADE, 1982). La pollution thermique des eaux continentales peut atteindre localement une telle ampleur qu'elle menace la pérennité de l'ensemble des biocénoses propres à ces milieux.

## I-6 Principaux sources de pollution

### I.6.1 Les pesticides

Les pesticides sont des produits chimiques utilisés, pour empêcher d'agir, détruire, ou neutraliser un ravageur, un vecteur de maladie humaine ou animale, une espèce végétale ou animale nocive ou gênante. Initialement utilisés en agriculture ou ils sont appelés « produits phytosanitaires », leur usage s'est depuis banalisé : entretien des bords de routes, des voies ferrés, des espaces publics, de routes, des jardins particuliers, des plantes d'intérieur, traitement des charpentes....

En 2008, en France reste le premier consommateur de pesticides européen et la quatrième mondial (derrière les Etats –unis le Brésil et le Japon).

Massivement utilisés durant des décennies, on les retrouve aujourd'hui sous forme de résidus dans les eaux de surface (étangs, lacs, ruisseaux, rivières, fleuves....), dans l'atmosphère, dans l'eau de pluie, dans l'air intérieur de nos habitations.

Certains molécules actives sont persistantes dans l'environnement et contaminent par bioaccumulation l'ensemble des chaînes alimentaires dont le dernier maillon est l'homme.

Les effets sur la santé humaine d'une intoxication aiguë par les pesticides sont aujourd'hui bien connus. Ce n'est pas le cas des effets à long terme. L'exposition à certains produits pourrait avoir des effets sur la reproduction et le développement (stérilité, infécondité, malformations congénitales), dans l'apparition des maladies neurodégénératives comme la maladie de Parkinson.

La plupart des études épidémiologiques de grandes envergures montre une sur incidence troublante, couplée parfois d'une sur mortalité, de certains cancers (prostate, cerveau, lèvres, du système hématopoïétique). Chez les populations les plus vulnérables (enfants et femmes enceintes) ou exposées accidentellement ou chez les utilisateurs professionnels, comme es agriculteurs et leur famille.

Certains pesticides sont reconnus comme « perturbateurs endocriniens » et sont classés comme « potentiellement cancérigènes pour l'homme » par le centre international de recherche sur le cancer.

### **I.6.2 Le transport des polluants par érosion hydrique**

La forme la plus connue et la plus manifeste de dégradation des sols en milieu agricole est sans nul doute l'érosion hydrique. Le sol érodé peut être considéré comme étant e principal polluant d'origine agricole, de par le transport vers les cours d'eau de matières nutritives, de métaux lourds, de pesticides et autres composés toxiques (**BEDARD, 1989**).

L'érosion hydrique se définit comme étant la perte de sol le long d'une pente ou d'une surface non protégée (à découvert) résultant de l'action de la pluie. Ce phénomène est à la base une manifestation naturelle dont les traces sont souvent imperceptibles à court terme mais dont les effets sont présents à long terme (**DUCHEMIN, 2000**). Elle peut être accélérée par les activités humaines comme : l'agriculture, la foresterie ou la construction d'un réseau routier. Il s'agit alors d'érosion accélérée d'origine anthropique.

Pour le milieu agricole, l'érosion hydrique est un grave problème. En effet, celle-ci engendre la dégradation des sols due à une perte de matière organique dans la partie la plus fertile du sol. De plus, lorsque le taux de pertes excède le taux de formation, le sol devient progressivement plus mince et moins productif. Ainsi, pour le milieu agricole, le taux d'érosion acceptable est celui qui permet au sol de se régénérer sans qu'il n'y ait diminution de la fertilité courante (**DUCHEMIN, 2000**).

### **I.6 .3 Les matières organiques :**

Les déjections animales, issues de l'élevage, contiennent des matières organiques, matières azotées et phosphore pouvant poser des problèmes de pollution des eaux superficielles et souterraines dans les zones d'élevage intensif. Les rejets de bactéries dans l'environnement sont limités par les pratiques agricoles qui consistent à stocker le lisier dans des fosses. Lorsque les conditions d'épandage sont respectées, ces rejets sont bien absorbés par l'environnement. Toutefois, certains peuvent perdurer des semaines, voire des mois dans l'environnement et en zone d'élevage intensif. Le risque de détecter des microorganismes pathogènes dans les rivières peut alors être important. (**A.S.E.F, 2010**).

### **I.6.4 Le phosphore :**

Élément limitant de la croissance des plantes, il est le principal facteur de l'eutrophisation et de la détérioration de la qualité des eaux. De très faibles teneurs en phosphore (quelques dizaines de mg/l) peuvent constituer un polluant dangereux. Le phosphore est apporté par l'agriculture sous forme d'effluents d'élevage et d'engrais minéraux. L'usage de phosphore dans l'agriculture, lié à l'utilisation d'engrais, contribue ainsi à la pollution des eaux superficielles. Pourtant, la principale source de phosphore en Europe n'est pas l'agriculture, mais les eaux usées domestiques et l'industrie. En France, par exemple, l'apport de phosphore par l'agriculture ne représente que 23% du total. (**A.S.E.F, 2010**).

Dans la majorité de nos lacs et rivières, la croissance des algues et des plantes est limitée par le phosphore. Les excédents de phosphore qui se retrouvent dans les milieux aquatiques constituent donc la cause directe de l'eutrophisation des cours d'eau, c'est-à-dire de la croissance excessive des plantes aquatiques et des algues. Cela peut avoir de nombreux effets néfastes, parmi lesquels l'augmentation de la turbidité de l'eau, une diminution de l'aspect esthétique et la réduction des activités de loisirs. Certaines algues (des algues bleues ou cyanobactéries) peuvent produire des substances qui intoxiquent le zooplancton, les poissons, les oiseaux aquatiques, le bétail et les humains. Présentes à forte densité, les algues font augmenter les coûts de traitement de l'eau potable et donnent à l'eau une mauvaise odeur et un mauvais goût. (C.R.S.E.S, 2006).

### I.6.5 Les nitrates

Les nitrates : principal composant de l'atmosphère en sous forme de diazote, l'azote est indispensable à l'accroissance des végétaux. Dans les conditions normales, l'azote de l'air minéralisé par les micro-organismes du sol retourne dans l'atmosphère : c'est le cycle naturel de l'azote.

Mais, l'homme bouleverse cet équilibre avec la fertilisation azotée en zones cultivées et avec les stations d'épuration non équipées de processus de dénitrification qui rejettent dans les cours d'eau les nitrates issus de la dégradation de l'azote moléculaire et ammoniacal, associés à d'autres éléments nutritifs comme les phosphates, l'excès des nitrates contribue à la dégradation des milieux naturels et notamment à l'eutrophisation des eaux superficiels (étang, lacs...).

-A cause de leur transformation en nitrites dans l'organisme, les nitrates sont potentiellement toxiques. Ils sont particulièrement dangereux pour les nourrissons et les fœtus en risque de risque de méthémoglobinémie. Les nitrites peuvent aussi se combiner avec certains acides aminés, les constituants élémentaires des protéines pour former des nitrosamines. Or le caractère cancérigène de certaines nitrosamines a été démontré chez l'animal. On les suspecte de favoriser l'apparition de certains cancers chez l'homme : cancers du nasopharynx, de l'œsophage, de l'estomac.

### La préservation de la ressource en eau face aux pollutions d'origine agricole : Le cas de la Bretagne

#### I.6.6 L'azote

Dans l'environnement, on retrouve l'azote sous forme organique et inorganique. L'azote contenu dans le sol provient principalement de la décomposition de la matière organique, des engrais azotés appliqués et de sa fixation par certaines plantes, en symbiose avec des micro-organismes spécialisés (KAREMANGINGO, 1998).

Les problèmes environnementaux d'origine agricole ne sont pas uniquement reliés à l'accumulation du phosphore dans les sols, mais aussi à l'accroissement des teneurs en nitrate des eaux souterraines. Selon Boucher, 1991 ceci est principalement dû à l'augmentation de la quantité de fertilisants azotés appliqués sur les sols, à l'intensification des élevages produisant de grandes quantités de déjections animales et à la conversion de grandes superficies de pâturage en cultures annuelles.

**\*Les apports d'azote dans les sols**

Les **apports azotés** sont les quantités annuelles d'azote provenant des effluents d'élevage ou des engrais de synthèse. Les **apports d'origine animale** (= azote organique) sont calculés selon les références du comité d'orientation pour la réduction de la pollution des eaux par les nitrates et les phosphates provenant des activités agricoles, à partir du comptage des différentes espèces. Les apports **d'origine minérale** (azote minéral) sont les quantités d'engrais vendues, comptabilisées au lieu et à la date d'acquisition, ce qui n'approche qu'imparfaitement les quantités répandues sur les sols. En outre, on ne dispose pas d'informations sur la vitesse de transfert dépendante de la nature du sol, ni sur la saison d'épandage qui influent aussi sur la pollution des sols (**I.F.E, 2009**).

Les limitations fixées aux sources d'ingestion de nitrates viennent notamment des risques de méthémoglobinémie constatés entre 1940 et 1945 aux Etats-Unis, qui avaient entraîné le décès de nombreux nourrissons. Les travaux effectués à ce sujet ont amené l'organisation mondiale de la santé (OMS) et l'organisation mondiale de l'alimentation (FAO) à fixer en 1962 une dose journalière admissible de nitrates, répartie entre les légumes pour 80 % et l'eau pour 20 %.(**I.F.E, 2009**).

**I.6.7 Les compléments alimentaires et les antibiotiques :**

Il y a, dans les sols, accumulation de métaux (cuivre, zinc) en provenance de l'alimentation des animaux d'élevage et des résidus d'antibiotiques utilisés contre les infections ou pour favoriser leur croissance. L'importance des rejets médicamenteux dans les eaux est mal connue aujourd'hui.

Les traitements pour éliminer ces polluants sont complexes, onéreux et souvent difficiles à appliquer. Par conséquent, on s'oriente vers d'autres pratiques agricoles plus respectueuses de l'homme et de l'environnement comme l'agriculture « intégrée » ou « biologique ». (**A.S.E.F, 2010**).

**I.6.8 L'industrie**

Une partie non négligeable des résidus de pesticides provient de la production industrielle de ces derniers et de l'utilisation de pesticides par les sociétés de chemins de fer, les services d'entretien des routes, les particuliers et les collectivités. L'azote présent dans l'eau ne provient pas uniquement de l'agriculture, même si celle-ci reste la source d'azote la plus importante. Les eaux usées industrielles contiennent également de l'azote, notamment les eaux rejetées par les fabricants d'engrais ou d'explosifs, les industries de traitements des métaux et les industries agro-alimentaires.

**Les effets directs** sur la santé humaine peuvent être dus à la toxicité élevée de polluants déversés dans les ressources en eau potable ou les eaux de baignade : métaux (mercure, chrome, plomb, cadmium, nickel), nitrates, pesticides. (**A.S.E.F, 2010**).

### I.6.9 La médecine

La consommation de médicaments n'a cessé de croître depuis plusieurs décennies dans les pays industrialisés. En France, 4<sup>ème</sup> consommateur mondial, 3300 molécules sont ainsi commercialisées. Or, des traces de médicaments ou de leurs dérivés ont été mesurées dans tous les milieux et sur tous les continents. Leur présence est avérée dans les eaux de surface, les eaux souterraines et résiduaires, les boues des stations d'épuration utilisées en épandage agricole et même dans l'eau potable. Des concentrations certes faibles, de quelques nanogrammes par litre (mg/l) à quelques centaines de microgrammes par litre ( $\mu\text{g/l}$ ). L'origine de cette pollution est double. Elle provient, d'une part, des urines et des selles humaines - ainsi que de celles des animaux de compagnie - évacuées dans les eaux domestiques, où se retrouvent aussi des médicaments non utilisés dont une partie est directement jetée dans les toilettes ou les égouts. Elle résulte, d'autre part, des rejets de l'industrie chimique et pharmaceutique, des élevages industriels d'animaux et des piscicultures (antibiotiques et hormones de croissance), mais aussi des hôpitaux. Les rejets par les établissements de soin sont d'ailleurs particulièrement préoccupants car ils contiennent des anti-cancéreux et des produits radioactifs, des molécules toxiques, peu dégradées et persistantes dans l'environnement.

Or, les stations d'épuration n'ont pas été conçues pour éliminer la totalité des molécules pharmaceutiques... et certains composés ne se dégradent quasiment pas. A ce jour, aucun médicament ne figure dans la liste des polluants prioritaires à analyser dans l'eau potable. (A. S.E.F, 2010).

### I.6.10 D'autre polluant s à prendre en compte

L'ammoniac, constitue souvent la première nuisance ressentie au voisinage des élevages du fait des odeurs. L'ammoniac est formé par la décomposition des déjections animales, et peut contribuer aux pluies acides, qui entraînent alors un supplément d'azote non négligeable au sol. Ce phénomène est moins important en Bretagne, du fait du climat, qu'aux Pays-Bas où ce risque constitue une préoccupation majeure.

Les déjections animales ont de tout temps été utilisées comme fertilisant, et cela est très bien. Le problème aujourd'hui est que la production animale est si élevée que les producteurs se retrouvent avec un excès de déjections et qu'ils en épandent trop sur les sols. Quand il y en a trop, le sol et les plantes ne peuvent pas les absorber, et les éléments fertilisants partent alors avec la pluie et se retrouvent dans les cours d'eau. L'eau contient donc des excédents de phosphore, de nitrates et même de résidus des médicaments donnés aux animaux. (C.R.S.E.S, 2006).

## I-7 Paramètres mesurés pour caractériser une eau

### I-7.1 Les matières en suspension (MES).

Il s'agit ici de la matière qui est sous forme de particulaire et la matière colloïdale et qui reste en suspension dans l'eau (de taille  $10^{-2}$  à  $10^{-8}$  mm). Ce peut être de la matière minérale ou de la matière organique, c'est souvent un mélange des deux. Elle est mesurée par pesée. Un volume connu d'eau usée est filtré ou centrifugé. On met la matière à sécher à  $105^\circ\text{C}$ . (Normes NFT-90-105).

**I-7.2. Les matières volatiles en suspension (MVES) :**

C'est la fraction organique des MES. On les dit «volatiles » car elles sont mesurées en volatilisant les MES dans un four pendant 2 heures à 525 °C (Norme NFT 90-029).

**I-7.3. La « Demande Chimique en Oxygène » ou DCO :**

C'est une méthode qui consiste à mesurer la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder chimiquement et totalement les matières de l'effluent. La matière organique sera transformée en gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) et en eau (H<sub>2</sub>O). (Norme NF-T-90-101).

**I-7.4. La Demande Biologique en Oxygène ou DBO**

Sur le principe c'est le même type de réaction que ci-dessus, mais au lieu d'être une réaction chimique via «l'oxydant », c'est l'oxygène dissous (à saturation) présent dans l'eau polluée qui est mise en incubation avec des micro-organismes inoculés. Ce sont eux qui réalisent la réaction l'oxydation à 20 °C.

La différence fondamentale avec la DCO réside dans le fait que l'on considère que la DBO mesure la pollution dégradable par les micro-organismes alors que la DCO mesure la quantité totale de matière potentiellement polluante.

Elle peut être mesurée sur 5 jours d'incubation (DBO<sub>5</sub>) ou sur 21 jours (DBO<sub>21</sub>).

La mesure de la DBO<sub>5</sub> se fait avec la norme NF-T- 90-103.

**I-7.5. Le carbone organique total COT**

Le COT permet de mesurer le carbone sous forme inorganique (CI), qui n'est que du CO<sub>2</sub>, et le carbone organique (CO).

Pour mesurer le CI, on acidifie l'échantillon et on l'élimine par stripping, c'est à dire entraînement par injection d'un gaz. Pour mesurer le CO on oxyde la matière organique par oxydation thermique catalytique à 800-1000 °C, ou par une oxydation aux rayons ultraviolets, ou encore par une oxydation chimique à froid (action conjointe de persulfate et d'un rayonnement UV). C'est une mesure rapide que l'on peut corrélérer de manière satisfaisante souvent aux valeurs de DCO.

**I-7.6. Les matières toxiques**

Ces produits toxiques sont des métaux (mercure, cadmium, arsenic, plomb ...) des composés phénoliques, des organo-halogénés (lindane, DDT, Poly Chloro Benzènes...), des organo-phosphorés...

Pour mesurer la toxicité de ces substances on utilise des méthodes spécifiques ou des méthodes mettant en jeux des organismes vivants.

Par exemple celui des «daphnies » ou encore appelées «puces d'eau ». Ce sont de petits crustacés qui se déplacent par saccade. On les trouve dans des mares et ... sous le microscope du laborantin qui mesure la toxicité d'une eau pour cela il compte le nombre de daphnies qui sont «immobilisées » après être restée un jour dans l'effluent.

D'autres méthodes peuvent être utilisées comme le test «microtox » qui mesure l'effet toxique sur une bactérie marine bioluminescente *Phosphobacterium phosphoreum*.

**I-7.7. La pollution azotée**

Elle est souvent responsable de la prolifération des algues et des végétaux aquatiques dans les étendues d'eau. En pourrissant ces végétaux vont se déposer au fond et dégager des produits solubles qui vont polluer de nouveau le milieu. La matière qui s'accumule va finir par la combler l'étendue d'eau (eutrophisation).

L'azote peut se présenter sous plusieurs formes dans l'eau usée. On a :

\*l'azote organique, ou l'azote se retrouve dans des molécules avec de l'hydrogène, du carbone, et du phosphore.

\* l'azote ammoniacale ou le N est sous forme d'ammoniac dissous dans l'eau ( $\text{NH}_3$ ) ou sous forme d'ion ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ )

\*Les ions nitrate  $\text{NO}_3$  (qui sont une forme stable de l'azote dans la nature) ou d'ions nitrite  $\text{NO}_2$

On mesure les deux premières formes par une réaction colorimétrique (la méthode Kjeldahl d'où le nom « d'azote Kjeldahl » Normes NF-T-90-110). Pour quantifier les nitrates et les nitrites on utilise souvent des techniques de chromatographie ionique. La norme pour le nitrite est NF-T – 90-013 et pour les nitrates c'est NF-T- 906012.

**I-7.8. La pollution phosphorée**

Le phosphore est lui aussi responsable du développement d'algues, de végétaux aquatiques qui vont générer les mêmes problèmes que l'azote.

Il est sous forme organique ou sous forme minérale ( $\text{PO}_4\text{H}_2^-$  orthophosphate, ou polyphosphate). Dans la matière vivante le phosphore se trouve notamment dans les acides nucléiques (ADN, ARN) et dans des molécules très importantes du vivant puisqu'elles transportent l'énergie : l'adénosine tri, di ou mono phosphate c'est à dire l'ATP, l'ADP ou l'AMP. Il est dosé par spectrométrie avec la norme NF-T-90-023.

**I-7.9. Conductivité**

Elle sert à mesurer la quantité de sels dissous. La conductivité électrique, s'exprime en mho. Le poids de sel est représenté par le produit de cette conductivité avec le volume d'eau rejetée. Elle est mesurée par la norme NF-T-90-031.

**II-7.10. Germes pathogènes**

Les eaux usées peuvent contenir des organismes (virus, bactéries, protozoaires, helminthes...) qui peuvent être pathogènes. Il est d'usage de se contenter de mesurer des «germes tests » qui comprennent les coliformes du genre *Escherichia coli* et les streptocoques fécaux.

**I-7.11. Les autres caractéristiques (pH, température, couleur...)**

Les autres paramètres souvent retenus pour caractériser des pollutions sont le pH mesuré avec une électrode en verre (norme NF-T-90-006). La couleur est mesurée par la norme NF-T-90-034, et la température mesurée par un...thermomètre. (MOLETTA,R, 2010).

**I-8 Impact des perturbateurs endocrines**

Même à faibles doses, des perturbateurs endocriniens (médicaments, pesticides, rejets industriels) peuvent altérer la reproduction et le développement. Ainsi, les chercheurs voient apparaître dans de nombreux cours d'eau français, des phénomènes de féminisation des mâles, ainsi qu'une sensibilité accrue aux agents infectieux, chez certaines espèces de poissons, de gastéropodes et de grenouilles. Par ailleurs, il ne faut pas isoler la problématique des médicaments de celle des autres polluants et l'exposition combinée à plusieurs perturbateurs endocriniens (bisphénol A, phtalates, PCB, pesticides) agissant en synergie, pourrait avoir un effet significatif sur la santé humaine. Enfin, l'impact des antibiotiques sur la prolifération de bactéries résistantes est également suspecté. (A.S.E.F, 2010).

*Tableau (I.1) : Effets environnementaux et sanitaires des polluants.*

<b>Polluants</b>	<b>Effets environnementaux</b>	<b>Effets sanitaires</b>
<b>Les matières en suspension</b>	- Eaux plus troubles : perturbe la photosynthèse, la respiration des poissons et colmate les milieux aquatiques	- Transportent des polluants ; ce qui augmente les risques d'absorption de substances toxiques par l'organisme
<b>Pollution organique</b>	- Asphyxie du milieu par consommation de l'oxygène dissous, mort des poissons - Stimulation de la production végétale (eutrophisation) et accumulation de boues - Faiblement biodégradable	- Favorise le développement d'organismes pathogènes pour l'Homme
<b>Azote (nitrates, nitrites), Phosphore</b>	Eutrophisation des milieux aquatiques par excès de matières nutritives pour les végétaux (algues) et conduisant à l'asphyxie des milieux - Toxicité de l'ammoniaque et des nitrites pour la faune aquatique	Nitrates : empoisonnement du sang chez les nourrissons par blocage de l'hémoglobine interdisant le transport de l'oxygène (maladie bleue) Nitrites : cancers à long terme chez les adultes (même à faible concentration) si associés à certains pesticides
<b>Métaux</b>	Non biodégradables, bioaccumulables	Troubles respiratoires, digestifs, nerveux ou cutanés - Arsenic, Nickel et Chrome sont également considérés comme cancérigènes
<b>Pesticides</b>	- Substances très dangereuses pour les milieux aquatiques - Polluants organiques persistants - S'adsorbent sur les matières en suspension et s'accumulent dans certains compartiments (sédiments, matières organiques, chaîne alimentaire)	- Les plus toxiques : les insecticides - Effets reprotoxiques (malformations, stérilité, troubles de la reproduction), mutagènes et cancérigènes

**I-8.1 L'eutrophisation**

L'eutrophisation est un phénomène évolutif au cours duquel il y a prolifération des plantes et des algues aquatiques, notamment des macrophytes. Cette prolifération enrichit le milieu en matières nutritives et par conséquent, en organismes vivants (microorganismes) et en matières organiques diverses. C'est ainsi que la concentration en oxygène dissous chute dramatiquement par une demande accrue des organismes. S'en suit alors une dégradation des eaux. Les eaux eutrophisées montrent de grandes variations du pH, des modifications

de la flore aquatique telles que l'apparition de plantes de grandes tailles, une diminution de la qualité de la chaîne alimentaire aquatique et la disparition de certaines espèces de poissons. De plus, tous ces changements peuvent nuire aux activités récréatives.

Les risques d'eutrophisation augmentent lorsque la concentration en phosphore dans les eaux dépasse 0,03 mg/L (MENVIQ, 1990). La teneur en phosphore inorganique admise au Canada est de 0,065 mg /L pour l'usage public de l'eau. Plusieurs études effectuées au Québec ont évalué que la charge annuelle de phosphore total transportée dans les eaux de ruissellement se situait entre 0,03 et 2,80 kg de P/ha. Dans les rivières, on retrouve des teneurs en phosphore dissous et particulaire supérieures à 1mg de P/L (BERNARD, 1984).

L'eutrophisation est causé par un apport massifs des nutriments qui crée un déséquilibre dans la chaîne alimentaire et qui conduit à 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 à la disposition des nutriments et à 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, La pénétration de la lumière ou aux mouvements de l'eau.

Les causes de l'eutrophisation et les facteurs favorisants sont de deux origines :

i. **Origine naturelle** qui se manifeste par trois voies, le ruissellement, l'érosion et la percolation. Ceci est favorisé par la présence de zones agricoles fertiles, les rejets d'eaux résiduaires urbaines et les rejets industriels. A cela s'ajoute le dépôt atmosphérique d'azote provenant de l'élevage animal et des gaz de combustion.

\* **Origine anthropique** qui se traduit le ruissellement des terres agricoles expliquant ainsi la présence d'azote. L'implantation d'industries des détergents explique par ailleurs la présence de phosphore. (I. GUASMI 1et Al, 2007).

### I.8.2 Sur le milieu naturel

L'incidence des rejets sur notre environnement peut s'apprécier au regard des élévations de températures, des modifications du pH, des consommations d'oxygène du milieu ainsi que des effets spécifiques inhérents à chaque polluant. Ceci conduit à la modification de l'équilibre des écosystèmes.

Les modifications de température de pH, perturbent le développement normal de la faune et de la flore. Le rejet de matière organique entraîne une surconsommation d'oxygène par les micro-organismes et en prive d'autant les poissons. Les matières en suspension conduisent aussi au colmatage des branchies des poissons, les rejets d'azote et de phosphore favorisent l'eutrophisation des lacs.

### I.8.3 Sur l'économie

Il faut se rendre compte que dépolluer reste encore actuellement une activité de riches.

Personne ne peut nier l'absolue nécessité de prendre en compte notre environnement. Dans les pays développés, à la plus part des collectivités et les industries prennent en charge leurs rejets.

En certaines périodes de l'année, la prolifération d'algues qui viennent s'échouer et pourrir sur les côtes de la Manche conduit à des nuisances qui perturbent fortement l'activité touristique de ces régions... Cette prolifération est attribuée aux rejets de polluants azotés et phosphorés locaux ou d'ailleurs. Le maintien de l'activité touristique implique l'élimination de ces nuisances. Ceci représente un coût et un manque à gagner important. Comme c'est souvent le cas, le secteur qui est à l'origine de la pollution n'est pas le secteur qui en subit les conséquences.

### I.8.4 Sur la santé

Les maladies liées à la présence d'éléments pathogènes ou de molécules toxiques sont très répandues. Les parasitoses d'origine hydrique dominent très largement la pathologie des habitants du tiers monde :

- Paludisme (un million de décès par an, 100 à 150 millions de cas annuels dont 90% en Afrique, et 300 millions de porteurs de parasites) ;
- Filaires (maladie due à un vers injecté par des moustiques sous les climats chauds et humides) ;
- Le choléra, du aux vibrions cholériques présent dans les eaux souillées ;
- L'hépatite A (due à un virus présent aussi dans les eaux polluées) ;
- Et les autres comme les dysenteries d'origines parasitaires, bactériennes et virales aux conséquences qui peuvent être très grave chez le jeune enfant.

Les métaux lourds comme le mercure, le plomb, le cadmium, le cuivre...présentent la particularité de se concentrer dans la chaîne biologique. Ils ne sont pas dégradables, leur présence est donc rémanente. Ils conduisent à des pathologies diverses en fonction de leurs natures, pathologies qui peuvent être très graves, voir mortelles. (MOLETTA.R, 2010).

**Conclusion**

L'eau est la plus répandue richesse sur terre. Elle qui est un élément indispensable à toute forme de vie.

D'un point de vue chimique, l'eau, lorsqu'elle est pure, est un liquide inodore, transparent et insipide. D'un point de vue biologique, c'est dans l'eau que la vie est apparue et c'est grâce à elle se maintient. En effet, l'organisme humain peut vivre pendant près d'un mois sans manger mais ne peut survivre que quelques jours sans boire.

L'eau potable est une eau qui est apte à être consommée par l'être humain, cette dernière peut contenir des substances polluantes, c'est pourquoi, elle a besoin d'être protégée, traitée et économisée. (LOUNNAS.A ,2008)

La première technique de réduction des émissions de polluants dans l'eau est la réduction « à la source » qui passe par une meilleure maîtrise des procédés et se traduit par une moindre production d'effluents. Les procédés de traitement consistent alors à piéger, concentrer ou transformer les substances polluantes afin de réduire les caractères polluants des effluents industriels avant rejet. Ces techniques aboutissent dans la majorité des cas à la production de déchets qu'il faut éliminer par ailleurs (boues, sels, filtres usagés...). (A.S.E.F ,2010).

Quant aux pollutions physiques et chimiques, elles portent atteindre au patrimoine aquatique. D'un point de vue plus général, toute pollution réduit qualitativement les ressources immédiatement disponibles. Or, les réserves d'eau à notre disposition ne sont ni illimitées, ni susceptibles d'augmenter. Il faut donc les protéger et veiller à une utilisation rationnelle. (CHARTIER.M, 2009).

Chapitre II  
Etude expérimentale

## Introduction

Dans le but de recherche qualitative et quantitative de certains éléments chimiques et bactériologiques contenus dans les eaux superficiels d'Oued Enndja, On a d'abord recours à une brève explication des procédures d'analyses laboratoires.

### II.1 Prélèvement d'un échantillon d'eau

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à la quelle le plus grand soin doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimique de l'eau (gaz dissous, matière en suspension,...etc.).

Les lignes directrices générales qui s'appliquent au prélèvement des échantillons d'eau. :

- 1- Au point d'échantillonnage, rincer toutes les bouteilles de prélèvement et tous les bouchons à trois reprises avant de prélever l'échantillon d'eau.
- 2-Placer l'échantillonneur ou la bouteille de prélèvement face aux eaux d'amont a fin d'éviter toutes contaminations.
- 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 ya 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 étalant sur 24 h, parce que avec le temps on peut craindre une diminution relativement importante des éléments dissous en faibles teneurs, et on peut observer certains échanges entre les flacons plastiques et l'eau analysée.

**Tableau (II.1) : Conservation des prélèvements**

Caractéristiques à l'élément analysé	Récipient	Volume minimum de prélèvement (en ml)	Température de conservation (en c°)	Effectuer la mesure avant
Acidité, Alcalinité	P ou Vb	200	4	24 h (obsc)
Chlorures	P ou V	200	-	15 jours
Conductivité	P ou V	100	4	48 mois
dureté	P ou V	100	-	1 mois
Matières en suspension	P ou V	100	4	6 jours (obsc)
PN	Vb	/	4	24 h (obsc)
Résidu	P ou V	500	4	7 jours
Sulfates	P ou V	200	4	6 jours
Turbidité	P ou V	100	4	24 h (obsc)
Nitrates	P ou V	100	4	48 h (obsc)
Oxygène dissous	Vb	300	4	24 h (obsc)
Phosphates	P ou V	100	4	48 h (obsc)

**P** : (poly éthylène)

**V** : verre

Vb : verre borosilicate  
Obsc : Obscurité

### II.2 L'analyse qualitative :

Le but de l'analyse qualitative est l'identification ou la recherche des éléments ou les ions qui constituent une substance à étudier, l'analyse qualitative doit précéder l'analyse quantitative.

### II.3 L'analyse quantitative :

Pour l'analyse quantitative, on utilise généralement les mêmes réactions ioniques qui sont les caractéristiques d'analyse qualitative.

-Parmi les méthodes d'analyse quantitative :

#### a- Méthode gravimétrique :

La gravimétrie ou l'analyse quantitative par pesé consiste à transformer, selon une réaction chimique définie l'ion ou la substance à doser ou le composé pur et stable qui est isolé, séché, et dans le cas échéant calciné, et finalement pesé jusqu'à masse constante.

Quelques procédés sont fondés sur une calcination simple lorsque le composé à doser est transformé directement en un composé stable. Dans d'autre cas, lorsque la décomposition thermique de la substance à doser ne peut pas fournir, un oxyde défini stable, il est quelques fois possible de parvenir, après action d'un réactif approprié à un nouveau composé susceptible d'être obtenu par calcination si tous les autres produits de la réaction, et l'excès des réactifs sont combustibles ou volatilisables à haute température.

#### b-Méthode titrimétrie

La titrimétrie (ou volumétrie) consiste à faire entrer en réaction la substance à doser préalablement dissoute avec un réactif convenablement choisie de concentration connue (solution titrée). Si le terme de la réaction peut être déterminé avec précision, il est facile de connaître par calcul la concentration de la solution à titrer.

- ✓ L'analyse se ramène à la détermination du volume de réactif antagoniste connaissant l'équation de la réaction instantanée ainsi que le volume réactif versé, au début la concentration de substance inconnue.
- ✓ La titrimétrie implique le choix d'une réaction de base qui doit répondre aux conditions suivantes :
  - La réaction doit être simple et exprimée par un équilibre chimique.
  - Les deux composés antagonistes doivent réagir complètement en proportion équivalente ou stœchiométrique.
  - La réaction doit être instantanée ou présente une vitesse suffisamment rapide.
  - Le terme du dosage doit pouvoir être déterminé avec précision.

On appelle point d'équivalence le volume de réactif nécessaire pour que le dosage soit complètement effectué, le point d'équivalence est mis en évidence soit par indicateur chimique (changement de couleur d'un indicateur coloré par modification de structure) ; soit par variation brusque d'une propriété physique (variation de potentiel d'une électrode indicatrice).

## II.4 Les paramètres physico-chimiques :

### II.4.1 Mesure de PH

#### \*Principe général :

Le PH est en relation avec la concentration en ions hydrogènes ( $H^+$ ) présentes dans une eau. Sa mesure peut être réalisée par différentes méthodes comme :

- La méthode colorimétrique ;
- La méthode potentiométrique.

\*Dans notre cas nous avons mesuré le ph par un multi-paramètre (de type CONSORT C 535), dont la valeur du Ph de l'eau à analyser et obtenue par une lecture directe.

### II.4.2 Détermination de la durée totale

En général, on détermine de la durée totale de l'eau, sauf s'il on veut connaître de manière spécifique un autre type de dureté.

#### \*Principe du dosage complexométrique

On utilise le sel dissodique de l'acide éthylène diamine tétracétique ou l'EDTA qui forme avec les cations à l'exception des alcalins, les complexes chélates stables dans les quelles les cations sont dissimulés à leurs réactifs habituelles. En présence de cation, l'EDTA forme des complexes contenant un cation pour une molécule d'EDTA, suivant la réaction :  $[H_2Y]^{-2} + M^{+2} \rightleftharpoons [HY]^{-2} + 2H^+$

EDTA Cation                      complexe

Les  $\frac{1}{2}$  réactions                       $[Ind H_2] + M^{2+} \rightleftharpoons [Ind M] + 2H^+$

$[Ind M] + [H_2Y]^{2-} \rightleftharpoons [HY]^{2-} + [Ind H_2]$

#### \*Les réactifs

Solution de noir ériochrome -T- dans l'alcool éthylique à 0,4 % à l'abri de la lumière.

Solution tampon :

\*Chlorure d'ammonium.....34g.

\*Ammoniaque.....285g.

\*Tartarate double de  $K^+$  et  $Na^+$  .....200g.

\* Avec une quantité suffisante d'eau pour .....1000ml.

-Solution EDTA (N/50) ou 0,02 N :

\* Sel dissodique de l'acide EDTA.....4g.

\*Chlorure de Mg ( $MgCl_2, 6H_2O$ ).....0,1g.

\*Eau distillée .....1000ml.

**\*Mode opératoire**

Prise d'essai 25ml d'eau à analyser, chauffer jusqu'à 60c° dans une fiole conique de 250 ml, ajouté 2ml de solution tampon et une petite quantité de l'indicateur noir ériochrome. T. (3 gouttes).

La solution se colore en rouge foncé ou violet. Le pH doit être de 9,5 à 10. En maintenant une agitation. Verser la solution EDTA rapidement au début puis 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 versé, d'après la règle générale on a :

$$DT \text{ (méq/l)} = V \times (1/5) \times 1000/25.$$

**II.4.3 Détermination de la conductivité électrique :**

La conductivité est la propriété que possède une eau de favoriser le passage d'un courant électrique. Elle est due à la présence dans le milieu d'ions qui sont mobiles dans un champ électrique.

-L'unité de conductivité est le (s/m), où  $1 \text{ (s/m)} = 10^4 \text{ } \mu\text{s/cm} = 10\text{ms/m}$ .

**\*Mode opératoire**

Pour la mesure de la conductivité, on a utilisé un multi paramètre de type (CONSORT 535).

**II.4.4 Dosage des matières en suspension (MES) par centrifugation :****\*Principe :**

La séparation des MES de l'eau se fait par centrifugation. L'échantillon est mis en rotation à grande vitesse. L'application de la force centrifuge sur les particules solides permet de les ressembler dans le fond du tube sous forme d'un culot. Ce culot sera lavé puis récupéré et mis à sécher à 105 c°. Le résidu sec est ensuite pesé. Il correspond aux MES contenues dans l'échantillon.

L'eau à analyser est centrifugée à 4500 (tr/min) pendant 15 minutes.

**\*Matériel spécial :**

-Centrifugeuse susceptible de 4200 (tr/min) avec pot.

-Balance analytique.

**\*Mode opératoire**

Centrifuger un volume d'eau de façon à recueillir au moins 30 mg de matière, séparer le liquide surnager par siphonage sans perturbation des dépôts, et jusqu'à une hauteur de 10 mm de liquide au-dessous du dépôt, les culots de matières sont transverses dans une capsule tarée.

Rincer les tubes à centrifuger trois fois avec une petite quantité d'eau permutée.

Introduire les eaux de lavage avec les culots dans la capsule séchée à 10c° et sécher à l'étuve à 105 c° jusqu'à masse constante. Laisser refroidir au dicicateur, peser, puis calciner à 525 c° jusqu'à masse constante et peser une autre fois.

**\*Expression des résultats :**

$M_1$  : La masse de la capsule vide.

$M_2$  : La masse de la capsule plaine après dessiccation à 105 °C.

$M_3$  : La masse de la capsule plaine après calcination à 525 °C.

$V$  : Le volume d'eau traitée en millimètre.

-La teneur en milligramme de matière en suspension totale par litre d'eau est donnée par l'expression :

$$T_{MES\text{totale}} = (M_2 - M_1) * 1000/V \text{ en (mg/l)}$$

La teneur en milligramme de matière en suspension minérale par litre d'eau est donnée par l'expression :

$$T_{MES\text{minérale}} = (M_3 - M_1)1000/V \text{ en (mg/l)}$$

Et la différence entre les teneurs TMES totale et TMES minérale est la teneur en milligramme des matières en suspension organiques par litre d'eau

$$T_{MES\text{organique}} = T_{MES\text{totale}} - T_{mes\text{minérale}}$$

**II.4.5 Détermination de l'alcalinité totale et composite (TAC) et (TA) :****\*Principe :**

La détermination de TA (titre alcalimétrique) et TAC (titre alcalimétrique complet) est basée sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral dilué, en présence d'un indicateur coloré.

**\*Les réactifs :**

\*Acide chlorhydrique. HCl 0,1 mol/l.

\*L'eau à analyser.

**\*Mode opératoire : (méthode potentiométrique) :****a. L'alcalinité composite (TA)**

- ✓ Introduire à l'aide d'une pipette 100 ml d'échantillon dans un vase de titrage et placer sur un agitateur magnétique en insérant dans la solution un barreau magnétique.
- ✓ Maître en marche l'agitateur et agiter à une vitesse à laquelle un tourbillon est à peine perceptible.
- ✓ plonger les électrodes reliées au pH-mètre dans l'eau à analyser (dans notre cas, pour la mesure du PH, on utilise un multi paramètre).

**-Mesurer le PH de l'échantillon**

\*Si le PH est inférieur à 8,3, considérer l'alcalinité composite TA comme égale à 0.

\*Si ce PH est supérieur à 8,3, titrer l'échantillon avec de l'acide chlorhydrique (HCL) à (0,1mol/l) jusqu'à pH=8,3 noter le volume  $V_1$  ml d'acide versé.

**b/ L'alcalinité totale (TAC)**

\*A partir de la même prise d'essai continuer à tirer avec solution d'acide chlorhydrique jusqu'à PH=4,5.

\*Aux alentours de PH=4,5, ajouter l'acide goutte à goutte et attendre au moins 30 secondes pour atteindre l'équilibre.

\*Noter le volume  $V_2$  ml d'acide versé.

**\*Expression des résultats :**

$$\text{Alcalinité} = \frac{C(\text{HCL}) \cdot V(\text{HCL}) \cdot 1000}{V \text{ échantillon}}$$

Où :

C(HCL) : La concentration en (mol/l) de la solution (HCL).

V(HCL) : Volume en (ml) versé pour atteindre le PH recherché.

$V_1$  : (ml) pour l'alcalinité composite ( $T_A$ ).

$V_2$  : (ml) pour l'alcalinité totale ( $T_{AC}$ ).

Véch : Volume de la prise d'essai (normalement 100 ml).

**Tableau (II.2) :** Facteurs de conversion de l'alcalinité exprimé en milli mol/l ou en milli équivalent /l ou en d'autres unités d'alcalinité.

Unité d'expression de l'alcalinité	Facteur de conversion
-CaCO <sub>3</sub> en mg/l.....	.....50
-HC CO <sub>3</sub> en mg/l.....	.....61
-CaCO en mg/l.....	.....28
-Degré français (F°) .....	.....05
-Degré allemand.....	.....2,80
-Degré U.S.....	.....2,80

**II.4.6 Détermination de la turbidité**

La turbidité est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matière non dissoute. Elle est causé, dans les eaux, par la présence de MES, comme les argiles, les limons, les grains de silice, et les microorganismes.

**\*Mode opératoire :**

Nous avons mesuré la turbidité sur un turbidimètre de type HA CH 2100 N. Les échantillons ont été introduits dans une cellule et puis par une lecture directe nous avons lis la valeur de la turbidité en FTU.

**II.4.7 Dosage des chlorures :****\*Principe :**

-Les ions chlorure sont précipités à l'état de chlorure d'argent par une solution titrée de nitrate d'argent (AgNO<sub>3</sub>). L'indicateur de fin de réaction est le chromate de potassium (K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>), qui en présence d'un excès d'ions argent, forme un précipité rouge.

$Ag^+ + Cr \rightarrow AgCl$  Chlorure d'argent (précipité blanc).

$CrO_4^{2-} + 2Ag^+ \rightarrow Ag_2CrO_4$  Chromate d'argent (précipité rouge).

**\*Les réactifs :**

-Acide nitrique pur, carbonate de calcium pur, solution de chromate de potassium à 10% solution de nitrate d'argent (N/10).

**\*Mode opératoire :**

-Introduire 100 ml d'eau à analyser, préalablement filtré dans un érlenmeyer de 250 ml, ajouter 2-3 gouttes d'acide nitrique pur puis une pincée de carbonate de chaux, et 3 gouttes de solution de chromate de potassium.

-Verser alors au moyen d'une burette la solution de nitrate d'argent jusqu'à apparition d'une teinte rougeâtre qui doit persister 1-3 minutes.

-Soit V le volume en (ml) de nitrate d'argent (N/10).

**\*Expression des résultats :**

-Pour 100 ml d'eau analysé :

$V \times 10 \times 3,55$ .....la teneur en chlorure exprimée en mg/l.

$V \times 10 \times 5,85$ .....la teneur en chlorure exprimée en mg de Na cl/l.

**II.4.8 Dosage des sulfates :****\*Principe :**

-Le précipité du sulfate de baryum est pesé. Le phosphate de baryum précipité est éliminé par un lavage à l'aide d'un acide chlorhydrique.

**\*Les réactifs :**

-L'acide chlorhydrique en solution 2N.

-Chlorure de baryum en solution à 200 g/l.

-Eau distillée.

**\* Mode opératoire :**

-Introduire dans un tube à centrifugation de 50ml, 40ml d'échantillon à analyser, ajouter 2ml d'acide chlorhydrique 2N et 2 ml de solution de chlorure de baryum, agiter avec une baguette de verre ; rincer la baguette avec un peu d'eau distillée et abandonner au repos pendant 5 minutes. Centrifuger pendant 5 minutes, puis décanter avec précaution le liquide sur nageant, laver ensuite le précipité de sulfate de baryum en procédant de la façon suivante : ajouter 10ml d'HCL (2N), mettre le précipité en suspension et centrifuger pendant 5 minutes. Séparer avec précaution le liquide surnageant. Répéter deux fois le lavage du précipité dans les mêmes conditions avec 15 ml d'eau distillée chaque fois.

-Transvaser quantitativement en rinçant, avec de l'eau distillée, le précipité dans une capsule de platine tarée et la placer sur un bain d'eau à 100 c° jusqu'à évaporation à sec, le précipité desséché et calciné plusieurs fois. Laisser refroidir dans un dicateur et peser.

-Soit (m), la masse en milligramme de sulfate de baryum obtenu.

**\*Expression des résultats :**

-La teneur en sulfates (mg/l)= $m \cdot 18,67 \cdot 0,55207$  où :

$$m = M_2 - M_1$$

$M_1$  : la masse de capsule vide.

$M_2$  : la masse de capsule après calcination.

**II.4.9 Dosage d'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) :****\*Principe :**

-Le réactif de Nesler en milieu basique et présence d'ion d'ammonium forme un complexe rouge qui permet un dosage colorimétrique des ions  $\text{NH}_4^+$ .

**\*Réactifs :**

-Pour toutes les préparations en manipulation utiliser de l'eau récemment déminéralisée.

-Réactif de Nesler.

-Tartrate double de potassium et de sodium.

-Préparer 250 ml de la solution comme suit :

-Dissoudre 125g de tartrate double de sodium et de potassium dans 50 ml d'eau, après refroidissement, ajouter 125ml de réactif de Nesler, laisser reposer 2 jours, puis filtrer, conserver ensuite au réfrigérateur.

-Solution étalon d'azote ammoniacal à 10 mg de  $\text{NH}_4$ /l.

-Dissoudre 29,7 mg de chlorures d'ammonium dans 1l d'eau, compléter à 100 ml en fiole jaugée. La solution obtenue est ensuite diluée au dixième.

-Conserver ensuite dans le réfrigérateur.

**\*Mode opératoire**

-Réaliser une courbe d'étalonnage.

-Dans une série de fioles jaugée de 50 ml introduire successivement :

*Tableau (II.3) : jaugeage successif d'une série de fiole.*

Numéro de fiole	T	1	2	3	4	5	6	7
Quantité de solution étalon en (ml)	0	1	2	5	10	15	20	25
Compléter à 50 ml avec de l'eau	0	49	48	45	40	35	30	25
Solution de tartrate puis mélangé (ml)	2	2	2	2	2	2	2	2
Réactif de Nesler	2	2	2	2	2	2	2	2
Quantité de $\text{NH}_4$ mg/l	0	0,2	0,4	1	2	3	4	5

**\*Dosage**

-Prendre 50 ml de l'eau prélevé, ajouter 2ml de la solution de tartrate puis mélanger. Ajouter 2ml de réactif de Nesler puis mélanger à nouveau.

-Attendre 10 min puis effectuer les mesures au spectrophotomètre à longueur d'onde de 420 nm.

**\*Expression des résultats**

Déduire les résultats par l'utilisation de la courbe construite.

**II.4.10 Dosage des phosphates PO<sub>4</sub>****\*Principe**

En milieu acide et en présence de molybdate d'ammonium, les ortho phosphates donnent un complexe phosphomolybdique qui est réduit par l'acide ascorbique, développe une coloration bleue susceptible d'un dosage colorimétrique.

**\*Mode opératoire**

Introduire 20 ml d'eau dans une fiole jaugée de 25ml, ajouter 1ml de solution d'acide ascorbique.

**\*Expression des résultats**

Déduire les résultats par l'utilisation de la courbe d'étalonnage.

**II.4.11 Dosage des Nitrates****\*Principe**

En présence de salicylate de sodium, les Nitrates donnent du parinitro- salicylate de sodium, coloré en jaune et susceptible d'un dosage colorimétrique.

**\*Mode opératoire**

- Dans une capsule de 60 ml, introduire 10 ml d'échantillon ;
- Ajouter 1 ml de salicylate de sodium puis pour suivre le dosage comme l'indique le courbe d'étalonnage ;
- Effectuer les lectures en spectromètre à longueur d'onde de 415 nm.

**\*Expression des résultats**

Pour une prise d'essai de 10 ml, la courbe donne directement la teneur en azote exprimée en (mg/l), pour obtenir les teneurs en NO<sub>3</sub>, on multiplie les résultats par 4,43.

**II.4.12 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.

### II.4.13 Mesure de la DBO et la DCO

-La DBO est la quantité d'oxygène nécessaire aux micro-organismes aérobies de l'eau pour oxyder les matières organiques dissoutes ou en suspension, il s'agit donc d'une consommation potentielle de dioxygène par voie biologique.

-Ce paramètre constitue un bon indicateur de la teneur en matière organique biodégradable polluante.

-La DCO permet d'apprécier la concentration en matières organiques ou minérales, dissoutes ou en suspension dans l'eau, au travers de la quantité d'oxygène nécessaire à leur oxydation chimique totale.

-Dans notre cas, on a utilisé le DCO mètre de type CSB/COD-Réactor Al 32 pour mesurer la DCO, et le DBO mètre de type OXI TOP 06 pour mesurer la DBO.

### II.5. L'analyse granulométrique

Les analyses granulométriques effectuées au granulomètre laser après le passage aux ultrasons dit que, la composition chimique générale des particules correspond à des moyennes sont pondérées par les flux de **MES** : la teneur moyenne de **COP** (carbone organique particulier), les teneurs en **Fe**, **Al**, **Mn**, la teneur de **CaCo3**, et de **CT** (carbone total) et **CIP** (carbone inorganique particulier), et d'après les traitements des eaux brutes, une production des boues organiques, qui sont riches en **P** et **N** (en phosphore et en azote).

-Selon leur taille, les matériaux transportés en eau classés comme suit :

*Tableau (II.4) : Echelle granulométrique de Wentworth :*

Matière dissoute	Argile	Sables fins	Sables moyens	Graviers
0,2 µm	4µm	20µm	250µm	64mm

### Conclusion

La maîtrise des procédures d'analyses laboratoires, est une étape primordiale dans cette partie de notre travail qui consiste à une recherche qualitative et quantitative des éléments chimiques et bactériologique transportés par le cour d'eau Oeud Enndja, afin de prédéfinir les effets et les risques susceptibles d'être causés par ces derniers à leur rejet final (Barrage de Béni Haroun).

## Chapitre III

# Résultats et discussions

## **Introduction**

### **III.1 Analyses en composantes principales (ACP) des paramètres de pollution :**

On a déjà expliqué dans le chapitre des précipitations, les objectifs et les étapes d'analyse en composantes principales (ACP). Dans ce qui suit, on a appliqué cette méthode sur les paramètres de pollution de la station Oued Enndja pour la période allant du mois d'Aout 2010 jusqu'au Mars 2012, ainsi que l'analyse d'ACP des paramètres de pollution des stations comparatives Béni Haroun et El Menia.

#### **III.1.1 Analyse des résultats de l'ACP :**

Les tableaux (III.1), (III.9) et (III.17) présentent les différents paramètres de pollution fournis par l'ANRH de Constantine pour les trois stations : Oued Endja, Béni Haroun et El Mania et sur lesquelles l'analyse en composantes principales est appliquée.

##### **➤ Station Oued Endja**

## Partie II : Pollution de la cour d'eau Chapitre III : Résultats et discussion

**Tableau (III.1) : Paramètres de pollution –Oued Enndja-**

Date	Ca	Cl	Cond	DCO	HCO <sub>3</sub>	K	MES <sub>105</sub>	Mg	Moac	Na	NH <sub>4</sub>	NO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub> <sub>dis</sub>	Ph	PO <sub>4</sub>	Rs <sub>105</sub>	SO <sub>4</sub>	T	Alc	NO <sub>3</sub>
05/08/2010	126,2	390	2090	75	152,5	6	72	44	13,7	230	0,25	1	8,4	7,4	0,2	1460	318	27	125	4
16/09/2010	104,5	415	2060	149,6	176,9	5	74	47	11,5	260	0,05	0,02	7,5	7,8	0,5	1360	278	21	145	10
22/11/2010	129,1	160	1300	53	268,4	4	30	43	6,7	89	0,85	0,72	9	7,8	0,2	942	230	11	220	16
15/12/2010	134,6	240	1490	53	298,9	4	34	43	9,7	138	0,6	0,04	8,8	7,4	0,4	1080	224	10	245	11
06/01/2011	110,7	115	1000	44	244	3	36	29	8,3	70	0,03	0,6	8,8	7,5	0,3	630	140	9	200	7
09/02/2011	94,9	55	800	79	183	2	98	26	3,9	28	0,4	0,27	9	7	0,3	534	166	8	150	10
13/03/2011	100	60	860	35	207,4	2	152	34	5,8	42	0,8	0,12	8,8	7,6	0,3	592	202	15	170	13
25/10/2011	161,3	275	1780	35	237,9	5	46	43	7,8	172	0,05	1,8	8,4	7,6	0,1	1126	316	17	195	12
25/12/2011	93,4	75	800	70	158,6	2	13	205	8,8	42	0,37	0,4	6,5	7,3	2	514	172	10	130	9
29/02/2012	81,2	45	720	18	176,9	1	140	28	10,8	27	0,48	0,11	6	7,8	1,6	492	168	10	145	5
18/03/2012	94,5	55	730	26	183	1	72	28	33	35	0,01	0	9,6	7,9	0,08	472	188	12	150	0

On a procédé à une analyse en composantes principales sur les 19 variables (paramètres de pollution) et de 11 observations (dates de prélèvement). Les résultats obtenus par l'analyse en composantes principales sont résumés dans les tableaux (III.1, III.2, III.3, III.4, III.5, III.6, III.7).

**Tableau (III.2) : Moyenne, Ecart type des variables initiales.**

Paramètres	Ca	Cl	Cond	DCO	HCO <sub>3</sub>	K	MES <sub>105</sub>	Mg	Mo <sub>ac</sub>	Na	NH <sub>4</sub>	NO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub> <sub>dis</sub>	Ph	PO <sub>4</sub>	Rs <sub>105</sub>	SO <sub>4</sub>	T	Alc	NO <sub>3</sub>
Moyenne des observations actives	111,85	171,36	1239,09	57,96	207,95	3,18	69,73	51,82	10,91	103,00	0,35	0,46	8,25	7,55	0,54	836,55	218,36	13,64	170,45	8,82
Ecart type des observations actives	23,52	138,08	535,94	36,32	47,76	1,72	45,06	51,40	7,82	84,57	0,31	0,55	1,12	0,27	0,64	369,66	61,60	5,90	39,14	4,53

Seules les quatre premières composantes sont calculées, ou la Ci = nombre des variables, alors Ci=19.

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

**Partie II : Pollution de la cour d'eau Chapitre III : Résultats et discussion**

*Tableau (III.3) : Matrice des coefficients de corrélation entre les variables.*

Paramètre	Ca	Cl	Cond	DCO	HCO <sub>3</sub>	K	MES <sub>105</sub>	Mg	Moac	Na	NH <sub>4</sub>	NO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub> dis	Ph	PO <sub>4</sub>	RS <sub>105</sub>	SO <sub>4</sub>	T	Alc	NO <sub>3</sub>
Ca	1,00	0,58	0,67	-0,03	0,60	0,77	-0,49	-0,15	-0,20	0,57	-0,06	0,76	0,37	-0,02	-0,53	0,67	0,71	0,34	0,60	0,42
Cl	0,58	1,00	0,99	0,64	0,02	0,93	-0,28	-0,10	-0,04	1,00	-0,31	0,36	0,01	0,09	-0,33	0,98	0,86	0,81	0,02	0,10
Cond	0,67	0,99	1,00	0,57	0,09	0,96	-0,28	-0,14	-0,10	0,99	-0,26	0,46	0,06	0,08	-0,39	0,99	0,90	0,81	0,09	0,18
DCO	-0,03	0,64	0,57	1,00	-0,28	0,50	-0,19	0,19	-0,18	0,64	-0,22	-0,16	-0,13	-0,18	-0,01	0,55	0,34	0,43	-0,28	0,18
HCO <sub>3</sub>	0,60	0,02	0,09	-0,28	1,00	0,21	-0,37	-0,30	-0,27	0,01	0,34	0,14	0,44	0,09	-0,40	0,13	0,00	-0,37	1,00	0,55
K	0,77	0,93	0,96	0,50	0,21	1,00	-0,40	-0,09	-0,24	0,92	-0,16	0,58	0,14	-0,05	-0,42	0,96	0,86	0,73	0,21	0,30
MES <sub>105</sub>	-0,49	-0,28	-0,28	-0,19	-0,37	-0,40	1,00	-0,48	-0,02	-0,25	0,24	-0,35	-0,13	0,15	0,00	-0,27	-0,13	0,10	-0,37	-0,15
Mg	-0,15	-0,10	-0,14	0,19	-0,30	-0,09	-0,48	1,00	-0,12	-0,11	0,03	0,02	-0,52	-0,28	0,72	-0,15	-0,12	-0,11	-0,30	0,08
Moac	-0,20	-0,04	-0,10	-0,18	-0,27	-0,24	-0,02	-0,12	1,00	-0,03	-0,47	-0,25	0,23	0,51	-0,16	-0,10	0,01	0,14	-0,27	-0,78
Na	0,57	1,00	0,99	0,64	0,01	0,92	-0,25	-0,11	-0,03	1,00	-0,34	0,36	0,00	0,12	-0,33	0,97	0,86	0,82	0,01	0,09
NH <sub>4</sub>	-0,06	-0,31	-0,26	-0,22	0,34	-0,16	0,24	0,03	-0,47	-0,34	1,00	-0,23	0,00	-0,08	0,13	-0,16	-0,17	-0,27	0,34	0,60
NO <sub>2</sub>	0,76	0,36	0,46	-0,16	0,14	0,58	-0,35	0,02	-0,25	0,36	-0,23	1,00	0,10	-0,10	-0,27	0,41	0,58	0,35	0,14	0,22
O <sub>2</sub> dis	0,37	0,01	0,06	-0,13	0,44	0,14	-0,13	-0,52	0,23	0,00	0,00	0,10	1,00	-0,05	-0,90	0,08	0,09	-0,01	0,44	0,08
Ph	-0,02	0,09	0,08	-0,18	0,09	-0,05	0,15	-0,28	0,51	0,12	-0,08	-0,10	-0,05	1,00	-0,10	0,07	0,16	0,17	0,09	-0,15
PO <sub>4</sub>	-0,53	-0,33	-0,39	-0,01	-0,40	-0,42	0,00	0,72	-0,16	-0,33	0,13	-0,27	-0,90	-0,10	1,00	-0,39	-0,40	-0,30	-0,40	-0,11
RS <sub>105</sub>	0,67	0,98	0,99	0,55	0,13	0,96	-0,27	-0,15	-0,10	0,97	-0,16	0,41	0,08	0,07	-0,39	1,00	0,89	0,79	0,13	0,20
SO <sub>4</sub>	0,71	0,86	0,90	0,34	0,00	0,86	-0,13	-0,12	0,01	0,86	-0,17	0,58	0,09	0,16	-0,40	0,89	1,00	0,85	0,00	0,16
T	0,34	0,81	0,81	0,43	-0,37	0,73	0,10	-0,11	0,14	0,82	-0,27	0,35	-0,01	0,17	-0,30	0,79	0,85	1,00	-0,37	-0,14
Alc	0,60	0,02	0,09	-0,28	1,00	0,21	-0,37	-0,30	-0,27	0,01	0,34	0,14	0,44	0,09	-0,40	0,13	0,00	-0,37	1,00	0,55
NO <sub>3</sub>	0,42	0,10	0,18	0,18	0,55	0,30	-0,15	0,08	-0,78	0,09	0,60	0,22	0,08	-0,15	-0,11	0,20	0,16	-0,14	0,55	1,00

**Tableau (III.4) : Valeurs propres, Variances expliquées et Variances cumulées.**

Axes	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>
Valeurs propres	7,89	3,95	2,75	1,71	1,23
Variances expliquées	39%	20%	14%	9%	6%
Variances cumulées	39%	59%	73%	82%	88%

-La somme des valeurs propres des composantes 1 à 5 est :  $17,53 = (7,89+3,95+2,75+1,71+1,23)$ .  
 -Le pourcentage d'inertie expliqué par la Ime composante dépend de la valeur propre Ci et du nombre de variable  $nv\% = Ci/nv$ .

**Tableau (III.5) : Pourcentage d'inertie.**

Composantes	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>
Pourcentage d'inertie expliqué	39,45	19,75	13,75	8,55	6,15
Pourcentage d'inertie cumulée	39,45	59,2	72,95	81,5	87,65

**Tableau (III.6) : Projection des variables actives.**

Paramètres	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>
Ca	0,78	0,50	0,01	-0,26	0,14
Cl	0,95	-0,23	0,04	0,05	-0,02
Cond	0,98	-0,14	0,04	0,06	0,02
DCO	0,48	-0,42	0,34	0,21	-0,47
HCO3	0,19	0,92	-0,03	-0,08	0,09
K	0,98	0,03	0,14	-0,01	-0,03
MES105	-0,33	-0,23	-0,29	0,78	0,15
Mg	-0,17	-0,30	0,71	-0,46	0,05
Moac	-0,11	-0,38	-0,74	-0,36	0,09
Na	0,95	-0,25	0,03	0,06	0,00
NH4	-0,24	0,49	0,35	0,54	0,21
NO2	0,56	0,19	0,10	-0,38	0,23
O2dis	0,20	0,54	-0,59	-0,03	-0,47
Ph	0,06	-0,08	-0,49	0,06	0,68
PO4	-0,50	-0,42	0,64	-0,14	0,32
Rs105	0,97	-0,10	0,05	0,11	0,03
SO4	0,91	-0,14	-0,05	0,07	0,22
T	0,77	-0,50	-0,14	0,20	0,10
Alc	0,19	0,92	-0,03	-0,08	0,09

C<sub>1</sub> : Première composante du vecteur régional ;  
 C<sub>2</sub> : deuxième composante du vecteur régional ;  
 C<sub>3</sub> : troisième composante du vecteur régional.  
 C<sub>4</sub> : quatrième composante du vecteur régional ;  
 C<sub>5</sub> : cinquième composante du vecteur régional.

Les paramètres : conductivité, k, Rs<sub>105</sub>, C<sub>1</sub>, et le Na ont les plus grandes valeurs de (C<sub>1</sub>=0,98, 0,98, 0,97, et 0,95) donc on peut les prendre comme des paramètres représentatifs de la pollution dans notre échantillon d'analyse.

Tableau (III.7) : Projection des observations.

Date de prélèvement	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>
05/08/2010	1,50	-1,23	-0,29	0,14	-0,20
16/09/2010	1,23	-1,33	0,20	0,88	-0,38
22/11/2010	0,32	1,47	0,32	0,24	0,69
15/12/2010	0,44	1,33	0,23	-0,12	-0,25
06/01/2011	-0,33	0,65	-0,35	-0,93	-0,72
09/02/2011	-0,75	0,21	0,30	0,69	-2,14
13/03/2011	-0,62	0,49	-0,14	1,77	0,29
25/10/2011	1,29	0,63	-0,03	-0,97	0,98
25/12/2011	-0,93	-0,94	2,04	-1,43	0,04
29/02/2012	-1,28	-0,72	0,03	0,77	1,78
18/03/2012	-0,86	-0,56	-2,31	-1,04	-0,08

On constate que la majorité des variables sont corrélées fortement, mais négativement avec la première composante C<sub>1</sub> pour les données des variations mensuelles de la pollution pour la période (2010,2011 et 2012).

**Ajustement du vecteur C<sub>1</sub> à une loi de probabilité:**

Le vecteur C<sub>1</sub> s'ajuste bien à la loi log normale comme l'indique la figure ci après :

Tableau (III.8) : Ajustement à la loi normale du vecteur régional (C<sub>1</sub>).

Taille=11 Moylogx=-0,0009 E.T.logx=1,001 UGauss=1,9604 I.C.à (en %)=95

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
1,5	-1,28	1	0,05	-1,69	-1,28	-1,69	-3,17	-0,93
1,23	-0,93	2	0,14	-1,10	-0,93	-1,10	-2,24	-0,42
0,32	-0,86	3	0,23	-0,75	-0,86	-0,75	-1,72	-0,10
0,44	-0,75	4	0,32	-0,47	-0,75	-0,47	-1,33	0,18
-0,33	-0,62	5	0,41	-0,23	-0,62	-0,23	-1,00	0,45
-0,75	-0,33	6	0,50	0,00	-0,33	0,00	-0,72	0,72
-0,62	0,32	7	0,59	0,23	0,32	0,23	-0,45	1,01
1,29	0,44	8	0,68	0,47	0,44	0,47	-0,18	1,33
-0,93	1,23	9	0,77	0,75	1,23	0,75	0,10	1,72
-1,28	1,29	10	0,86	1,10	1,29	1,10	0,42	2,24
-0,86	1,5	11	0,95	1,69	1,50	1,69	0,93	3,17

Fréquence	U.Gauss	Val.théo.	Borne inf.	Borne sup.	Valeur	Fréq. théo.	Pér. Ret.
0,8	0,841	0,843	0,187	1,856	0,843	0,800	5
0,9	1,282	1,284	0,588	2,523	1,284	0,900	10
0,95	1,645	1,648	0,897	3,096	1,648	0,950	20
0,98	2,054	2,057	1,228	3,757	2,057	0,980	50
0,99	2,327	2,330	1,443	4,204	2,330	0,990	100
0,999	3,091	3,095	2,027	5,473	3,095	0,999	1000

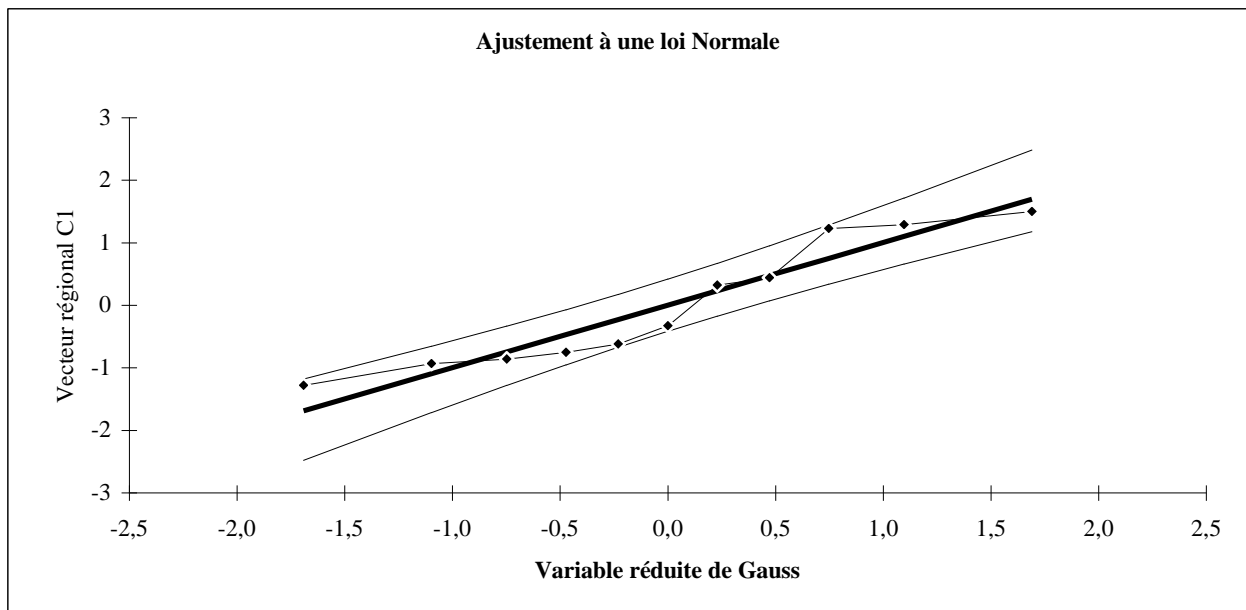


Figure (III.1) : Ajustement du vecteur régional  $C_1$  à l'échelle annuelle.

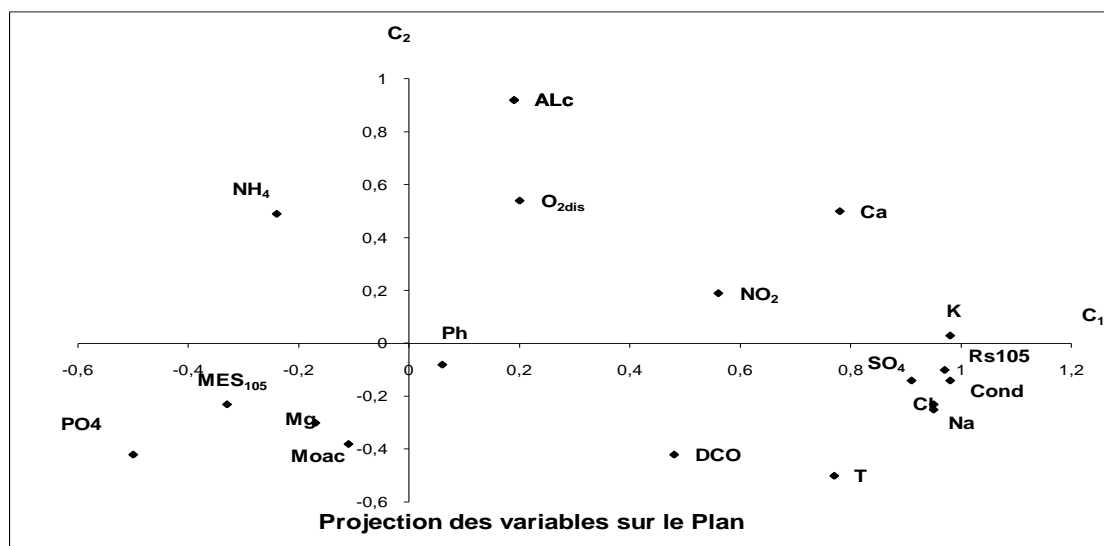


Figure (III.2) : Projection des variables sur le plan  $(C_1, C_2)$  -Oued Enndja-.

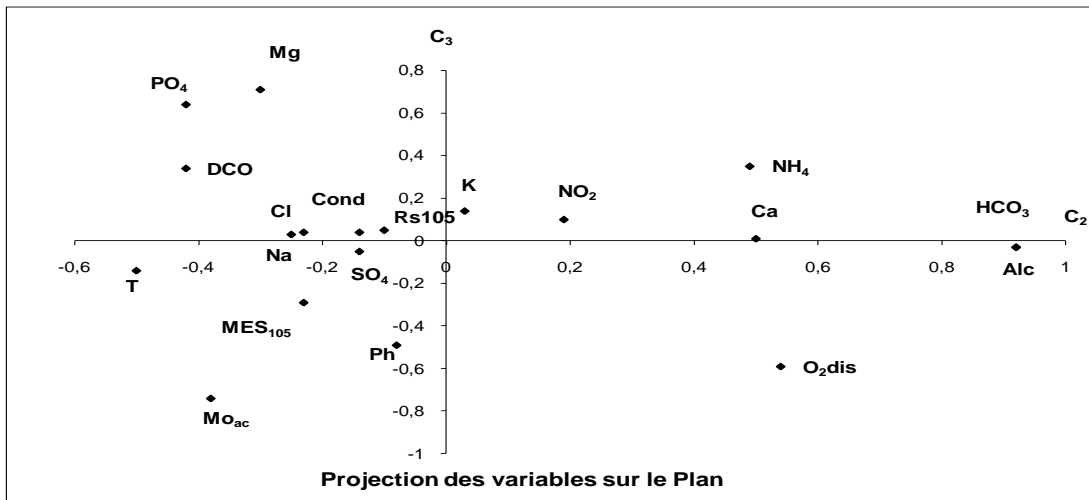


Figure (III.3) : Projection des variables sur le plan (C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>).)-Oued Enndja-.

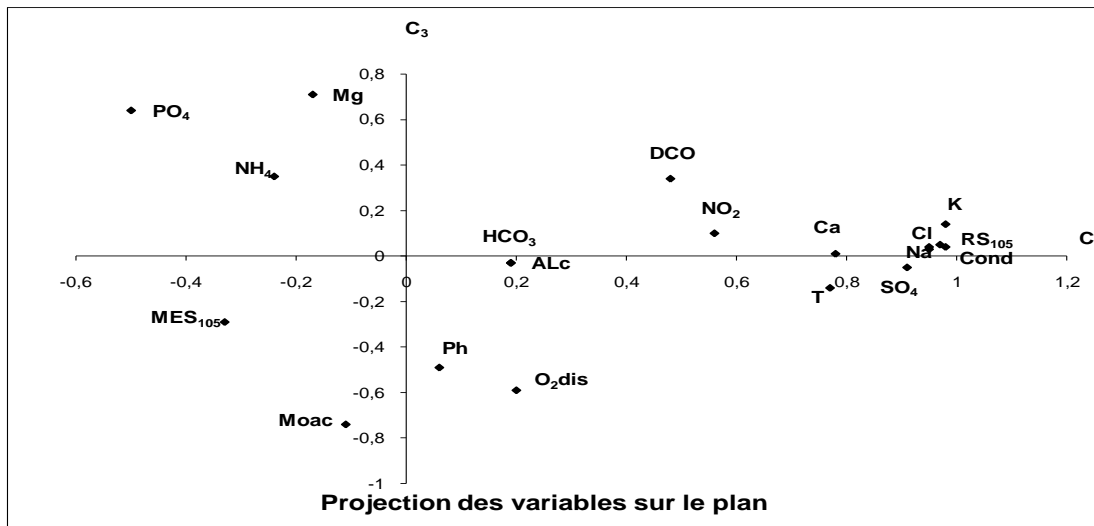


Figure (III.4) : Projection des variables sur le plan (C<sub>1</sub>, C<sub>3</sub>)-Oued Enndja-.

Pour le troisième graphe représentant la projection des variables sur le plan (C<sub>1</sub>, C<sub>3</sub>) on remarque le regroupement des paramètres Na, Cl, Cond, RS<sub>105</sub>, SO<sub>4</sub>, et K.

**Interprétation :**

D'après le graphe mentionné ci-dessus, on peut constater deux groupes :

\***Le premier** : se compose des paramètres : Cl, Na, Cond, SO<sub>4</sub>, RS<sub>105</sub>, K, et le deuxième : se compose des paramètres : MES<sub>105</sub>, Mg, Mo<sub>ac</sub>.

Pour la deuxième forme de projection des variables sur le plan C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub> on remarque le regroupement des paramètres suivants : Na, Cl, Cond, RS<sub>105</sub>, SO<sub>4</sub>, MES<sub>105</sub>, K qui est presque le même rassemblement des paramètres observé dans la première projection sur le plan C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>

**Partie II : Pollution de la cour d'eau Chapitre III : Résultats et discussion**

➤ **Station de Béni Haroun**

*Tableau (III.9) : Paramètres de pollution –station Béni Haroun-*

Date	O <sub>2</sub> dis	Turb	Cond	DBO <sub>5</sub>	DCO	HCO <sub>3</sub>	K	MES <sub>105</sub>	Mg	Mo <sub>ac</sub>	NH <sub>4</sub>	NO <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub>	Ph	PO <sub>4</sub>	RS <sub>105</sub>	SO <sub>4</sub>	T	Cl	Na	Ca
03/07/2007	6,5	23,8	1118	6	20	189,1	7	180	36	11,4	0,07	0,2	3	7,8	0,3	822	266	28	160	98,9	111,3
04/09/2007	7,6	0,3	1210	0,8	32	140,3	5	80	33	11,3	0,02	0,2	4	7,9	0,3	844	228	27	155	106,6	96,3
02/10/2007	6,2	5,8	1230	1,8	33	140,3	9	14	18	7,1	0,02	0,14	10	7,5	0,3	762	210	20	180	114,9	108,6
06/11/2007	6	8,4	1230	5,2	34	170,8	5	80	36	5,2	0	0	9	7,6	0,6	778	268	12	150	66,7	101,5
13/01/2008	8,4	21,2	1210	5	28	183	3	80	25	8	0	0,4	9	7,7	0,6	764	180	15	170	108,9	121,3
05/02/2008	9,4	8,2	1170	2,3	25	207,4	0	60	26	8,5	0	0,19	11,1	7,6	0,04	752	258	15	145	101,8	107,5
09/03/2008	6,5	1,3	1210	5,1	20	183	1	80	22	8,1	0,05	0,15	13	7,7	0,3	754	190	16	165	105,7	118,4
06/04/2008	10	1,4	1110	5,1	29	170,8	1	28	31	7,7	0,07	0,15	10	7	0,4	694	180	23	100	91,5	96,2
06/05/2008	15	1,5	1060	4,7	35	164,7	4	16	28	7,7	0,03	0,4	11	7,8	0,6	736	182	24	145	94	94
09/06/2008	8,4	3,9	1200	1,9	26	225,7	1	48	34	9,2	0,35	0,83	7	7,9	0	798	216	27	110,2	99,9	110,2
15/07/2008	7,9	12,7	1160	3,2	52	158,6	1	172	30	6,4	0,03	0,49	4,9	8,2	0,25	740	236	30	155	107,8	83,6
10/08/2008	8,5	24	1140	2,4	42	134,2	1	82	34	6,7	0,08	0,4	0	7,8	0	878	462	24	165	115,5	80,3
13/09/2008	8,6	8,1	1300	0,8	23	128,1	1	32	42	3,9	0,03	0,02	4	7,9	0,2	736	192	22	70	66,2	152,3
12/10/2008	9,6	3,3	1130	2,3	42	146,4	1	30	33	8,2	0	0,2	8	7,7	0,2	736	228	18	165	109,8	77
09/11/2008	7,5	4,2	1160	5,2	37	176,9	1	56	32	6,3	0,1	0,08	5	7,9	0,3	764	220	15	140	101,8	91,1
13/12/2008	6,8	1,9	1210	2,8	46	189,1	1	28	32	7	0	0,15	7	7,4	0,4	764	206	12	155	111,1	89,6
21/01/2009	6,2	4	1160	2	49	170,6	1	38	27	7,4	0,02	0,09	8	7,6	0,2	772	210	11	160	106,2	97,5
08/02/2009	8,1	3	1110	4,9	30	183	1	22	30	6,3	0,05	0,08	22	7,9	0,1	734	202	16	140	81,6	111,8
02/03/2009	8,6	6,9	1070	2,8	35	176,9	1	16	27	0,1	0,1	0,3	9	5,4	7,7	680	734	15	115	73,5	104,1
03/05/2009	10,4	3,2	1060	0,2	37	183	183	4	26	28	0,2	0,15	0,16	5	7,9	736	684	28	105	52,4	111
05/10/2009	9,6	1	1170	7,9	7	152,5	7	54	28	7,8	0	0,2	7,1	7,4	0	752	242	20	180	115	102,3
12/11/2009	7	1	1150	6,4	38	170,8	6	50	33	12,4	0	0,07	8	7,5	0,2	818	260	12	140	95	97,9
01/12/2009	7,1	0,8	1130	4,9	38	183	5	58	29	7,1	0,05	0	8,3	7,5	0	768	212	15	130	79	106,7
03/01/2010	6,9	1,1	1110	6,9	41	201,3	6	60	29	7,4	0	0	9,3	7,6	0,2	762	240	13	125	82	100,7
01/02/2010	6,9	0,5	1130	7,4	40	183	6	52	30	7	0	18,3	7,2	7,5	0,25	710	188	15	125	78	112
01/03/2010	9,6	1,1	1060	6,5	52	201,3	4	50	27	7,5	0	0,05	9	7,5	0,2	746	184	17	130	100	103,2
04/04/2010	10,5	1,8	1020	2	50	176,9	5	50	29	8,4	0,1	0,2	6,2	7,7	0,1	656	174	17	135	75	97,3
02/05/2010	13	3,6	1000	7	40	146	6	50	28	9,5	0	1,2	9,2	7,4	0,3	780	208	24	120	67	96,2
01/06/2010	16,21	1,4	1050	13	75	152,5	5	60	32	8,8	0	0,6	10,5	7,8	0,1	726	248	25	150	96	74
12/07/2010	7,3	2,5	1060	4	35	152,5	5	42	28	7,9	0,01	0,32	3	7,7	0	726	182	27	105	60	121,5

## Partie II : Pollution de la cour d'eau Chapitre III : Résultats et discussion

*Tableau (III.9) : Paramètres de pollution –station Béni Haroun-Suite-*

Date	O <sub>2</sub> dis	Turb	Cond	DBO <sub>5</sub>	DCO	HCO <sub>3</sub>	K	MES <sub>105</sub>	Mg	Mo <sub>ac</sub>	NH <sub>4</sub>	NO <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub>	Ph	PO <sub>4</sub>	Rs <sub>105</sub>	SO <sub>4</sub>	T	Cl	Na	Ca
02/08/2010	8,4	6,2	1100	3	53	152,5	6	30	32	9,4	0,05	0,25	11	7,9	0,1	708	234	26	180	95	89,7
13/09/2010	9,2	2,4	1130	6	50	140,3	6	34	36	7,2	0,02	0,13	2	7,3	0,1	104,8	220	2,7	145	88	91,3
06/10/2010	9,5	1,4	1,1	10	105,6	110	0	32	32	15	0,01	0,09	4,2	7,5	0,1	712	210	17	155	95	84,4
02/11/2010	8	1,4	1080	4	62	164,7	4	28	32	7,4	0,03	0,01	8	7,5	0,3	814	224	16	170	110	87
19/12/2010	7,9	2	1170	6	4,4	183	5	36	33	9,5	0	0,06	8	7,3	0,3	766	196	9	165	79	96
03/01/2011	7	1,7	1150	1	62	189,1	4	32	32	7,5	0,03	0,11	8	7,8	0,3	800	248	12	155	82	105,9
01/02/2011	7,6	4,5	1210	1	44	189,1	6	34	31	9,5	0	0,01	12	7,6	0,2	646	196	10	145	78	111
02/03/2011	8,5	2,8	1040	1	70	176,9	6	28	31	6,4	0	0	6	7,2	0,2	678	206	22	125	100	101,6
04/04/2011	12	3,6	940	15	53	140,3	4	26	23	9,3	0	0,13	6	7,3	25	686	234	20	130	75	82,7
09/05/2011	9,8	2	960	5	62	134,2	4	22	30	13,8	0	0,87	4	7,9	0	758	428	26	115	67	92,4
01/06/2011	10	1,3	1200	8	44	103,7	3	20	48	5,9	0,2	0	3	7,5	0,1	662	222	30	80	96	134,4
12/07/2011	11,2	0,9	1050	8	35,2	134,2	4	24	30	0,92	0,2	0,25	2	7,7	0,05	716	234	27	135	60	98,9
10/08/2011	8	5,5	1120	2	44	134,2	5	20	32	9,4	0	0,22	7	7,9	0,1	708	238	28	160	95	93,8
06/09/2011	7,5	5,6	1090	4	53	122	7	28	30	8,7	0,05	0,2	1	7,9	0	762	248	22	145	88	98,5
04/10/2011	9	1,9	1150	2	44	134,2	5	24	32	5,4	0	0,01	2	7,9	0,1	766	238	16	150	95	94,3
15/02/2012	7	0,9	1170	5	70	158,6	5	12	31	8,9	0	0,1	5	7,2	0,14	706	230	5,5	140	100	104,3

On a procédé à une analyse en composantes principales sur 21 variables (paramètres de pollution) et leurs 46 observations (dates de prélèvement). Les résultats obtenus par l'analyse en composantes principales sont résumés dans les tableaux (III.8, III.9, III.10, III.11, III.12, III.13).

*Tableau (III.10) : Moyenne, Ecart type des variables initiales.*

Paramètres	O <sub>2</sub> dis	Turb	Cond	DBO <sub>5</sub>	DCO	HCO <sub>3</sub>	K	MES <sub>105</sub>	Mg	Mo <sub>ac</sub>	NH <sub>4</sub>	NO <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub>	Ph	PO <sub>4</sub>	Rs <sub>105</sub>	SO <sub>4</sub>	T	Cl	Na	Ca
Moyenne des observations actives	8,72	4,48	1101,94	4,60	42,33	163,23	7,76	45,70	30,65	8,32	0,04	0,61	7,00	7,53	1,07	732,19	249,91	18,96	140,98	90,54	100,90
Ecart type des observations actives	2,15	5,58	181,59	3,10	17,78	26,61	26,51	34,50	4,77	3,95	0,07	2,68	3,95	0,56	3,94	106,08	112,27	6,78	24,91	16,59	14,41

## Partie II : Pollution de la cour d'eau Chapitre III : Résultats et discussion

**Tableau (III.11) : Matrice des coefficients de corrélation entre les variables.**

Paramètres	O <sub>2</sub> dis	Turb	Cond	DBO <sub>5</sub>	DCO	HCO <sub>3</sub>	K	MES <sub>105</sub>	Mg	Mo <sub>ac</sub>	NH <sub>4</sub>	NO <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub>	Ph	PO <sub>4</sub>	RS <sub>105</sub>	SO <sub>4</sub>	T	Cl	Na	Ca
O <sub>2</sub> dis	1,00	-0,18	-0,28	0,44	0,19	-0,25	0,11	-0,22	-0,02	0,10	0,09	-0,09	0,01	-0,09	0,24	-0,16	0,06	0,36	-0,20	-0,18	-0,30
Turb	-0,18	1,00	0,16	-0,16	-0,21	0,04	-0,04	0,61	0,06	-0,05	0,03	-0,09	-0,18	0,12	-0,01	0,21	0,21	0,20	0,24	0,24	0,07
Cond	-0,28	0,16	1,00	-0,39	-0,64	0,32	-0,02	0,13	0,08	-0,31	0,07	0,02	0,13	0,09	-0,14	0,07	-0,05	-0,07	-0,01	0,12	0,34
DBO <sub>5</sub>	0,44	-0,16	-0,39	1,00	0,19	-0,22	-0,20	0,07	-0,03	-0,05	-0,13	0,15	0,05	0,07	0,38	-0,13	-0,19	-0,01	-0,03	-0,10	-0,25
DCO	0,19	-0,21	-0,64	0,19	1,00	-0,33	-0,05	-0,21	0,06	0,15	-0,19	-0,02	-0,18	0,05	0,05	-0,16	0,00	-0,05	0,02	0,04	-0,43
HCO <sub>3</sub>	-0,25	0,04	0,32	-0,22	-0,33	1,00	0,10	0,22	-0,29	0,05	0,12	0,11	0,46	-0,16	-0,06	0,17	0,00	-0,32	0,03	0,03	0,13
K	0,11	-0,04	-0,02	-0,20	-0,05	0,10	1,00	-0,18	-0,16	0,76	0,31	-0,01	-0,27	-0,68	0,26	-0,01	0,57	0,20	-0,20	-0,36	0,11
MES <sub>105</sub>	-0,22	0,61	0,13	0,07	-0,21	0,22	-0,18	1,00	0,07	-0,05	-0,06	0,04	-0,08	0,35	-0,16	0,23	-0,12	0,20	0,25	0,27	-0,04
Mg	-0,02	0,06	0,08	-0,03	0,06	-0,29	-0,16	0,07	1,00	-0,14	0,23	-0,03	-0,32	0,22	-0,30	-0,13	-0,09	0,12	-0,35	-0,05	0,19
Mo <sub>ac</sub>	0,10	-0,05	-0,31	-0,05	0,15	0,05	0,76	-0,05	-0,14	1,00	0,08	-0,04	-0,20	-0,35	0,16	0,09	0,30	0,19	-0,01	-0,15	-0,09
NH <sub>4</sub>	0,09	0,03	0,07	-0,13	-0,19	0,12	0,31	-0,06	0,23	0,08	1,00	-0,07	-0,24	-0,22	0,04	0,03	0,28	0,41	-0,39	-0,15	0,23
NO <sub>2</sub>	-0,09	-0,09	0,02	0,15	-0,02	0,11	-0,01	0,04	-0,03	-0,04	-0,07	1,00	0,01	0,00	-0,04	-0,02	-0,07	-0,05	-0,11	-0,12	0,10
NO <sub>3</sub>	0,01	-0,18	0,13	0,05	-0,18	0,46	-0,27	-0,08	-0,32	-0,20	-0,24	0,01	1,00	0,11	-0,08	0,10	-0,27	-0,27	0,21	0,11	0,05
Ph	-0,09	0,12	0,09	0,07	0,05	-0,16	-0,68	0,35	0,22	-0,35	-0,22	0,00	0,11	1,00	-0,42	0,17	-0,73	0,10	0,29	0,34	-0,09
PO <sub>4</sub>	0,24	-0,01	-0,14	0,38	0,05	-0,06	0,26	-0,16	-0,30	0,16	0,04	-0,04	-0,08	-0,42	1,00	-0,07	0,32	0,05	-0,16	-0,27	-0,14
RS <sub>105</sub>	-0,16	0,21	0,07	-0,13	-0,16	0,17	-0,01	0,23	-0,13	0,09	0,03	-0,02	0,10	0,17	-0,07	1,00	0,06	0,32	0,14	0,17	0,02
SO <sub>4</sub>	0,06	0,21	-0,05	-0,19	0,00	0,00	0,57	-0,12	-0,09	0,30	0,28	-0,07	-0,27	-0,73	0,32	0,06	1,00	0,15	-0,18	-0,28	-0,07
T	0,36	0,20	-0,07	-0,01	-0,05	-0,32	0,20	0,20	0,12	0,19	0,41	-0,05	-0,27	0,10	0,05	0,32	0,15	1,00	-0,25	-0,07	0,04
Cl	-0,20	0,24	-0,01	-0,03	0,02	0,03	-0,20	0,25	-0,35	-0,01	-0,39	-0,11	0,21	0,29	-0,16	0,14	-0,18	-0,25	1,00	0,60	-0,51
Na	-0,18	0,24	0,12	-0,10	0,04	0,03	-0,36	0,27	-0,05	-0,15	-0,15	-0,12	0,11	0,34	-0,27	0,17	-0,28	-0,07	0,60	1,00	-0,28
Ca	-0,30	0,07	0,34	-0,25	-0,43	0,13	0,11	-0,04	0,19	-0,09	0,23	0,10	0,05	-0,09	-0,14	0,02	-0,07	0,04	-0,51	-0,28	1,00

Seules les quatre premières composantes sont calculées, ou la Ci = nombre des variables, alors Ci=21.

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

**Tableau (III.12) : Valeurs propres, Variances expliquées et Variances cumulées.**

Axes	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>
Valeurs propres	3,80	2,94	2,26	2,21	1,52
Variances expliquées	18%	14%	11%	11%	7%
Variances cumulées	18%	32%	43%	53%	61%

## Partie II : Pollution de la cour d'eau Chapitre III : Résultats et discussion

-La somme des valeurs propres des composantes 1 à 5 est :  $8,36 = (4,18+2,29+1,89)$

-Le pourcentage d'inertie expliqué par la  $i$ me composante dépend de la valeur propre  $C_i$  et du nombre de variable  $n_v\% = C_i/n_v$ .

**Tableau (III.13) : Pourcentage d'inertie.**

composantes	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>
Pourcentage d'inertie expliqué	18,09	14	10,76	10,52	7,23
Pourcentage d'inertie cumulée	18,09	32,09	42,85	53,37	60,6

**Tableau (III.14) : projection des variables actives.**

Paramètres	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>
O <sub>2</sub> dis	0,37	-0,48	0,16	-0,04	0,44
Turb	-0,22	0,36	0,35	0,53	0,11
Cond	-0,29	0,68	-0,08	-0,18	0,07
DBO <sub>5</sub>	0,06	-0,62	0,04	-0,09	0,56
DCO	0,15	-0,71	0,09	0,09	-0,36
HCO <sub>3</sub>	-0,15	0,50	-0,56	0,06	0,20
K	0,78	0,29	-0,14	0,30	-0,14
MES <sub>105</sub>	-0,43	0,25	0,32	0,45	0,28
Mg	-0,03	0,07	0,66	-0,38	-0,27
Mo <sub>ac</sub>	0,55	0,00	-0,09	0,45	-0,16
NH <sub>4</sub>	0,41	0,40	0,35	-0,08	0,10
NO <sub>2</sub>	-0,02	0,02	-0,10	-0,21	0,20
NO <sub>3</sub>	-0,37	0,02	-0,59	-0,15	0,34
Ph	-0,76	-0,19	0,39	-0,09	0,09
PO <sub>4</sub>	0,50	-0,19	-0,22	0,14	0,43
RS <sub>105</sub>	-0,17	0,28	0,11	0,42	0,26
SO <sub>4</sub>	0,67	0,25	-0,06	0,36	-0,11
T	0,27	0,10	0,67	0,24	0,36
Cl	-0,55	-0,20	-0,27	0,60	-0,16
Na	-0,61	-0,07	0,03	0,41	-0,18
Ca	0,08	0,63	0,10	-0,50	0,05

C<sub>1</sub> : Première composante du vecteur régional ;

C<sub>2</sub> : deuxième composante du vecteur régional ;

C<sub>3</sub> : troisième composante du vecteur régional ;

C<sub>4</sub> : quatrième composante du vecteur régional ;

C<sub>5</sub> : cinquième composante du vecteur régional .

Les paramètres : k, Ph, SO<sub>4</sub>, Na, RS<sub>105</sub>, cond, et cl ont les grandes valeurs de C<sub>1</sub> qui sont respectivement : 0,78, 0,76, 0,67, 0,61, donc on peut les prendre comme les paramètres représentatifs de notre échantillon.

*Tableau (III.15) : Projection des observations.*

Date de prélèvement	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>
03/07/2007	-0,81	1,59	1,84	2,06	1,08
04/09/2007	-0,45	0,38	0,89	0,78	-0,52
02/10/2007	-0,73	0,37	-1,09	0,78	-0,42
06/11/2007	-0,54	0,64	-0,12	-0,24	-0,02
13/01/2008	-1,12	0,92	-0,33	1,09	0,77
05/02/2008	-0,63	0,78	-1,02	0,38	0,52
09/03/2008	-0,97	0,80	-1,23	0,21	0,77
06/04/2008	0,34	0,08	-0,09	-0,84	0,68
06/05/2008	0,02	-0,78	-0,15	-0,21	1,25
09/06/2008	0,19	1,79	0,93	-0,48	0,81
15/07/2008	-1,08	0,17	1,48	1,78	0,53
10/08/2008	-0,43	0,49	1,90	2,38	-0,49
13/09/2008	0,23	1,54	1,96	-2,54	-0,14
12/10/2008	-0,55	-0,61	-0,05	0,52	-0,74
09/11/2008	-0,51	0,19	0,20	0,04	-0,13
13/12/2008	-0,69	0,07	-0,83	0,13	-1,01
21/01/2009	-0,74	0,13	-0,88	0,35	-0,98
08/02/2009	-0,64	0,35	-1,29	-1,00	1,00
02/03/2009	1,78	0,91	-1,34	-0,13	0,29
03/05/2009	5,20	1,95	-0,94	2,00	-0,91
05/10/2009	-0,58	-0,02	-0,37	0,54	0,66
12/11/2009	-0,20	0,05	-0,51	0,11	-0,34
01/12/2009	-0,16	0,41	-0,51	-0,51	0,16
03/01/2010	-0,28	0,17	-0,90	-0,38	0,34
01/02/2010	-0,17	0,19	-0,80	-1,51	1,08
01/03/2010	-0,28	-0,29	-0,77	-0,16	0,51
04/04/2010	0,19	-0,19	-0,04	-0,44	-0,15
02/05/2010	0,51	-0,72	0,20	-0,26	1,44
01/06/2010	0,11	-2,26	0,45	0,42	1,68
12/07/2010	0,42	0,41	0,67	-1,00	0,24
02/08/2010	-0,41	-0,37	0,14	0,61	-0,39
13/09/2010	0,23	-1,22	-0,31	-1,61	-2,25
06/10/2010	0,77	-3,56	0,72	0,94	-1,42
02/11/2010	-0,51	-0,59	-0,38	0,52	-0,86
19/12/2010	-0,37	0,40	-1,02	-0,25	0,10
03/01/2011	-0,36	0,26	-0,63	-0,24	-1,03
01/02/2011	-0,36	0,50	-1,13	-0,68	-0,71
02/03/2011	0,07	-0,25	-0,05	-0,27	-1,02
04/04/2011	1,46	-2,29	-0,80	0,44	3,20
09/05/2011	1,03	-0,82	0,73	0,13	-0,32
01/06/2011	0,86	0,27	2,98	-2,33	-0,06
12/07/2011	0,66	-0,39	1,32	-1,05	1,05
10/08/2011	-0,23	-0,26	0,56	0,34	-0,70
06/09/2011	0,09	-0,34	0,96	0,21	-0,89
04/10/2011	-0,29	-0,35	0,43	-0,14	-1,05
15/02/2012	-0,06	-0,48	-0,78	-0,49	-1,63

On constate que les variables sont corrélées fortement avec la première composante C<sub>1</sub> et négativement durant la période d'étude du 2007 au 2012.

## Partie II : Pollution de la cour d'eau    Chapitre III : Résultats et discussion

- **Ajustement du vecteur  $C_1$  à une loi de probabilité:**

Le vecteur  $C_1$  s'ajuste bien à la loi log normale comme l'indique la figure ci après :

**Tableau (III.16) : Ajustement à la loi normale du vecteur régional ( $C_1$ ).**

Taille=46 Moyenne=0,00021Ecart-type=1,001UGauss=1,9604 I .C.à (en %)=95

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur Théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
-0,81	-1,12	1	0,011	-2,295	-1,12	-2,30	-2,97	-1,82
-0,45	-1,08	2	0,033	-1,844	-1,08	-1,85	-2,42	-1,43
-0,73	-0,97	3	0,054	-1,604	-0,97	-1,61	-2,13	-1,22
-0,54	-0,81	4	0,076	-1,432	-0,81	-1,43	-1,93	-1,07
-1,12	-0,74	5	0,098	-1,294	-0,74	-1,30	-1,76	-0,94
-0,63	-0,73	6	0,120	-1,177	-0,73	-1,18	-1,62	-0,84
-0,97	-0,69	7	0,141	-1,075	-0,69	-1,08	-1,50	-0,74
0,34	-0,64	8	0,163	-0,982	-0,64	-0,98	-1,39	-0,66
0,02	-0,63	9	0,185	-0,897	-0,63	-0,90	-1,29	-0,58
0,19	-0,58	10	0,207	-0,818	-0,58	-0,82	-1,20	-0,51
-1,08	-0,55	11	0,228	-0,744	-0,55	-0,74	-1,12	-0,44
-0,43	-0,54	12	0,250	-0,674	-0,54	-0,67	-1,04	-0,37
0,23	-0,51	13	0,272	-0,607	-0,51	-0,61	-0,96	-0,31
-0,55	-0,51	14	0,293	-0,543	-0,51	-0,54	-0,89	-0,24
-0,51	-0,45	15	0,315	-0,481	-0,45	-0,48	-0,82	-0,18
-0,69	-0,43	16	0,337	-0,420	-0,43	-0,42	-0,75	-0,12
-0,74	-0,41	17	0,359	-0,362	-0,41	-0,36	-0,69	-0,07
-0,64	-0,37	18	0,380	-0,304	-0,37	-0,30	-0,63	-0,01
1,78	-0,36	19	0,402	-0,247	-0,36	-0,25	-0,56	0,05
5,20	-0,36	20	0,424	-0,192	-0,36	-0,19	-0,50	0,10
-0,58	-0,29	21	0,446	-0,136	-0,29	-0,14	-0,45	0,16
-0,20	-0,28	22	0,467	-0,082	-0,28	-0,08	-0,39	0,22
-0,16	-0,28	23	0,489	-0,027	-0,28	-0,03	-0,33	0,27
-0,28	-0,23	24	0,511	0,027	-0,23	0,03	-0,27	0,33
-0,17	-0,2	25	0,533	0,082	-0,2	0,08	-0,22	0,39
-0,28	-0,17	26	0,554	0,136	-0,17	0,14	-0,16	0,45
0,19	-0,16	27	0,576	0,192	-0,16	0,19	-0,10	0,51
0,51	-0,06	28	0,598	0,247	-0,06	0,25	-0,05	0,57
0,11	0,02	29	0,620	0,304	0,02	0,30	0,01	0,63
0,42	0,07	30	0,641	0,362	0,07	0,36	0,07	0,69
-0,41	0,09	31	0,663	0,420	0,09	0,42	0,12	0,75
0,23	0,11	32	0,685	0,481	0,11	0,48	0,18	0,82
0,77	0,19	33	0,707	0,543	0,19	0,54	0,24	0,89
-0,51	0,19	34	0,728	0,607	0,19	0,61	0,31	0,96
-0,37	0,23	35	0,750	0,674	0,23	0,68	0,37	1,04
-0,36	0,23	36	0,772	0,744	0,23	0,75	0,44	1,12
-0,36	0,34	37	0,793	0,818	0,34	0,82	0,51	1,20
0,07	0,42	38	0,815	0,897	0,42	0,90	0,58	1,30
1,46	0,51	39	0,837	0,982	0,51	0,98	0,66	1,39
1,03	0,66	40	0,859	1,075	0,66	1,08	0,74	1,50
0,86	0,77	41	0,880	1,177	0,77	1,18	0,84	1,62
0,66	0,86	42	0,902	1,294	0,86	1,30	0,94	1,76
-0,23	1,03	43	0,924	1,432	1,03	1,43	1,07	1,93
0,09	1,46	44	0,946	1,604	1,46	1,61	1,22	2,13
-0,29	1,78	45	0,967	1,844	1,78	1,85	1,43	2,42
-0,06	5,2	46	0,989	2,295	5,2	2,30	1,82	2,97

Fréquence	U.Gauss	Val.théo.	Borne inf.	Borne sup.	Valeur	Fréq. théo.	Pér. Ret.
0,8	0,841	0,843	0,528	1,231	0,843	0,800	5
0,9	1,282	1,283	0,932	1,747	1,283	0,900	10
0,95	1,645	1,647	1,256	2,182	1,647	0,950	20
0,98	2,054	2,057	1,614	2,679	2,057	0,980	50
0,99	2,327	2,330	1,850	3,013	2,330	0,990	100
0,998	3,091	3,094	2,503	3,955	3,094	0,999	1000

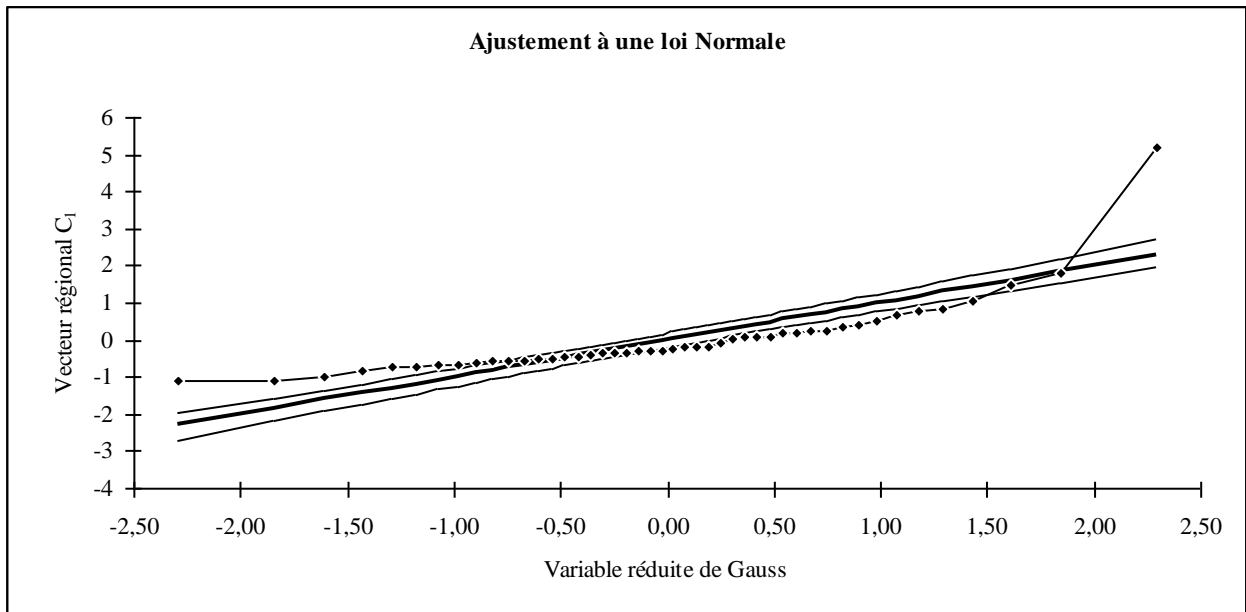


Figure (III.5) : Ajustement du vecteur régional  $C_1$  à l'échelle annuelle.

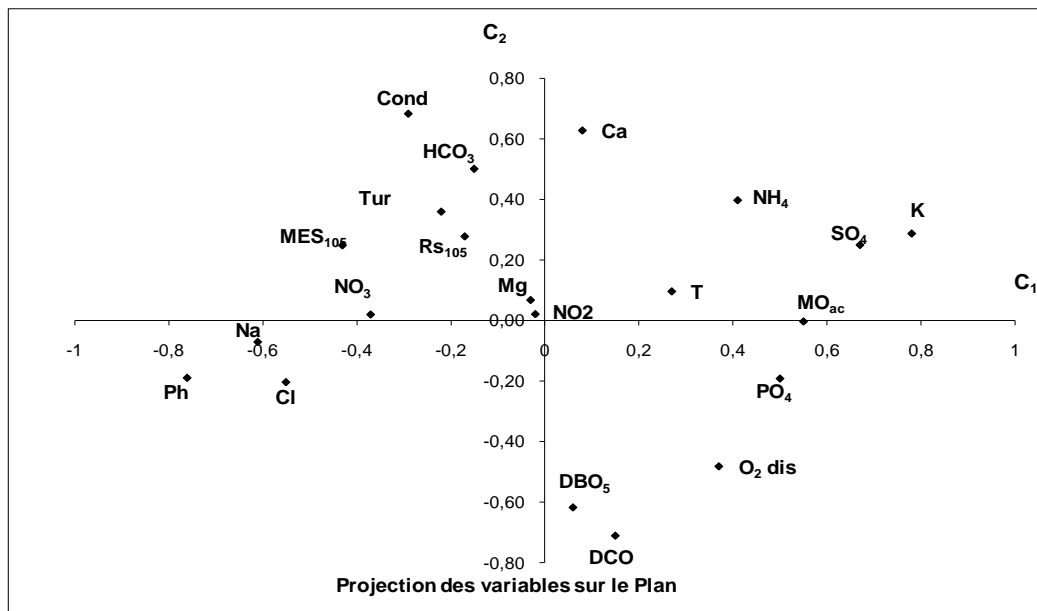


Figure (III.6) : Projection des variables sur le plan  $(C_1, C_2)$ -Béni Haroun-.

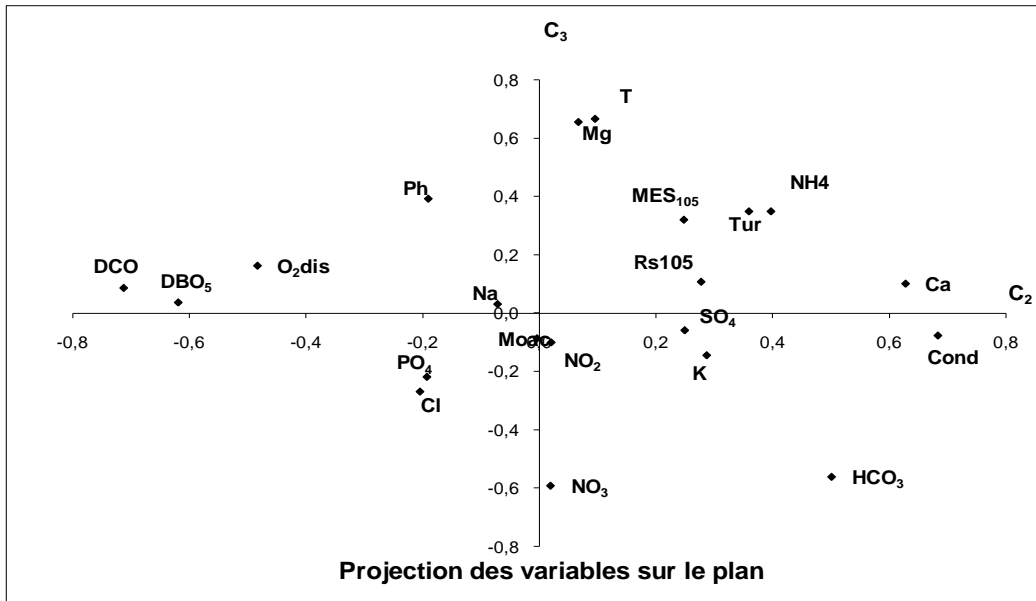


Figure (III.7) : Projection des variables sur le plan (C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>)-Béni Haroun-.

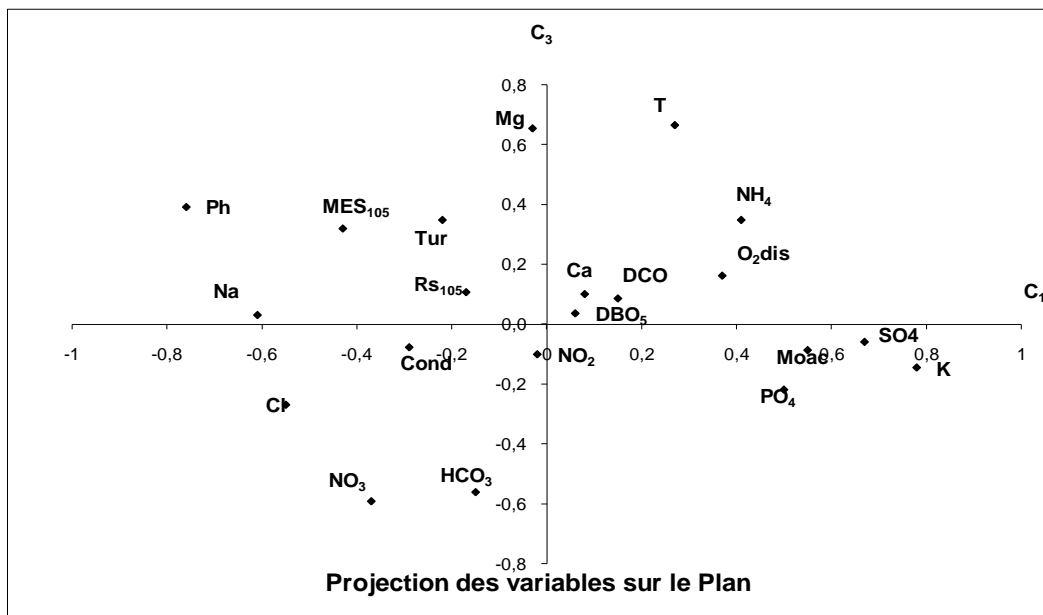


Figure (III.8) : Projection des variables sur le plan (C<sub>1</sub>, C<sub>3</sub>)-Béni Haroun-.

D'après les trois graphes(III.5) (III.6) et (III.7) on peut remarquer le rassemblement des paramètres dan trois groupes essentiels qui sont :

- 1-1<sup>ier</sup> groupes :Cond, HCO<sub>3</sub>, Tur, MES<sub>105</sub>, NO<sub>3</sub> et le Rs<sub>105</sub>
- 2-2<sup>ème</sup> groupe : Mes<sub>105</sub>, Tur, RS<sub>105</sub>
- 3-3<sup>ème</sup> groupe: NH<sub>4</sub>, SO<sub>4</sub>, K

***Interprétation :***

**\* deuxième groupe :** Ca, NO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub>, Mo<sub>ac</sub>, MES<sub>105</sub>

**\* premier groupe :** DCO, DBO<sub>5</sub>, NO<sub>2</sub>, PO<sub>4</sub> : Associés aux phosphates, les nitrates favorisent la croissance parfois exagérée de la flore aquatique, pouvant ainsi entraîner une eutrophisation des fleuves et des lacs.

Nitrates, nitrites et phosphates sont les éléments nourriciers des algues perturbant indirectement la présence d'oxygène qui est consommée par ces derniers. Les nitrites par leur forme réduite sont plus dangereux que les nitrates.

## Partie II : Pollution de la cour d'eau Chapitre III : Résultats et discussion

### ➤ Station Menia

*Tableau (III.17) : Paramètres de pollution –Menia-*

Date	O <sub>2</sub> dis	DBO <sub>5</sub>	Ca	Tur	Cl	Cond	DCO	HCO <sub>3</sub>	K	MES <sub>105</sub>	Mg	Mo <sub>ac</sub>	Na	NH <sub>4</sub>	NO <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub>	pH	PO <sub>4</sub>	Rs <sub>105</sub>	SO <sub>4</sub>	T
07/03/2000	50	22,9	174	18,4	205	2000	110	506	11	220	35	17,9	196	10	1,179	6	8	8,8	1400	282	14
06/05/2000	14,1	50,4	164	3,9	231	1900	130,6	549	17	60	46	17,4	160	40	0,265	4	7,7	14	1200	210	27
11/06/2000	64	15,4	192	18,4	305	2200	102	476	18	60	34	18,1	190	22,8	2,79	30	7,5	7,36	1444	280	22
23/09/2000	40,4	10	168	6,3	200	1800	75	439	19	140	58	18,4	98	8	0,679	13	7,8	12	1206	256	25
04/12/2000	50,9	6,2	150	2,8	200	1900	65	390	15	80	76	18,8	116	2	0,796	9	8,3	7,6	1210	354	13
16/01/2001	73,4	10,5	188	5,7	180	1800	84	342	7	60	50	13	104	1,8	1,412	12	8,2	5,5	1140	368	10
10/02/2001	75,2	13	178	2,8	180	1900	47	366	6	240	77	13,7	98	2	1,088	35	7,9	2,8	1204	430	10
11/03/2001	51,9	6,4	150	2,3	175	1900	90	512	10	80	68	17,6	135	2,2	1,138	9	8	4,4	1340	378	18
12/05/2001	63,8	13,1	64	23,8	205	2000	154	494	15	120	89	17,5	174	12,8	5,653	10	7,8	8,8	1280	264	19
22/06/2002	25,35	10	96	17,4	245	2100	246	659	17	140	108	19	167	36	0,353	5	7,7	7,6	1400	218	25
09/07/2002	21,6	13,2	72	6,3	200	2100	228	671	18	100	120	19,2	158	12	0,12	5	7,9	10	1358	238	29
06/08/2002	89,7	32,7	37	22,2	330	1800	184	348	7	60	125	19	140	6	0,16	2	8,3	12	1140	220	28
13/10/2002	70	1,8	58	32	95	1300	49,6	244	10	520	68	4,6	97	4	0,973	5	7,9	3,1	840	260	16
06/01/2003	52	9	174	83,5	215	2300	94	488	21	140	107	9,3	118	7,6	1,834	5	8,54	5	1480	388	12
03/02/2003	85,6	4,2	110	2	105	1100	80	207	1	1260	40	10,7	58	0,95	0,126	27	7,92	0,65	720	200	6
06/05/2007	8,1	25,1	166,1	54,3	240	1820	33,6	378,2	8	780	57	14,5	152,8	6,8	2	13	7,7	3,3	1268	326	17
12/06/2007	6	30,4	183,5	65,1	250	1830	56	475,8	11	220	48	16,9	145,2	2	1,5	0	7,6	5	1086	230	29
03/07/2007	5	6,5	178,8	51,1	380	2240	130	378,2	18	320	55	17,4	205,6	11	1,6	0	7,7	11	1214	360	30
08/08/2007	5	18,3	173	3,3	330	2240	74	536,8	16	186	52	17,9	215,2	12	1,4	9	7,1	6	1346	258	28
04/09/2007	3,7	1	171,5	100	250	1830	18	353	11	1640	30	15,2	154	18	0,9	0	7,3	3,5	1090	300	28
02/10/2007	3,7	10,2	183,4	8,6	300	1980	40	427	13	34	38	13,7	168,7	2	2,5	8	7,6	5	1326	228	27
06/11/2007	5,3	13,6	185,1	6,1	265	1950	56	384,3	16	300	50	11,7	180	14	1,88	6	7,6	5	1262	340	17,7
09/12/2007	6,7	3,4	195,3	25,9	300	2020	44	396,5	14	160	42	15,1	176,5	17,5	1,01	0,4	7,5	10	1268	300	15
13/01/2008	7,5	2	184,6	38,7	270	1960	61	414,8	11	140	31	15	165,6	2	1	13	7,8	5	1256	348	12
05/02/2008	9,7	19,8	129	5,6	215	1890	79	463,6	1	220	30	25,5	160,9	5	0,2	9	7,6	5	1168	252	14
09/03/2008	11	16,6	138,8	4,6	155	1220	49	231,8	0	10	23	10,7	90,9	2	0,7	10,6	7,6	2	762	256	12
06/05/2008	6	13,7	165,2	6,7	175	1510	58	384,3	2	54	32	15,9	142,1	16	1,2	1	7,7	7	986	192	25
09/06/2008	4,6	11,9	153,2	3,2	220	1920	79	457,5	1	48	48	18,6	155,5	17	1,94	13	7,3	9	1196	250	24
10/08/2008	8,3	15,9	61,6	50	245	1720	88	262,3	1	82	44	14,8	168,8	9	0,46	10,3	8,6	3,7	1170	296	29

## Partie II : Pollution de la cour d'eau Chapitre III : Résultats et discussion

*Tableau (III.17) : Paramètres de pollution –Menia-Suite-*

Date	O <sub>2dis</sub>	DBO <sub>5</sub>	Ca	Tur	Cl	Cond	DCO	HCO <sub>3</sub>	K	MES <sub>105</sub>	Mg	Mo <sub>ac</sub>	Na	NH <sub>4</sub>	NO <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub>	pH	PO <sub>4</sub>	Rs <sub>105</sub>	SO <sub>4</sub>	T
13/09/2008	7	2,1	130,9	3,3	50	1900	21	146,4	0	48	25	4,3	49,8	15	2,96	32	7,6	0,2	456	166	24
12/10/2008	7,2	16,3	161,8	7,2	215	1620	60	341,6	1	56	37	13,2	146,4	2	1,8	13	7,3	3,1	1045	210	23
09/11/2008	8	3,3	149,5	3,2	220	1880	68	366	1	132	48	14,2	170,8	15,5	1,46	35	7,6	3,7	1184	300	16
25/02/2009	4,8	0,5	177,1	33,7	190	1300	65	158,6	1	210	35	12	109,2	2	0,33	7	7,5	1,7	838	272	12
29/03/2009	8,2	8,6	186,2	5,9	20	1790	85	170,8	1	7	46	15,1	115,6	1,5	2	11	7,7	4	436	146	17
25/04/2009	7,2	13,9	174,2	18	155	1620	53	305	8	186	48	10,7	106,4	8	0,88	17	7,8	0,7	1034	340	14
25/05/2009	4,8	17,3	163,9	4,9	245	1870	75	317,2	10	200	51	14,7	126,9	6,8	0,09	16	8	3,6	1190	290	25
01/10/2009	7,9	26	158,1	1	105	1060	69	201,3	5	112	26	5,6	73	7,2	0,87	11,8	7,3	0,3	664	220	18
03/11/2009	6,2	9,4	123,4	1	210	1590	64	311,1	9	126	42	5,6	98	2	0,2	7	7,3	3,3	1114	230	16
02/12/2009	8,2	11,9	174,4	1,6	160	1,3	65	231,8	24	128	36	9,2	102	2	0,2	2	7,2	1,7	894	228	12
04/01/2010	7	14	166,6	1	225	1710	51	378,2	10	128	48	11,6	155	2	0	0,2	7,5	2,9	1226	270	9
02/02/2010	7,8	17	156,5	1	195	1660	60	323,3	7	124	47	11,8	96	0,2	0,2	64,8	7,1	1,6	1160	230	8
02/03/2010	7,6	3,9	164	5,6	210	1620	42	298,9	7	102	43	10,9	145	15	0,2	53,3	7,2	3	1098	200	10
11/04/2010	6,2	6	176,1	97,8	210	1630	62	390,4	10	82	47	14,3	140	9,6	1,75	18	7,5	2,5	1246	242	14
03/05/2010	5	4	160,7	22,6	225	1750	33	420,9	12	86	49	13,7	100	14	2,4	46,4	7,7	5	1102	214	19
01/07/2010	2,9	15	171,7	5,6	230	1860	44	427	10	56	51	14,5	125	2	5,6	38,1	7,5	2,6	1156	252	22
05/08/2010	3,8	10	162,1	1,4	270	1790	70	305	13	58	46	13,2	110	8	1	4	7,1	9,2	1232	266	24
16/09/2010	3,5	13	173,6	20,6	245	1770	53	311,1	10	94	48	16,6	130	6,4	0,8	46	7,1	4,6	1228	258	19
22/11/2010	7,2	8	142,8	36	220	1760	44	365	12	7	5145	11,9	145	2	0,7	21	7,5	3	1194	300	11
15/12/2010	6	18	157,4	5,6	340	1710	53	140,3	11	63	50	15	175	6,5	0,27	4	7,4	6	1224	274	10
06/01/2011	6	6	185,8	14	295	1760	44	408,7	9	80	46	14,9	175	5	2	4	7,5	8	1126	170	10
09/02/2011	7,5	9	184,3	62	225	1780	53	317,2	8	112	54	8,1	125	10	1	15	7,5	1,5	1194	374	10
13/03/2011	7,9	9	166	7,5	170	1620	70	292,8	6	146	47	13,5	100	6	0,5	18	7,4	2,2	1112	370	14
14/04/2011	7,2	12	182,7	96,4	185	1730	44	323,3	8	30	51	13,2	4	10	3,8	13	7,5	2,3	1182	350	18
29/05/2011	6,4	15	136,7	2	215	1790	62	256,2	10	56	48	13,3	120	17	3	17	7,8	2,7	1196	380	22
23/06/2011	6,8	11	171,1	2,5	155	1300	53	231,8	7	52	33	13,4	108	0,4	1,75	15	7,8	0,3	830	236	25
24/07/2011	4,5	9	148,5	1,7	220	1710	52,8	305	11	50	43	15,2	134	1,55	12,25	3	6,9	3,2	1070	284	25
22/11/2011	3,5	15	180,2	6,9	245	180	114	219,6	11	34	57	15,2	152	6	1,6	1	7,2	9,6	1136	288	14

On a procédé à une analyse en composantes principales sur variables 21 (paramètres de pollution) et leurs observations 57 (dates de prélèvement) .

Les résultats obtenus par l'analyse en composantes principales sont résumées dans les tableaux (III.18, III.19, III.20, III.21, III.22, III.23).

## Partie II : Pollution de la cour d'eau Chapitre III : Résultats et discussion

*Tableau (III.18) : Moyenne, Ecart type des variables initiales.*

Paramètres	O <sub>2</sub> <sub>dis</sub>	DBO <sub>5</sub>	Ca	Tur	Cl	Cond	DCO	HCO <sub>3</sub>	K	MES <sub>105</sub>	Mg	Mo <sub>ac</sub>	Na	NH <sub>4</sub>	NO <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub>	pH	PO <sub>4</sub>	Rs <sub>105</sub>	SO <sub>4</sub>	T
Moyenne	19,21	12,48	154,92	20,02	216,07	1719,15	74,29	359,64	9,60	176,12	140,84	14,07	133,82	8,53	1,52	14,10	7,63	4,96	1128,54	274,42	18,29
Ecart-types	24,53	8,63	36,24	26,38	65,93	406,11	43,56	116,47	5,80	277,08	675,00	3,95	39,71	8,00	1,87	14,25	0,35	3,32	214,32	62,95	6,71

*Tableau (III.19) : Matrice des coefficients de corrélation entre les variables.*

Paramètre	O <sub>2</sub> <sub>dis</sub>	DBO <sub>5</sub>	Ca	Tur	Cl	Cond	DCO	HCO <sub>3</sub>	K	MES <sub>105</sub>	Mg	Mo <sub>ac</sub>	Na	NH <sub>4</sub>	NO <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub>	pH	PO <sub>4</sub>	Rs <sub>105</sub>	SO <sub>4</sub>	T
O <sub>2</sub> <sub>dis</sub>	1,00	0,04	-0,40	-0,06	-0,14	0,11	0,36	0,17	0,10	0,18	-0,05	0,09	-0,11	-0,07	-0,06	-0,01	0,58	0,22	0,11	0,19	-0,17
DBO <sub>5</sub>	0,04	1,00	-0,09	-0,13	0,18	0,02	0,29	0,23	0,08	-0,17	-0,07	0,28	0,17	0,24	-0,09	-0,17	0,07	0,32	0,14	-0,14	0,29
Ca	-0,40	-0,09	1,00	0,10	0,13	-0,01	-0,52	-0,07	0,12	-0,07	-0,06	-0,04	0,04	-0,08	0,05	0,08	-0,36	-0,12	0,07	0,21	-0,23
Tur	-0,06	-0,13	0,10	1,00	0,17	0,18	-0,10	0,10	0,13	0,34	0,08	-0,03	-0,01	0,08	0,03	-0,17	0,16	-0,08	0,20	0,28	0,06
Cl	-0,14	0,18	0,13	0,17	1,00	0,38	0,17	0,39	0,44	-0,04	0,01	0,47	0,69	0,22	0,00	-0,20	-0,10	0,52	0,72	0,21	0,28
Cond	0,11	0,02	-0,01	0,18	0,38	1,00	0,18	0,59	0,15	-0,05	0,02	0,40	0,39	0,33	0,13	0,06	0,27	0,32	0,51	0,23	0,32
DCO	0,36	0,29	-0,52	-0,10	0,17	0,18	1,00	0,52	0,32	-0,15	-0,07	0,46	0,31	0,40	-0,13	-0,27	0,31	0,57	0,31	-0,09	0,32
HCO <sub>3</sub>	0,17	0,23	-0,07	0,10	0,39	0,59	0,52	1,00	0,50	-0,07	0,02	0,60	0,51	0,44	0,02	-0,13	0,18	0,55	0,72	0,08	0,33
K	0,10	0,08	0,12	0,13	0,44	0,15	0,32	0,50	1,00	-0,04	0,07	0,18	0,32	0,27	0,06	-0,25	0,02	0,46	0,57	0,20	0,18
MES <sub>105</sub>	0,18	-0,17	-0,07	0,34	-0,04	-0,05	-0,15	-0,07	-0,04	1,00	-0,09	-0,06	-0,02	0,03	-0,14	-0,07	0,02	-0,16	-0,11	0,06	-0,02
Mg	-0,05	-0,07	-0,06	0,08	0,01	0,02	-0,07	0,02	0,07	-0,09	1,00	-0,07	0,04	-0,11	-0,06	0,06	-0,03	-0,07	0,05	0,06	-0,14
Mo <sub>ac</sub>	0,09	0,28	-0,04	-0,03	0,47	0,40	0,46	0,60	0,18	-0,06	-0,07	1,00	0,55	0,24	0,04	-0,17	0,13	0,63	0,50	0,03	0,36
Na	-0,11	0,17	0,04	-0,01	0,69	0,39	0,31	0,51	0,32	-0,02	0,04	0,55	1,00	0,32	-0,01	-0,28	-0,02	0,52	0,57	0,02	0,26
NH <sub>4</sub>	-0,07	0,24	-0,08	0,08	0,22	0,33	0,40	0,44	0,27	0,03	-0,11	0,24	0,32	1,00	-0,05	-0,04	-0,02	0,45	0,28	-0,10	0,38
NO <sub>2</sub>	-0,06	-0,09	0,05	0,03	0,00	0,13	-0,13	0,02	0,06	-0,14	-0,06	0,04	-0,01	-0,05	1,00	0,01	-0,22	-0,07	0,00	0,04	0,22
NO <sub>3</sub>	-0,01	-0,17	0,08	-0,17	-0,20	0,06	-0,27	-0,13	-0,25	-0,07	0,06	-0,17	-0,28	-0,04	0,01	1,00	-0,18	-0,38	-0,08	-0,08	-0,27
pH	0,58	0,07	-0,36	0,16	-0,10	0,27	0,31	0,18	0,02	0,02	-0,03	0,13	-0,02	-0,02	-0,22	-0,18	1,00	0,16	0,12	0,30	0,04
PO <sub>4</sub>	0,22	0,32	-0,12	-0,08	0,52	0,32	0,57	0,55	0,46	-0,16	-0,07	0,63	0,52	0,45	-0,07	-0,38	0,16	1,00	0,48	-0,07	0,39
Rs <sub>105</sub>	0,11	0,14	0,07	0,20	0,72	0,51	0,31	0,72	0,57	-0,11	0,05	0,50	0,57	0,28	0,00	-0,08	0,12	0,48	1,00	0,47	0,11
SO <sub>4</sub>	0,19	-0,14	0,21	0,28	0,21	0,23	-0,09	0,08	0,20	0,06	0,06	0,03	0,02	-0,10	0,04	-0,08	0,30	-0,07	0,47	1,00	-0,21
T	-0,17	0,29	-0,23	0,06	0,28	0,32	0,32	0,33	0,18	-0,02	-0,14	0,36	0,26	0,38	0,22	-0,27	0,04	0,39	0,11	-0,21	1,00

## Partie II : Pollution de la cour d'eau Chapitre III : Résultats et discussion

Seules les quatre premières composantes sont calculées, ou la  $C_i$  = nombre des variables, alors  $C_i=21$ .

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

**Tableau (III.20) : Valeurs propres, Variances expliquées et Variances cumulées.**

Axes	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>
Valeurs propres	5,47	2,38	2,14	1,43	1,30
Variances expliquées	26%	11%	10%	7%	6%
Variances cumulées	26%	37%	48%	54%	61%

-La somme des valeurs propres des composantes 1 à 3 est :  $12,72 = (5,47+2,38+2,14+1,43+1,30)$

-Le pourcentage d'inertie expliqué par la  $i$ ème composante dépend de la valeur propre  $C_i$  et du nombre de variable  $nv\% = C_i/nv$ .

**Tableau (III.21) : Pourcentage d'inertie.**

composantes	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>
Pourcentage d'inertie expliqué	26,05	11,33	10,19	6,81	6,19
Pourcentage d'inertie cumulée	26,05	37,38	47,57	54,38	60,57

**Tableau (III.22) : Projection des variables actives.**

Paramètres	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>
O <sub>2</sub> dis	0,16	-0,62	0,54	-0,16	0,04
DBO <sub>5</sub>	0,36	-0,24	-0,35	-0,06	-0,20
Ca	-0,13	0,75	-0,03	-0,08	-0,14
Tur	0,11	0,28	0,47	0,59	0,04
Cl	0,69	0,45	-0,02	0,00	-0,19
Cond	0,59	0,15	0,23	-0,03	0,57
DCO	0,64	-0,57	-0,08	-0,07	-0,07
HCO <sub>3</sub>	0,82	0,01	0,07	-0,10	0,19
K	0,58	0,21	0,14	-0,02	-0,26
MES <sub>105</sub>	-0,10	-0,03	0,34	0,65	-0,07
Mg	-0,03	0,13	0,16	-0,27	-0,11
Mo <sub>ac</sub>	0,73	-0,02	-0,13	-0,09	0,08
Na	0,72	0,26	-0,14	-0,02	-0,14
NH <sub>4</sub>	0,53	-0,05	-0,25	0,23	0,18
NO <sub>2</sub>	0,003	0,24	-0,14	0,09	0,55
NO <sub>3</sub>	-0,34	0,12	0,02	-0,44	0,51
pH	0,24	-0,56	0,58	0,00	0,05
PO <sub>4</sub>	0,81	-0,16	-0,18	-0,05	-0,19
RS <sub>105</sub>	0,78	0,34	0,31	-0,22	-0,01
SO <sub>4</sub>	0,15	0,30	0,73	-0,10	-0,04
T	0,49	-0,11	-0,41	0,45	0,30

C<sub>1</sub> : Première composante du vecteur régional ;

C<sub>2</sub> : deuxième composante du vecteur régional ;

C<sub>3</sub> : troisième composante du vecteur régional ;

C<sub>4</sub> quatrième composante du vecteur régional. ;

C<sub>5</sub> : cinquième composante du vecteur régional.

Les paramètres HCO<sub>3</sub>, PO<sub>4</sub>, RS<sub>105</sub>, Mo<sub>ac</sub>, Na ont la grande valeur de C<sub>1</sub> qui sont respectivement : 0,82, 0,81, 0,78, 0,73 et 0,72.

Tableau (III.23) : Projection des observations.

Date de prélèvement	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>
07/03/2000	1,20	-0,45	0,58	-0,62	-0,46
06/05/2000	2,05	-1,00	-2,09	0,29	-0,73
11/06/2000	1,52	0,56	0,10	-0,81	0,93
23/09/2000	0,75	-0,49	0,02	-0,30	-0,20
04/12/2000	0,38	-0,62	1,53	-1,08	-0,30
16/01/2001	-0,24	-0,73	1,72	-1,25	-0,18
10/02/2001	-0,47	-0,21	2,06	-1,59	0,63
11/03/2001	0,48	-0,48	1,39	-1,01	0,32
12/05/2001	1,28	-1,42	0,32	-0,15	1,26
22/06/2002	2,19	-1,41	-0,61	0,34	0,56
09/07/2002	1,97	-1,85	-0,35	-0,17	0,27
06/08/2002	1,52	-3,15	-0,02	0,02	-0,63
13/10/2002	-1,26	-1,97	1,27	1,24	-0,26
06/01/2003	0,76	0,15	3,03	0,22	0,10
03/02/2003	-1,89	-2,36	1,36	0,92	-0,27
06/05/2007	0,12	0,74	0,79	1,36	-0,14
12/06/2007	0,56	0,43	-0,58	1,39	-0,31
03/07/2007	1,68	1,03	0,34	1,30	-0,48
08/08/2007	1,42	1,21	-1,05	0,03	0,07
04/09/2007	0,10	1,31	1,08	4,77	-0,05
02/10/2007	0,51	1,04	-0,55	-0,03	0,22
06/11/2007	0,49	1,04	0,22	0,12	-0,45
09/12/2007	0,80	1,29	0,11	0,21	-0,69
13/01/2008	0,25	1,09	1,14	-0,33	-0,26
05/02/2008	0,50	-0,42	-0,47	-0,52	-0,02
09/03/2008	-1,42	-0,74	-0,51	-0,27	-0,59
06/05/2008	0,00	-0,49	-1,34	0,57	0,02
09/06/2008	0,60	0,09	-1,22	-0,10	0,84
10/08/2008	0,32	-1,33	0,48	1,08	0,47
13/09/2008	-2,18	-1,02	-1,15	0,79	2,45
12/10/2008	-0,44	0,11	-1,17	-0,01	0,22
09/11/2008	-0,12	0,33	-0,06	-0,69	1,19
25/02/2009	-1,36	0,18	0,10	0,55	-0,80
29/03/2009	-1,46	-1,13	-1,34	0,19	0,61
25/04/2009	-0,80	0,14	0,57	-0,10	-0,06
25/05/2009	0,14	-0,07	0,00	0,01	-0,06
01/10/2009	-1,69	-0,85	-1,31	0,35	-0,74
03/11/2009	-0,80	-0,17	-0,38	-0,08	-0,67
02/12/2009	-1,29	0,03	-0,84	-0,02	-3,25
04/01/2010	-0,24	0,48	0,08	-0,63	-1,24
02/02/2010	-1,05	0,42	-0,40	-1,96	0,73
02/03/2010	-0,81	0,64	-0,64	-1,14	0,69
11/04/2010	-0,13	1,00	0,53	0,86	0,25
03/05/2010	-0,26	0,46	-0,28	-0,42	1,55
01/07/2010	-0,20	0,83	-0,60	-0,70	1,87
05/08/2010	0,25	0,56	-0,88	0,01	-0,62
16/09/2010	-0,17	0,98	-0,61	-0,82	0,60
22/11/2010	-0,37	1,09	1,10	-2,00	-0,84
15/12/2010	0,10	0,78	-0,40	-0,55	-1,74
06/01/2011	0,18	0,82	-0,65	-0,34	-0,69
09/02/2011	-0,54	1,15	1,15	0,23	-0,21
13/03/2011	-0,69	0,31	0,40	-0,52	-0,12
14/04/2011	-0,69	0,85	0,98	1,14	1,09
29/05/2011	-0,05	0,14	0,16	-0,11	0,74
23/06/2011	-1,06	-0,33	-0,67	0,19	0,10
24/07/2011	-0,25	1,20	-1,29	0,48	2,22
22/11/2011	-0,19	0,21	-1,15	-0,32	-2,93

## Partie II : Pollution de la cour d'eau Chapitre III : Résultats et discussion

On constate que la majorité des variables sont corrélées fortement et négativement avec la première composante  $C_1$  pour la période de 10 ans allant de 2000 à 2011.

- **Ajustement du vecteur  $C_1$  à une loi de probabilité:**

Le vecteur  $C_1$  s'ajuste bien à la loi log normale comme l'indique la figure ci après :

**Tableau (III.24) : Ajustement à la loi normale du vecteur régional ( $C_1$ ).**

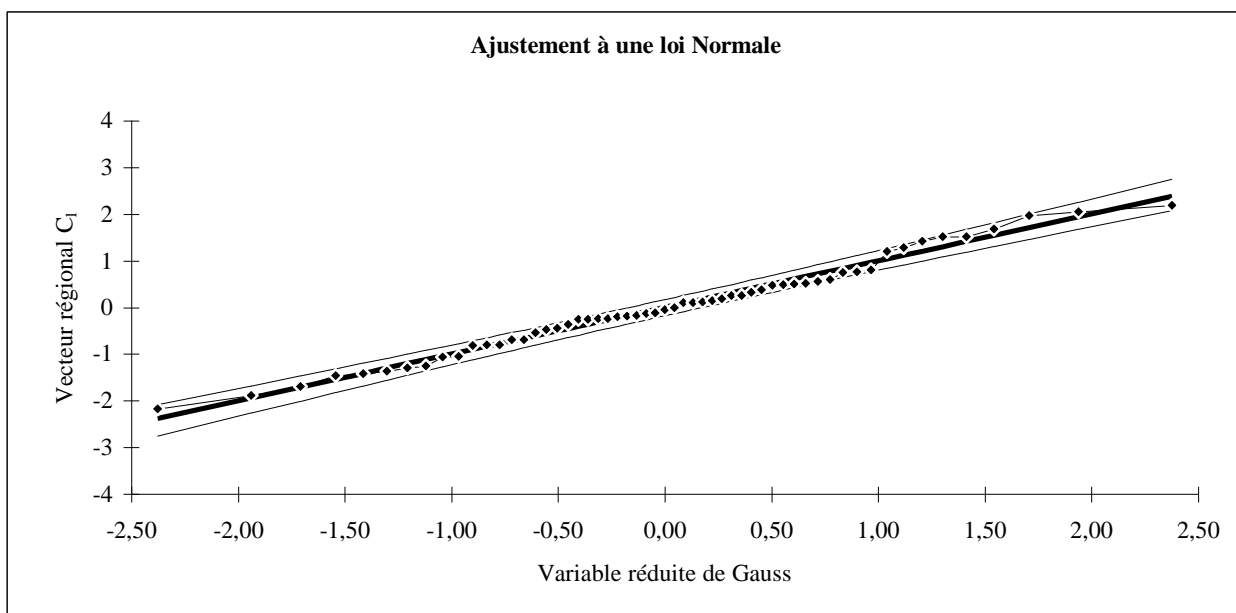
Taille=46 Moyenne=0,00021 Ecart-type=1,001 UGauss=1,9604 I.C.à (en %)=95

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur Théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
1,20	-2,18	1	0,01	-2,38	-2,18	-2,38	-2,99	-1,93
2,05	-1,89	2	0,03	-1,94	-1,89	-1,94	-2,46	-1,55
1,52	-1,69	3	0,04	-1,71	-1,69	-1,71	-2,19	-1,35
0,75	-1,46	4	0,06	-1,54	-1,46	-1,54	-2,00	-1,20
0,38	-1,42	5	0,08	-1,41	-1,42	-1,41	-1,84	-1,08
-0,24	-1,36	6	0,10	-1,30	-1,36	-1,30	-1,71	-0,98
-0,47	-1,29	7	0,11	-1,21	-1,29	-1,21	-1,60	-0,90
0,48	-1,26	8	0,13	-1,12	-1,26	-1,12	-1,50	-0,82
1,28	-1,06	9	0,15	-1,04	-1,06	-1,04	-1,41	-0,74
2,19	-1,05	10	0,17	-0,97	-1,05	-0,97	-1,33	-0,68
1,97	-0,81	11	0,18	-0,90	-0,81	-0,90	-1,25	-0,61
1,52	-0,8	12	0,20	-0,84	-0,8	-0,84	-1,18	-0,55
-1,26	-0,8	13	0,22	-0,77	-0,8	-0,77	-1,11	-0,50
0,76	-0,69	14	0,24	-0,72	-0,69	-0,72	-1,04	-0,44
-1,89	-0,69	15	0,25	-0,66	-0,69	-0,66	-0,98	-0,39
0,12	-0,54	16	0,27	-0,61	-0,54	-0,61	-0,92	-0,34
0,56	-0,47	17	0,29	-0,55	-0,47	-0,55	-0,86	-0,29
1,68	-0,44	18	0,31	-0,50	-0,44	-0,50	-0,81	-0,24
1,42	-0,37	19	0,32	-0,45	-0,37	-0,45	-0,75	-0,19
0,10	-0,26	20	0,34	-0,41	-0,26	-0,41	-0,70	-0,14
0,51	-0,25	21	0,36	-0,36	-0,25	-0,36	-0,65	-0,09
0,49	-0,24	22	0,38	-0,31	-0,24	-0,31	-0,60	-0,05
0,80	-0,24	23	0,39	-0,27	-0,24	-0,27	-0,55	0,00
0,25	-0,2	24	0,41	-0,22	-0,2	-0,22	-0,50	0,04
0,50	-0,19	25	0,43	-0,18	-0,19	-0,18	-0,45	0,09
-1,42	-0,17	26	0,45	-0,13	-0,17	-0,13	-0,41	0,13
0,00	-0,13	27	0,46	-0,09	-0,13	-0,09	-0,36	0,18
0,60	-0,12	28	0,48	-0,04	-0,12	-0,04	-0,31	0,22
0,32	-0,05	29	0,50	0,00	-0,05	0,00	-0,27	0,27
-2,18	0	30	0,52	0,04	0	0,04	-0,22	0,31
-0,44	0,1	31	0,54	0,09	0,1	0,09	-0,18	0,36
-0,12	0,1	32	0,55	0,13	0,1	0,13	-0,13	0,41
-1,36	0,12	33	0,57	0,18	0,12	0,18	-0,09	0,45
-1,46	0,14	34	0,59	0,22	0,14	0,22	-0,04	0,50
-0,80	0,18	35	0,61	0,27	0,18	0,27	0,00	0,55
0,14	0,25	36	0,62	0,31	0,25	0,31	0,05	0,60
-1,69	0,25	37	0,64	0,36	0,25	0,36	0,09	0,65
-0,80	0,32	38	0,66	0,41	0,32	0,41	0,14	0,70
-1,29	0,38	39	0,68	0,45	0,38	0,45	0,19	0,75
-0,24	0,48	40	0,69	0,50	0,48	0,50	0,24	0,81
-1,05	0,49	41	0,71	0,55	0,49	0,55	0,29	0,86
-0,81	0,5	42	0,73	0,61	0,5	0,61	0,34	0,92
-0,13	0,51	43	0,75	0,66	0,51	0,66	0,39	0,98
-0,26	0,56	44	0,76	0,72	0,56	0,72	0,44	1,04
-0,20	0,6	45	0,78	0,77	0,6	0,77	0,50	1,11
0,25	0,75	46	0,80	0,84	0,75	0,84	0,55	1,18
-0,17	0,76	47	0,82	0,90	0,76	0,90	0,61	1,25
-0,37	0,8	48	0,83	0,97	0,8	0,97	0,68	1,33
0,10	1,2	49	0,85	1,04	1,2	1,04	0,74	1,41
0,18	1,28	50	0,87	1,12	1,28	1,12	0,82	1,50
-0,54	1,42	51	0,89	1,21	1,42	1,21	0,90	1,60

**Partie II : Pollution de la cour d'eau    Chapitre III : Résultats et discussion**

-0,69	1,52	52	0,90	1,30	1,52	1,30	0,98	1,71
-0,69	1,52	53	0,92	1,41	1,52	1,41	1,08	1,84
-0,05	1,68	54	0,94	1,54	1,68	1,54	1,20	2,00
-1,06	1,97	55	0,96	1,71	1,97	1,71	1,35	2,19
-0,25	2,05	56	0,97	1,94	2,05	1,94	1,55	2,46
-0,19	2,19	57	0,99	2,38	2,19	2,38	1,93	2,99

Fréquence	U.Gauss	Val.théo.	Borne inf.	Borne sup.	Valeur	Fréq. théo.	Pér. Ret.
0,8	0,841	0,84	0,56	1,18	0,84	0,800	5
0,9	1,282	1,28	0,96	1,69	1,28	0,900	10
0,95	1,645	1,65	1,29	2,12	1,65	0,950	20
0,98	2,054	2,06	1,65	2,60	2,06	0,980	50
0,99	2,327	2,33	1,89	2,93	2,33	0,990	100
0,998	2,879	2,88	2,37	3,59	2,88	0,998	500



**Figure (III.9) : Ajustement du vecteur régional  $C_1$  à l'échelle annuelle.**

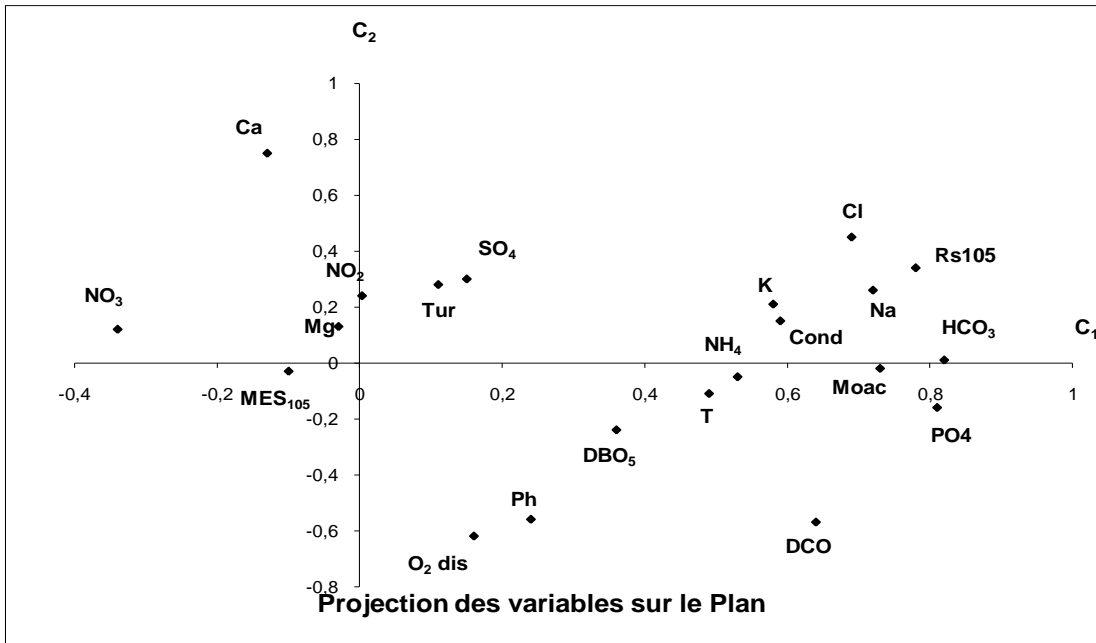


Figure (III.10) : Projection des variables sur le plan (C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>)-Menia-.

**Interprétation :** on peut remarquer un rassemblement de quelques paramètres dans un seul groupe qui sont : Mo<sub>ac</sub>, HCO<sub>3</sub>, PO<sub>4</sub>, Cond, K, Na, Rs<sub>105</sub>

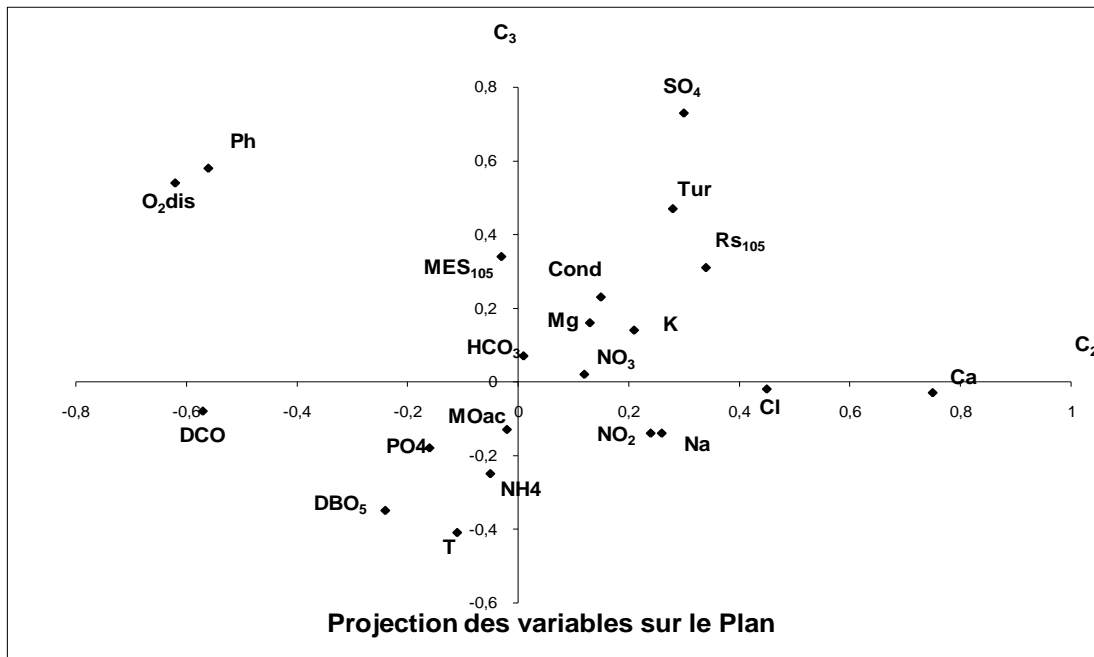


Figure (III.11) : Projection des variables sur le plan (C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>)-Menia-.

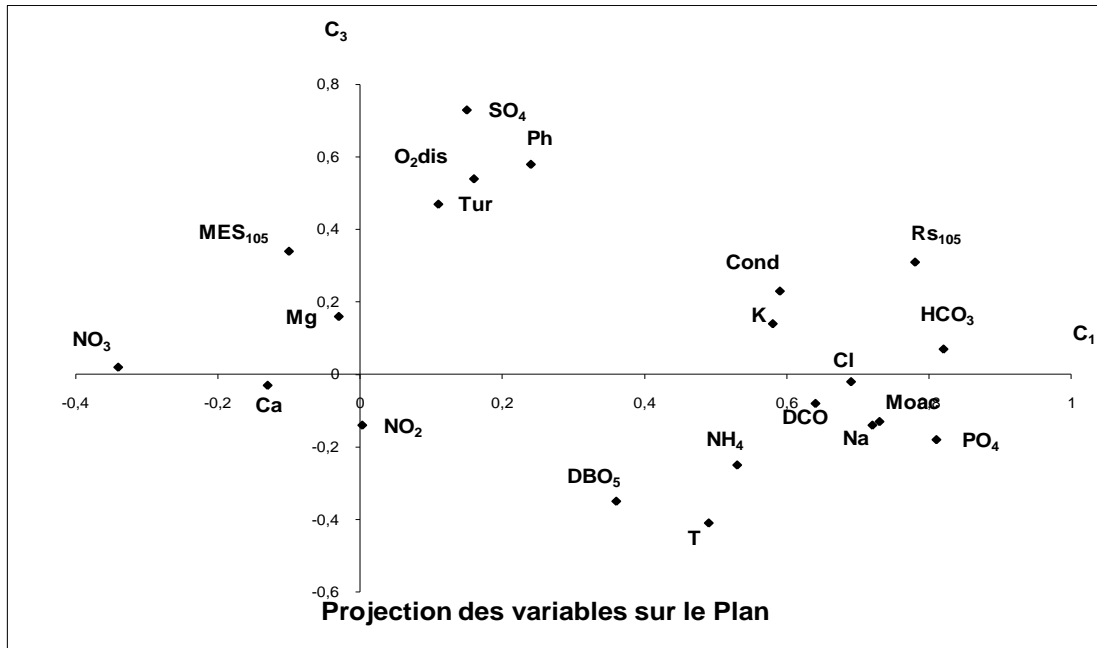


Figure (III.12) : Projection des variables sur le plan (C<sub>1</sub>, C<sub>3</sub>)-Menia-.

D'après les graphes ces dessus (III.10), (III.11) et (III.12) des projections des variables sur les plans (C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>), (C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>) et (C<sub>1</sub>, C<sub>3</sub>), on peut remarquer les groupes des paramètres suivants :

\*Cl, RS<sub>105</sub>, K, Na, Cond, HCO<sub>3</sub>

\*SO<sub>4</sub>, Ph, O<sub>2</sub>dis, tur

\*Cond, RS<sub>105</sub>, K, HCO<sub>3</sub>

### III-2 Résultats de la régression multiple

#### III-2-1 Régression linéaire

➤ Station Oued Enndja

*Régression n°01 :*

*Tableau (III.25) : moyennes et écarts-Types des paramètres de pollution-Oued Enndja-.*

Paramètre	Cond	Cl	NH <sub>4</sub>	SO <sub>4</sub>	T	Date	Cond	Cl	NH <sub>4</sub>
Moyenne	1239,09	171,36	0,35	218,36	13,64	1239,09	171,36	0,35	218,36
E-Type	535,94	138,08	0,31	61,60	5,90	535,94	138,08	0,31	61,60

*Tableau (III.26) : Matrice des coefficients de corrélation-Oued Enndja-.*

Paramètre	Cond	Cl	NH <sub>4</sub>	SO <sub>4</sub>	T
Cond	1,00	0,99	-0,26	0,90	0,81
Cl	0,99	1,00	-0,31	0,86	0,81
NH <sub>4</sub>	-0,26	-0,31	1,00	-0,17	-0,27
SO <sub>4</sub>	0,90	0,86	-0,17	1,00	0,85
T	0,81	0,81	-0,27	0,85	1,00

*Tableau (III.27) : Résultat de la régression-Oued Enndja-.*

Variable	Coef. de reg.	Coef. cor. partielle
Cl	3,18	0,97
SO <sub>4</sub>	1,71	0,70
<b>Terme constant :</b>	319,83	
<b>Coef. de cor. multiple</b>	0,99	
<b>F expérimental</b>	390,56	

La régression montre seulement la corrélation entre deux paramètres : Cl, SO<sub>4</sub>.

*Régression n°02 :*

*Tableau (III.28) : moyennes et écarts-Types des paramètres de pollution-Oued Enndja-.*

Paramètre	K	Ca	Cl	Cond	SO <sub>4</sub>
Moyenne	3,18	111,85	171,36	1239,09	218,36
E-Type	1,72	23,52	138,08	535,94	61,60

*Tableau (III.29) : Matrice des coefficient de corrélation-Oued Enndja-.*

Paramètre	K	Ca	Cl	Cond	SO <sub>4</sub>
<b>K</b>	1,00	0,77	0,93	0,96	0,86
<b>Ca</b>	0,77	1,00	0,58	0,67	0,71
<b>Cl</b>	0,93	0,58	1,00	0,99	0,86
<b>Cond</b>	0,96	0,67	0,99	1,00	0,90
<b>SO<sub>4</sub></b>	0,86	0,71	0,86	0,90	1,00

**Partie II : Pollution de la cour d'eau Chapitre III : Résultats et discussion**

*Tableau (III.30) : Résultat de la régression-Oued Enndja-*

Variable	Coef. de reg.	Coef. cor. partielle
Cl	-0,02	-0,82
Cond	0,01	0,90
SO <sub>4</sub>	-0,01	-0,70
<b>Terme constant :</b>	-2,84	
<b>Coef. de cor. multiple</b>	0,99	
<b>F expérimental</b>	102,41	

*On remarque une corrélation entre les paramètres : Cl, Cond, SO<sub>4</sub>*

**Régression n°03:**

*Tableau (III.31) : moyennes et écarts-Types des paramètres de pollution-Oued Enndja-*

Paramètre	RS <sub>105</sub>	Cond	Cl	Na	K	SO <sub>4</sub>
Moyenne	836,55	1239,09	171,36	103,00	3,18	218,36
E-Type	369,66	535,94	138,08	84,57	1,72	61,60

*Tableau (III.32) : Matrice des coefficients de corrélation-Oued Enndja-*

Paramètre	RS <sub>105</sub>	Cond	Cl	Na	K	SO <sub>4</sub>
<b>RS<sub>105</sub></b>	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,89
<b>Cond</b>	0,99	1,00	0,99	0,99	0,96	0,90
<b>Cl</b>	0,98	0,99	1,00	1,00	0,93	0,86
<b>Na</b>	0,97	0,99	1,00	1,00	0,92	0,86
<b>K</b>	0,96	0,96	0,93	0,92	1,00	0,86
<b>SO<sub>4</sub></b>	0,89	0,90	0,86	0,86	0,86	1,00

*Tableau (III.33) : Résultat de la régression-Oued Enndja-*

Variable	Coef. de reg.	Coef. cor. partielle
<b>Cond</b>	0,67	0,84
<b>Cl</b>	3,74	0,68
<b>Na</b>	-6,02	-0,73
<b>Terme constant :</b>	-10,81	
<b>Coef. de cor. multiple :</b>	1,00	
<b>F expérimental :</b>	308,36	

*On remarque une corrélation entre les paramètres : Cl, Cond, Na*

**Régression n°04:**

*Tableau (III.34) : moyennes et écarts-Types des paramètres de pollution-Oued Enndja-*

Paramètre	T	SO <sub>4</sub>	Cond	Cl	RS <sub>105</sub>
Moyenne	13,64	218,36	1239,09	171,36	836,55
E-Type	5,90	61,60	535,94	138,08	369,66

*Tableau (III.35) : Matrice des coefficeint de corrélation-Oued Enndja-*

Paramètre	T	SO <sub>4</sub>	Cond	Cl	RS <sub>105</sub>
<b>T</b>	1,00	0,85	0,81	0,81	0,79
<b>SO<sub>4</sub></b>	0,85	1,00	0,90	0,86	0,89
<b>Cond</b>	0,81	0,90	1,00	0,99	0,99
<b>Cl</b>	0,81	0,86	0,99	1,00	0,98
<b>RS<sub>105</sub></b>	0,79	0,89	0,99	0,98	1,00
<b>T</b>	1,00	0,85	0,81	0,81	0,79

*Tableau (III.36) : Résultat de la régression-Oued Enndja-*

## Partie II : Pollution de la cour d'eau    Chapitre III : Résultats et discussion

Variable	Coef. de reg.	Coef. cor. partielle
SO <sub>4</sub>	0,08	0,85
Terme constant :	-4,12	
Coef. de cor. multiple :	0,85	
F expérimental :	23,13	

### ➤ Station de Béni Haroun

#### Régression n°01:

*Tableau (III.37) : moyennes et écarts-Types des paramètres de pollution-Béni Haroun-.*

Paramètre	K	Mo <sub>ac</sub>	PO <sub>4</sub>	NH <sub>4</sub>	SO <sub>4</sub>
Moyenne	7,76	8,32	1,07	0,04	249,91
E-Type	26,51	3,95	3,94	0,07	112,27

*Tableau (III.38) : Matrice des coefficients de corrélation-Béni Haroun-.*

Paramètre	K	Mo <sub>ac</sub>	PO <sub>4</sub>	NH <sub>4</sub>	SO <sub>4</sub>
<b>K</b>	1,00	0,76	0,26	0,31	0,57
<b>Mo<sub>ac</sub></b>	0,76	1,00	0,16	0,08	0,30
<b>PO<sub>4</sub></b>	0,26	0,16	1,00	0,04	0,32
<b>NH<sub>4</sub></b>	0,31	0,08	0,04	1,00	0,28
<b>SO<sub>4</sub></b>	0,57	0,30	0,32	0,28	1,00

*Tableau (III.39) : Résultat de la régression-Béni Haroun-.*

Variable	Coef. de reg.	Coef. cor. partielle
Mo <sub>ac</sub>	4,33	0,75
SO <sub>4</sub>	0,09	0,55
Terme constant :	-50,50	
Coef. de cor. multiple :	0,84	
F expérimental :	51,01	
Plus petit r :	0,55	

#### Régression n°02:

*Tableau (III.40) : moyennes et écarts-Types des paramètres de pollution-Béni Haroun-.*

Paramètre	MES <sub>105</sub>	Turb	NH <sub>4</sub>	RS <sub>105</sub>	SO <sub>4</sub>	K
Moyenne	45,70	4,48	0,04	732,19	249,91	7,76
E-Type	34,50	5,58	0,07	106,08	112,27	26,51

*Tableau (III.41) : Matrice des coefficients de corrélation-Béni Haroun-.*

Paramètre	MES <sub>105</sub>	Turb	NH <sub>4</sub>	RS <sub>105</sub>	SO <sub>4</sub>	K
<b>MES<sub>105</sub></b>	1,00	0,61	-0,06	0,23	-0,12	-0,18
<b>Turb</b>	0,61	1,00	0,03	0,21	0,21	-0,04
<b>NH<sub>4</sub></b>	-0,06	0,03	1,00	0,03	0,28	0,31
<b>RS<sub>105</sub></b>	0,23	0,21	0,03	1,00	0,06	-0,01
<b>SO<sub>4</sub></b>	-0,12	0,21	0,28	0,06	1,00	0,57
<b>K</b>	-0,18	-0,04	0,31	-0,01	0,57	1,00

*Tableau (III.42) : Résultat de la régression-Béni Haroun-.*

## Partie II : Pollution de la cour d'eau    Chapitre III : Résultats et discussion

Variable	Coef. de reg.	Coef. cor. partielle
<b>Turb</b>	4,11	0,66
<b>SO<sub>4</sub></b>	-0,08	-0,32
<b>Terme constant :</b>	47,11	
<b>Coef. de cor. multiple :</b>	0,66	
<b>F expérimental :</b>	16,80	
<b>Plus petit r :</b>	0,32	

### Régression n°03:

*Tableau (III.43) : moyennes et écarts-Types des paramètres de pollution-Béni Haroun-.*

Paramètre	O <sub>2</sub> dis	DBO <sub>5</sub>	HCO <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub>	T
Moyenne	8,72	4,60	163,23	1,07	18,96
E-Type	2,15	3,10	26,61	3,94	6,78

*Tableau (III.44) : Matrice des coefficients de corrélation-Béni Haroun-.*

Paramètre	O <sub>2</sub> dis	DBO <sub>5</sub>	HCO <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub>	T
<b>O<sub>2</sub> dis</b>	1,00	0,44	-0,25	0,24	0,36
<b>DBO<sub>5</sub></b>	0,44	1,00	-0,22	0,38	-0,01
<b>HCO<sub>3</sub></b>	-0,25	-0,22	1,00	-0,06	-0,32
<b>PO<sub>4</sub></b>	0,24	0,38	-0,06	1,00	0,05
<b>T</b>	0,36	-0,01	-0,32	0,05	1,00

*Tableau (III.45) : Résultat de la régression-Béni Haroun-.*

Variable	Coef. de reg.	Coef. cor. partielle
<b>DBO<sub>5</sub></b>	0,31	0,48
<b>T</b>	0,12	0,41
<b>Terme constant :</b>	5,10	
<b>Coef. de cor. multiple :</b>	0,57	
<b>F expérimental :</b>	10,60	
<b>Plus petit r :</b>	0,41	

### Régression n°04:

*Tableau (III.46) : moyennes et écarts-Types des paramètres de pollution-Béni Haroun-.*

Paramètre	Turb	MES <sub>105</sub>	Na	Cl	RS <sub>105</sub>	SO <sub>4</sub>	DCO
Moyenne	4,48	45,70	90,54	140,98	732,19	249,91	42,33
E-Type	5,58	34,50	16,59	24,91	106,08	112,27	17,78

*Tableau (III.47) : Matrice des coefficients de corrélation-Béni Haroun-.*

Paramètre	Turb	MES <sub>105</sub>	Na	Cl	RS <sub>105</sub>
<b>Turb</b>	1,00	0,61	0,24	0,24	0,21
<b>MES<sub>105</sub></b>	0,61	1,00	0,27	0,25	0,23
<b>Na</b>	0,24	0,27	1,00	0,60	0,17
<b>Cl</b>	0,24	0,25	0,60	1,00	0,14
<b>RS<sub>105</sub></b>	0,21	0,23	0,17	0,14	1,00

*Tableau (III.48) : Résultat de la régression-Béni Haroun-.*

## Partie II : Pollution de la cour d'eau    Chapitre III : Résultats et discussion

Variable	Coef. de reg.	Coef. cor. partielle
MES105	0,10	0,66
SO4	0,01	0,36
Terme constant :	-3,84	
Coef. de cor. multiple :	0,67	
F expérimental :	17,94	
Plus petit r :	0,36	

### Régression n°04:

*Tableau (III.49) : moyennes et écarts-Types des paramètres de pollution-Béni Haroun-.*

Paramètre	DCO	DBO <sub>5</sub>	HCO <sub>3</sub>	Ca	Mo <sub>ac</sub>	O <sub>2</sub> dis
Moyenne	42,33	4,60	163,23	100,90	8,32	8,72
E-Type	17,78	3,10	26,61	14,41	3,95	2,15

*Tableau (III.50) : Matrice des coefficients de corrélation-Béni Haroun-.*

Paramètre	DCO	DBO5	HCO3	Ca	Moac
DCO	1,00	0,19	-0,33	-0,43	0,15
DBO5	0,19	1,00	-0,22	-0,25	-0,05
HCO3	-0,33	-0,22	1,00	0,13	0,05
Ca	-0,43	-0,25	0,13	1,00	-0,09
Moac	0,15	-0,05	0,05	-0,09	1,00

*Tableau (III.51) : Résultat de la régression-Béni Haroun-.*

Variable	Coef. de reg.	Coef. cor. partielle
HCO3	-0,18	-0,30
Ca	-0,49	-0,42
Terme constant :	122,00	
Coef. de cor. multiple :	0,51	
F expérimental :	7,69	
Plus petit r :	0,30	

### Régression n°05:

*Tableau (III.52) : moyennes et écarts-Types des paramètres de pollution-Béni Haroun-.*

Paramètre	Mg	Cl	NO <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub>	Ph	DCO
Moyenne	30,65	140,98	7,00	1,07	7,53	42,33
E-Type	4,77	24,91	3,95	3,94	0,56	17,78

*Tableau (III.53) : Matrice des coefficients de corrélation-Béni Haroun-.*

Paramètre	Mg	Cl	NO <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub>	Ph	DCO
Mg	1,00	-0,35	-0,32	-0,30	0,22	0,06
Cl	-0,35	1,00	0,21	-0,16	0,29	0,02
NO3	-0,32	0,21	1,00	-0,08	0,11	-0,18
PO4	-0,30	-0,16	-0,08	1,00	-0,42	0,05
Ph	0,22	0,29	0,11	-0,42	1,00	0,05

*Tableau (III.54) : Résultat de la régression-Béni Haroun-.*

Variable	Coef. de reg.	Coef. cor. partielle
Cl	-0,07	-0,38
NO3	-0,33	-0,31
PO4	-0,46	-0,42
Terme constant :	42,93	
Coef. de cor. multiple :	0,57	
F expérimental :	6,76	
Plus petit r :	0,31	

### Régression n°06:

## Partie II : Pollution de la cour d'eau    Chapitre III : Résultats et discussion

**Tableau (III.55) : moyennes et écarts-Types des paramètres de pollution-Béni Haroun-.**

Paramètre	Mo <sub>ac</sub>	K	Ph	SO <sub>4</sub>	Cond	Mo <sub>ac</sub>
Moyenne	8,32	7,76	7,53	249,91	1101,94	8,32
E-Type	3,95	26,51	0,56	112,27	181,59	3,95

**Tableau (III.56) : Matrice des coefficients de corrélation-Béni Haroun-.**

Paramètre	Moac	K	Ph	SO4	Cond
Moac	1,00	0,76	-0,35	0,30	-0,31
K	0,76	1,00	-0,68	0,57	-0,02
Ph	-0,35	-0,68	1,00	-0,73	0,09
SO4	0,30	0,57	-0,73	1,00	-0,05
Cond	-0,31	-0,02	0,09	-0,05	1,00

**Tableau (III.57) : Résultat de la régression-Béni Haroun-.**

Variable	Coef. de reg.	Coef. cor. partielle
K	0,15	0,81
Ph	2,50	0,44
Cond	-0,01	-0,52
Terme constant :	-3,91	
Coef. de cor. multiple :	0,85	
F expérimental :	37,43	
Plus petit r :	0,44	

### Régression n°07:

**Tableau (III.58) : moyennes et écarts-Types des paramètres de pollution-Béni Haroun-.**

Paramètre	Ph	SO <sub>4</sub>	K	MES <sub>105</sub>	Moac
Moyenne	7,53	249,91	7,76	45,70	8,32
E-Type	0,56	112,27	26,51	34,50	3,95

**Tableau (III.59) : Matrice des coefficients de corrélation-Béni Haroun-.**

Paramètre	Ph	SO4	K	MES105	Moac
Ph	1,00	-0,73	-0,68	0,35	-0,35
SO4	-0,73	1,00	0,57	-0,12	0,30
K	-0,68	0,57	1,00	-0,18	0,76
MES105	0,35	-0,12	-0,18	1,00	-0,05
Moac	-0,35	0,30	0,76	-0,05	1,00

**Tableau (III.60) : Résultat de la régression-Béni Haroun-.**

Variable	Coef. de reg.	Coef. cor. partielle
SO4	0,00	-0,60
K	-0,01	-0,45
MES105	0,00	0,37
Terme constant :	8,05	
Coef. de cor. multiple :	0,83	
F expérimental :	30,87	
Plus petit r :	0,37	

## Partie II : Pollution de la cour d'eau    Chapitre III : Résultats et discussion

D'après l'analyse de la régression multiple linéaire entre les paramètres de pollution dans les différentes stations étudiées, on peut constater la faible corrélation entre les paramètres de pollution.

-Pour la station d'Oued Enndja, on observe la régression seulement 2 paramètres tel que (Cl,SO<sub>4</sub>).

-Pour la station de Béni-Haroun, on remarque des corrélations faibles seulement entre deux paramètres tels que : Moac-SO<sub>4</sub>, Tur,-SO<sub>4</sub>, DBO<sub>5</sub>-T, MES<sub>105</sub>-SO<sub>4</sub>, et HCO<sub>3</sub>-Ca

-Enfin pour la station Menia

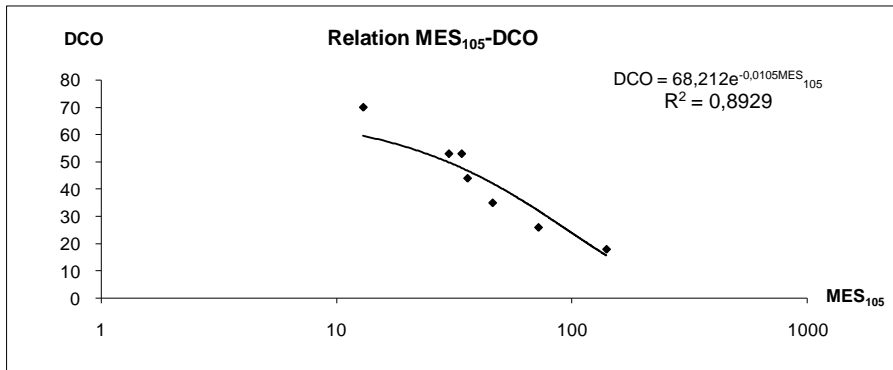
-Afin de mieux expliquer les corrélations, on a procédé de faire une analyse de régression non linéaire entre les paramètres.

-Cette dernière a montrée des bonnes corrélations entre les paramètres MES-DCO et NO<sub>2</sub>-DCO- et O<sub>2</sub> pour des coefficients de détermination allant de 0,50 à 0,90.

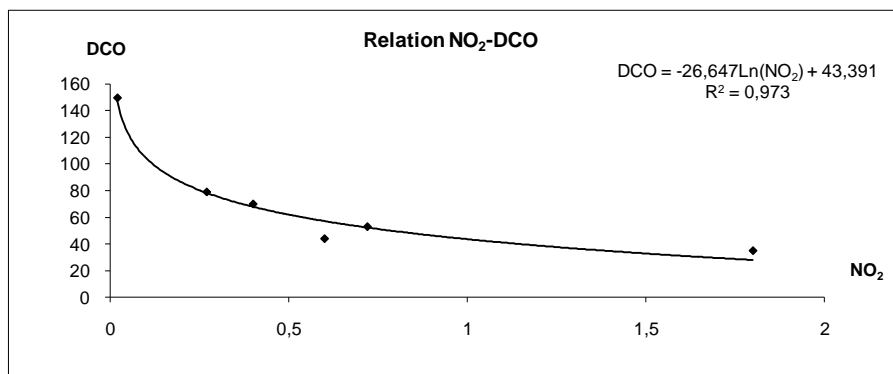
III-2-2 Régression non linéaire

➤ Oued Enndja

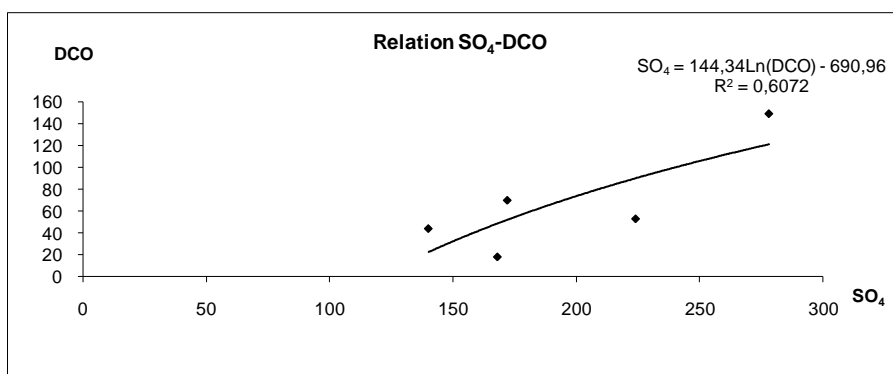
\*Le paramètre DCO



-a-



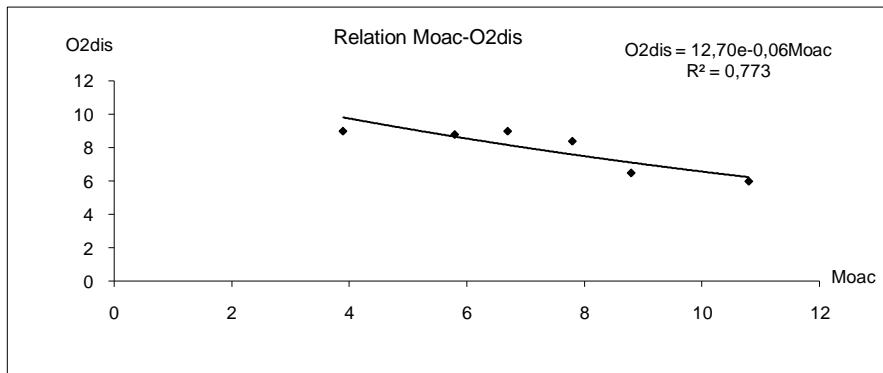
-b-



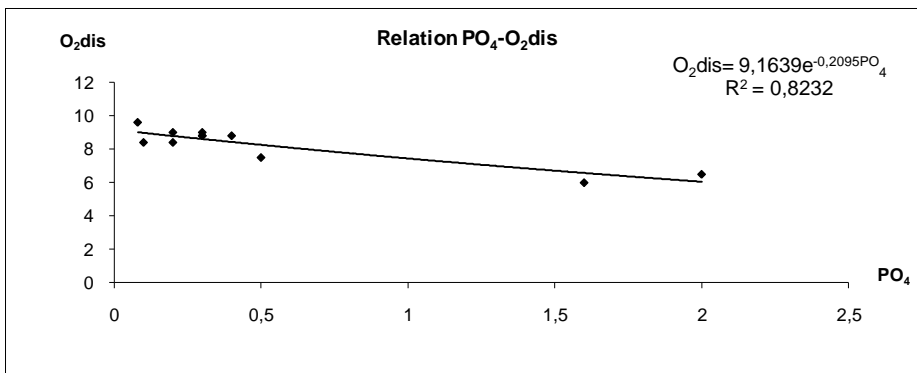
-c-

Figure (III.13): Relation du paramètre DCO avec les paramètres : MES<sub>105</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>4</sub>.

\*Le paramètre O<sub>2</sub>dis



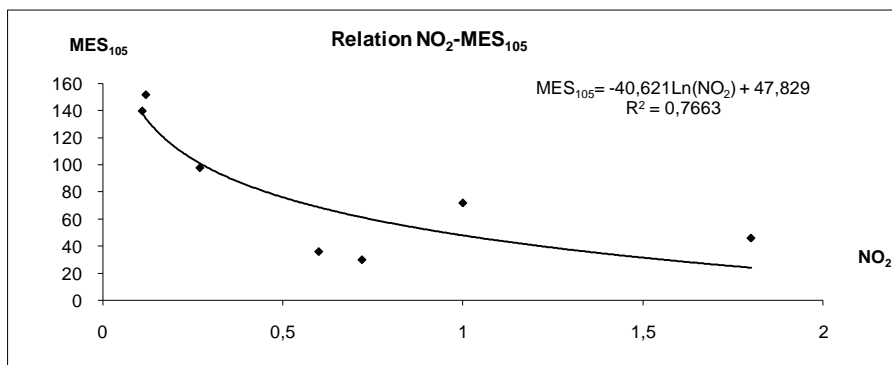
-a-



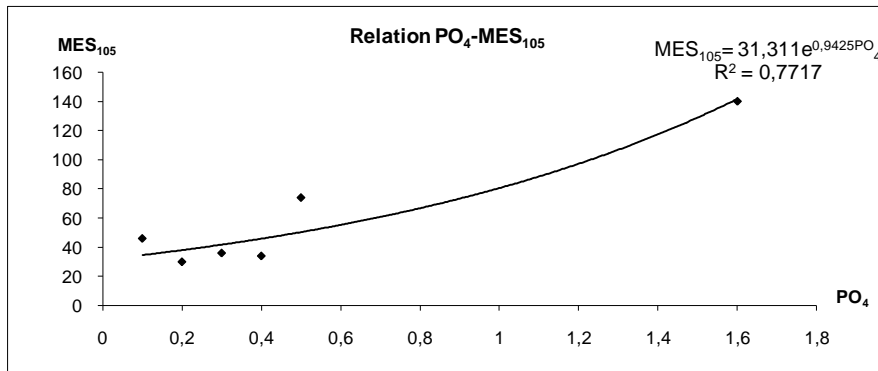
-b-

Figure (III.14): Relation du paramètre O<sub>2</sub>dis avec les paramètres : Mo<sub>ac</sub>, PO<sub>4</sub>.

\*Le paramètre MES<sub>105</sub>



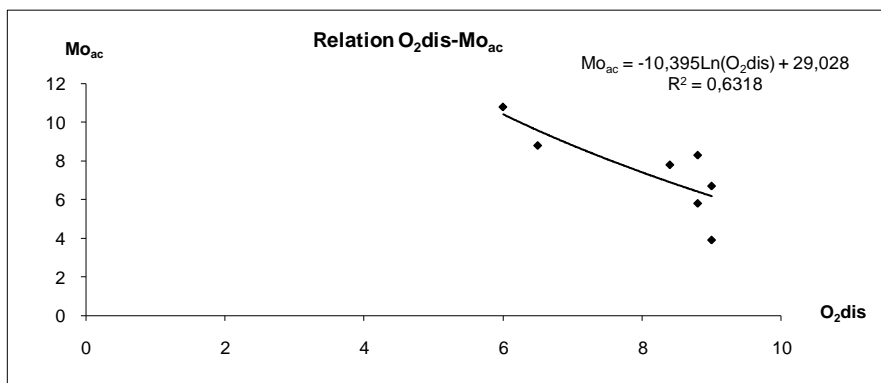
-a-



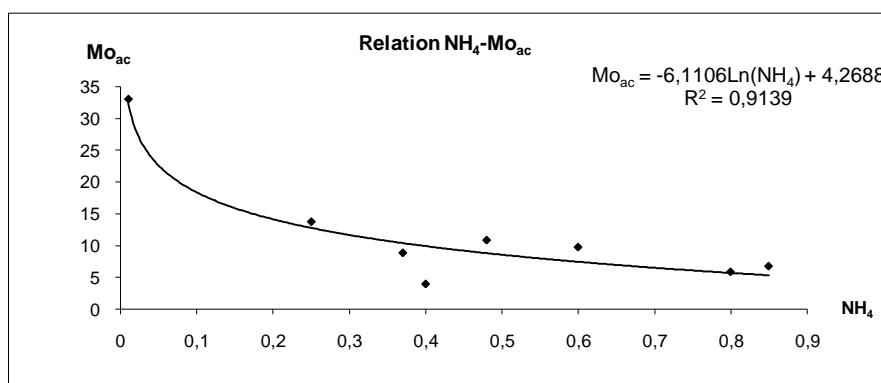
-b-

Figure (III.15): Relation du paramètre  $MES_{105}$  avec les paramètres :  $NO_2$ ,  $PO_4$ .

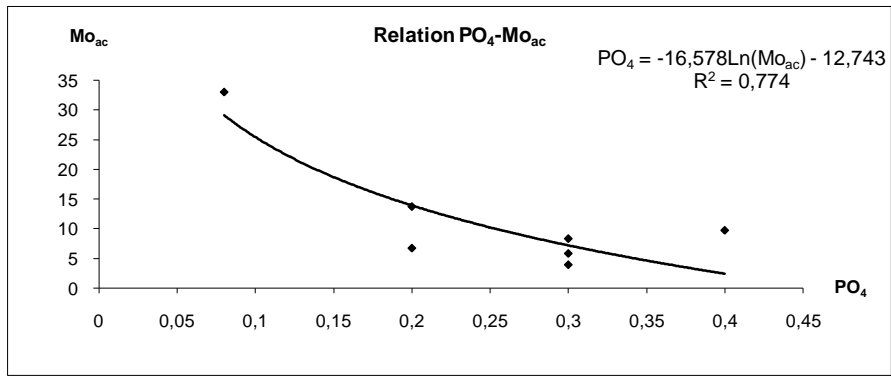
\*Le paramètre  $Mo_{ac}$



-a-



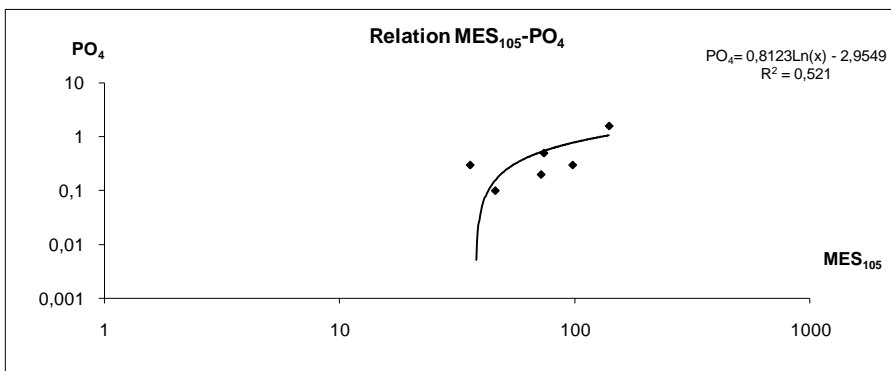
-b-



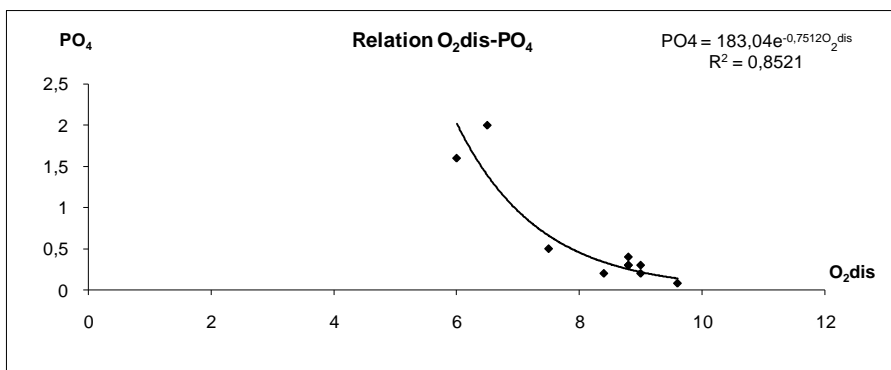
-c-

Figure (III.16): Relation du paramètre  $Mo_{ac}$  avec les paramètres :  $O_2dis$ ,  $NH_4$ ,  $PO_4$ .

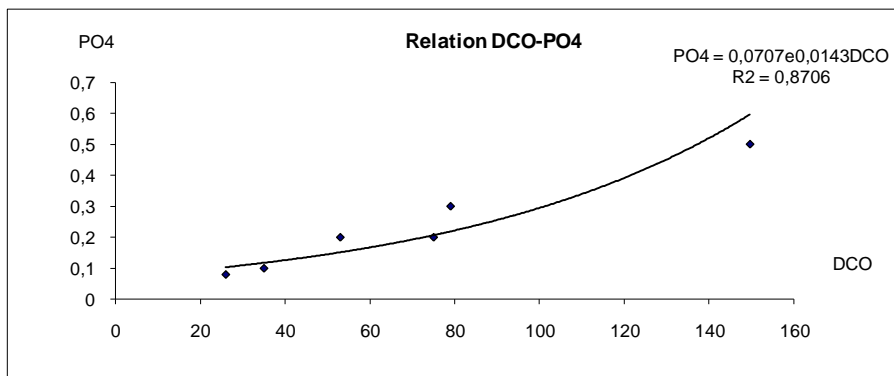
\*Le paramètre  $PO_4$



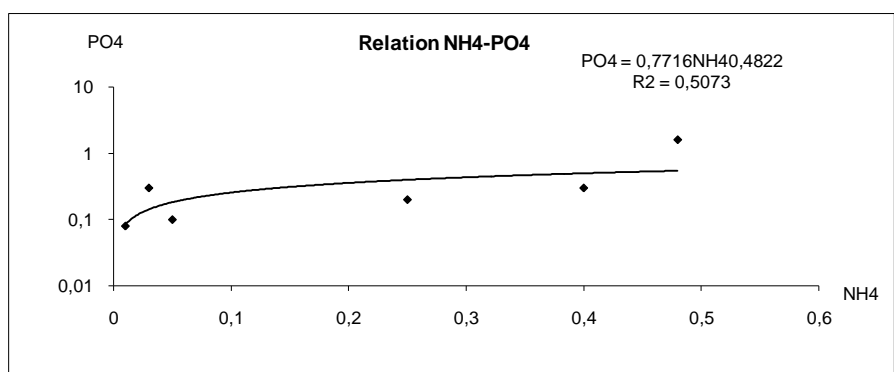
-a-



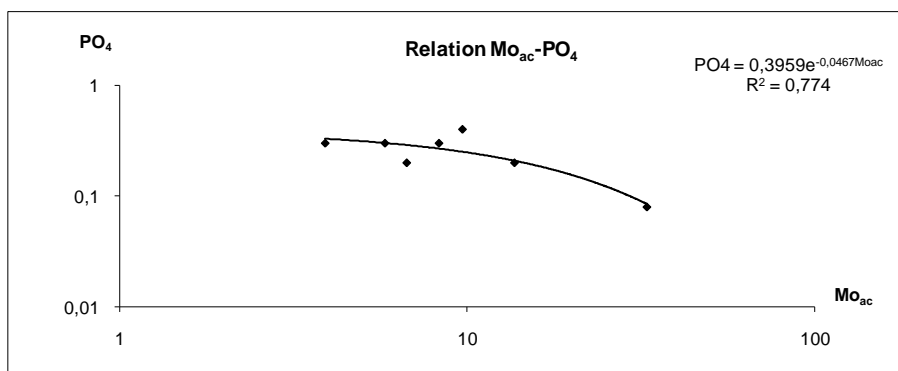
-b-



-c-



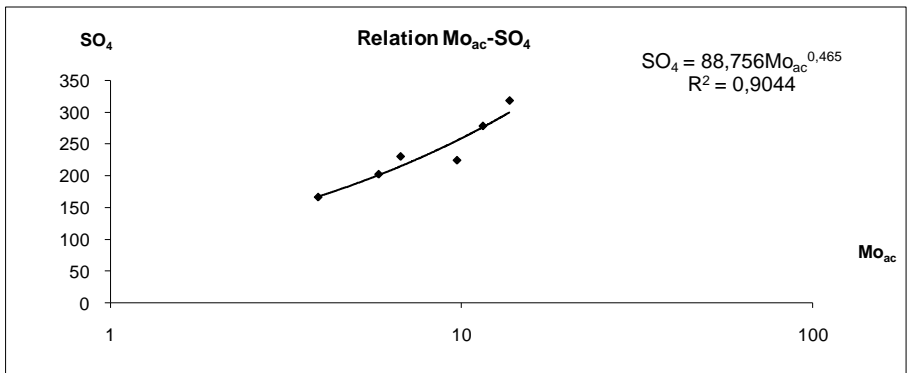
-d-



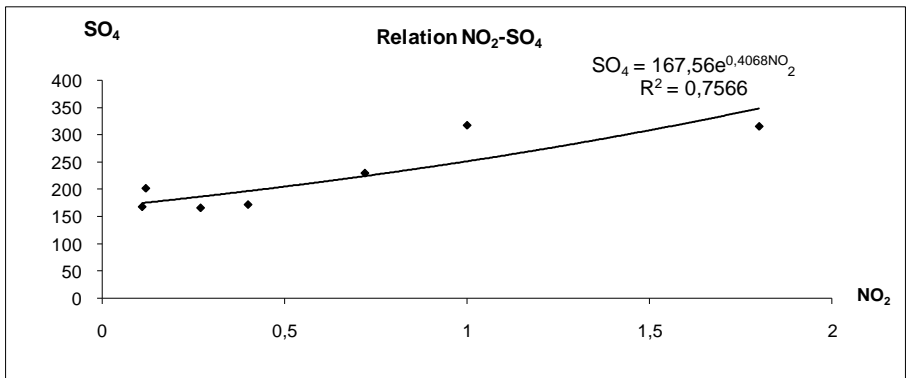
-e-

Figure (III.17): Relation du paramètre  $PO_4$  avec les paramètres :  $MES_{105}$ ,  $O_2dis$ ,  $DCO$ ,  $NH_4$ ,  $MOac$ .

\*Le paramètre  $SO_4$



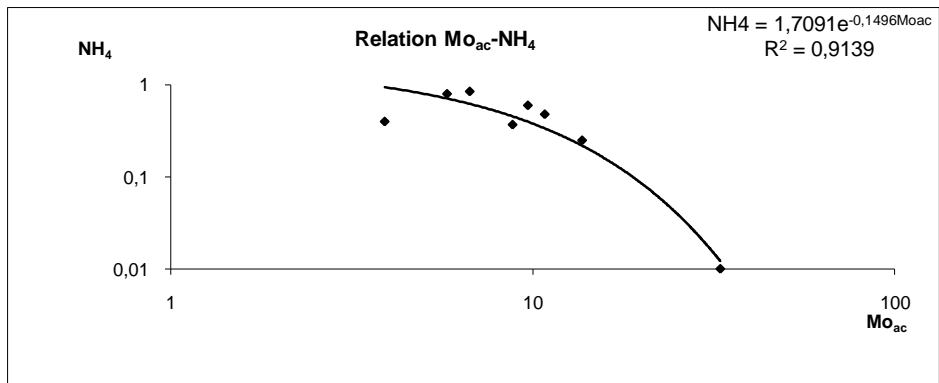
-a-



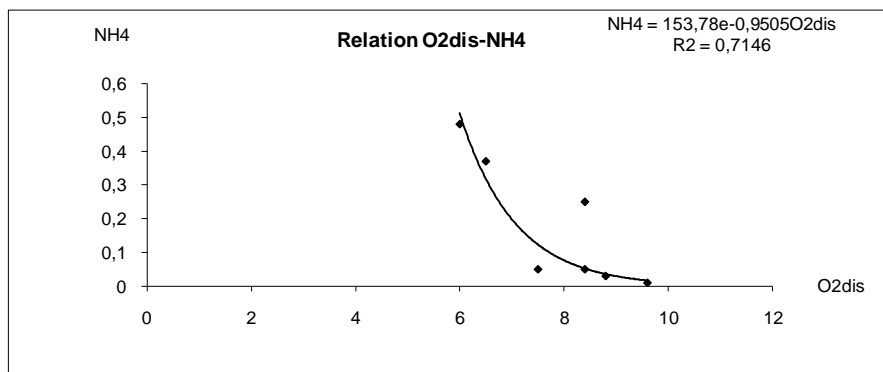
-b-

Figure (III.18): Relation du paramètre  $SO_4$  avec les paramètres :  $MO_{ac}$ ,  $NO_2$ .

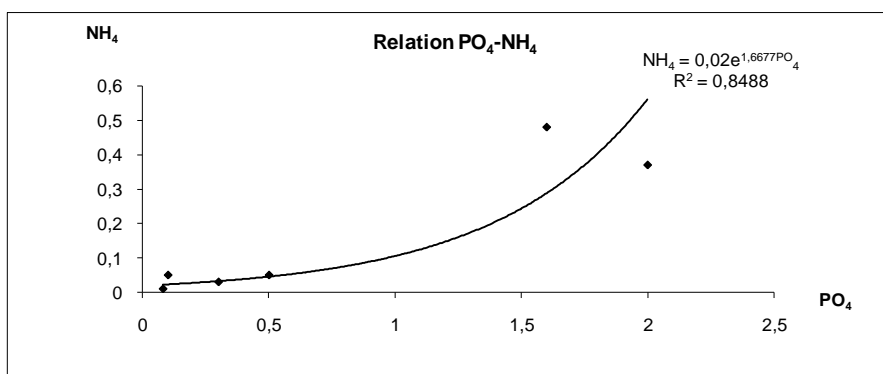
\*Le paramètre  $NH_4$



-a-



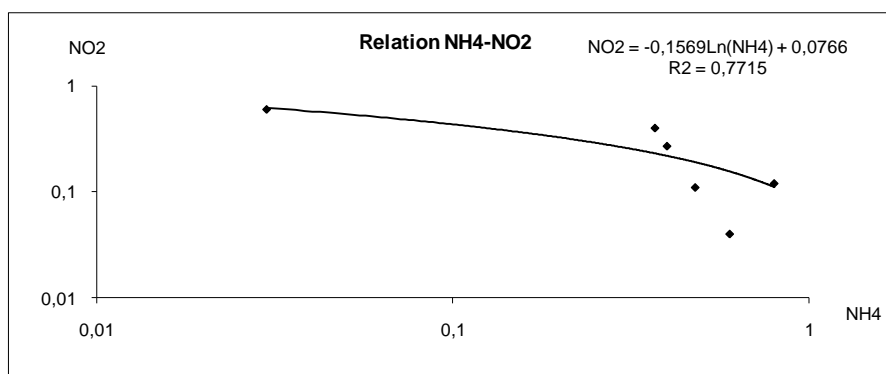
-b-



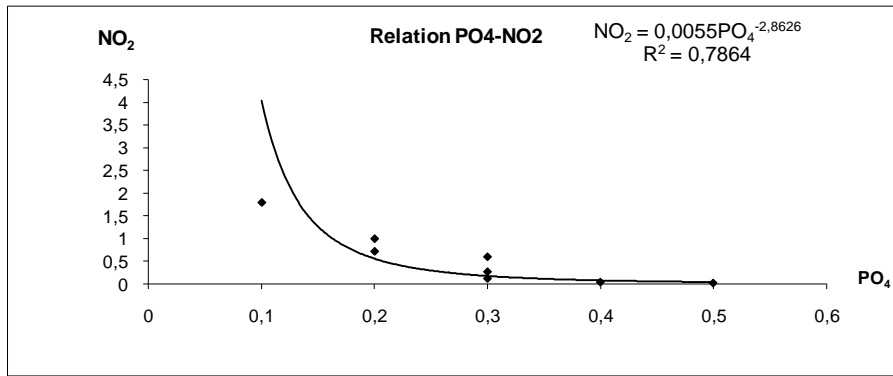
-c-

Figure (III.19): Relation du paramètre NH<sub>4</sub> avec les paramètres : O<sub>2</sub>dis, PO<sub>4</sub>.

\*Le paramètre NO<sub>2</sub>



-a-

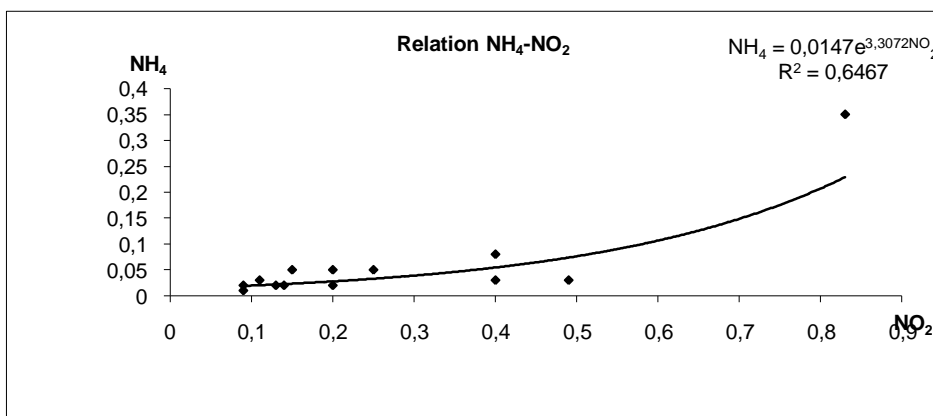
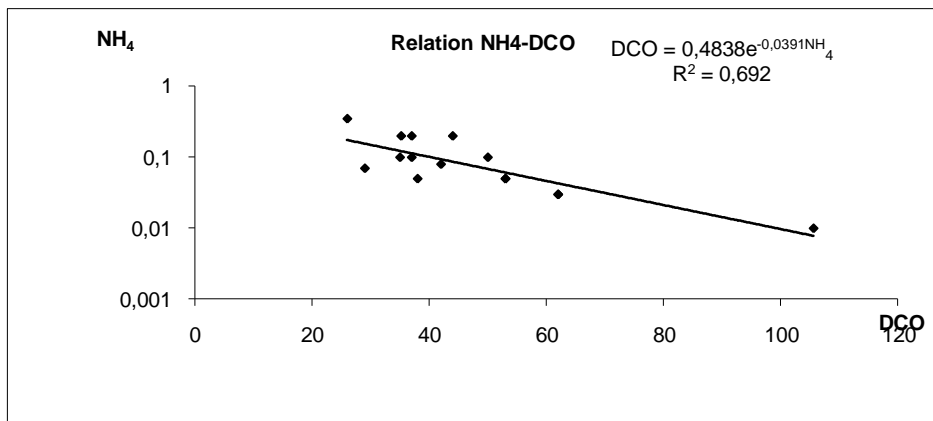


-b-

Figure (III.20): Relation du paramètre  $NO_2$  avec les paramètres :  $NH_4$ ,  $PO_4$ .

➤ Station de Béni Haroun

\*Le paramètre  $NH_4$



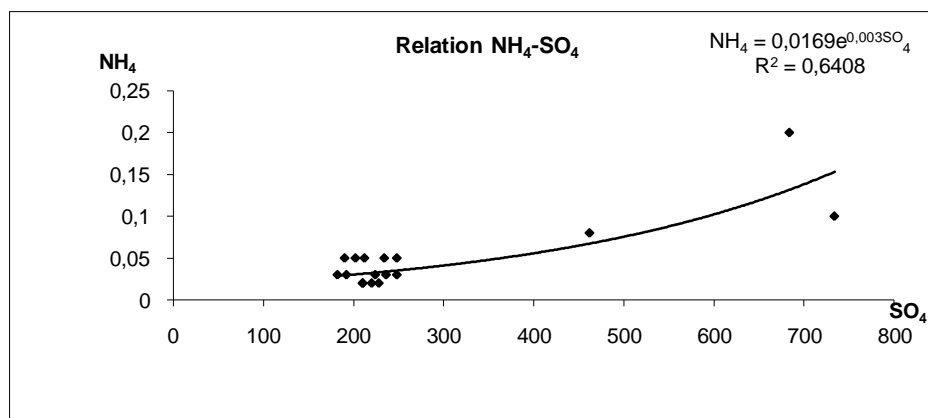
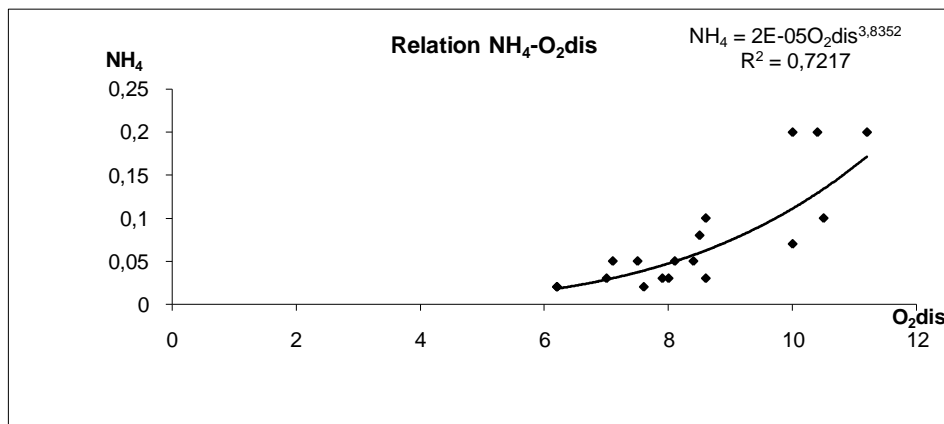
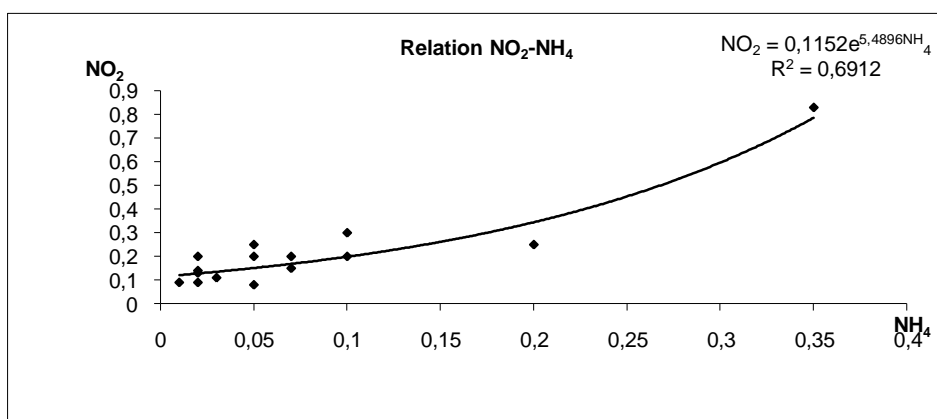


Figure (III.21): Relation du paramètre NH<sub>4</sub> avec les paramètres : DCO, NO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>dis, S<sub>O4</sub>.

\*Le paramètre NO<sub>2</sub>



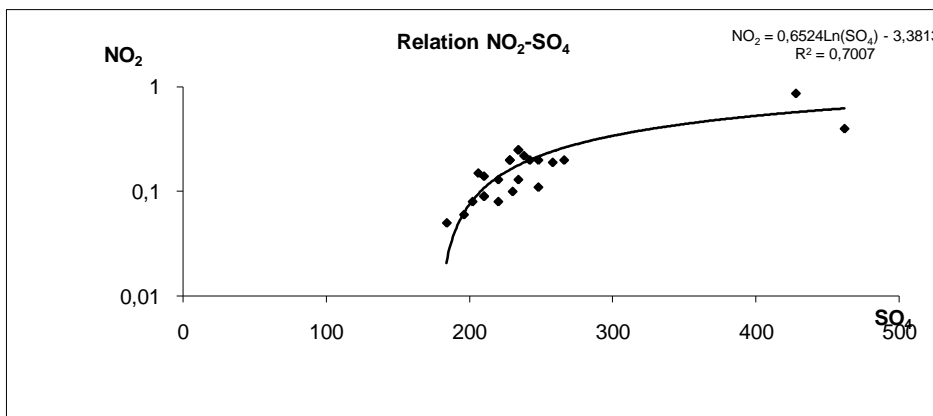
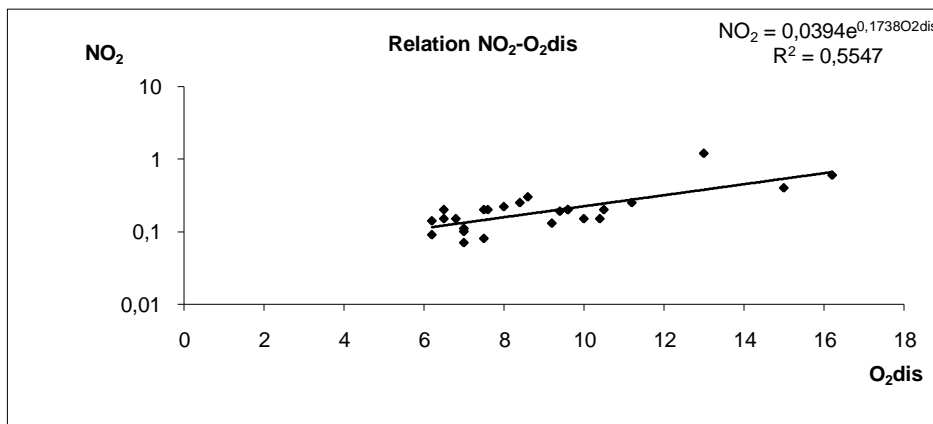


Figure (III.22): Relation du paramètre  $\text{NO}_2$  avec les paramètres :  $\text{NH}_4$ ,  $\text{O}_2\text{dis}$ ,  $\text{SO}_4$ .

\*Le paramètre  $\text{Moac}$

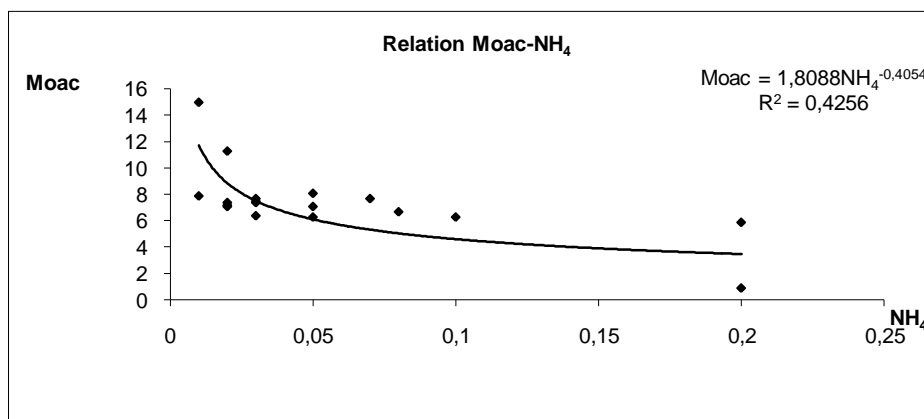


Figure (III.23): Relation  $\text{Moac-NH}_4$ .

\*Le paramètre  $O_2dis$

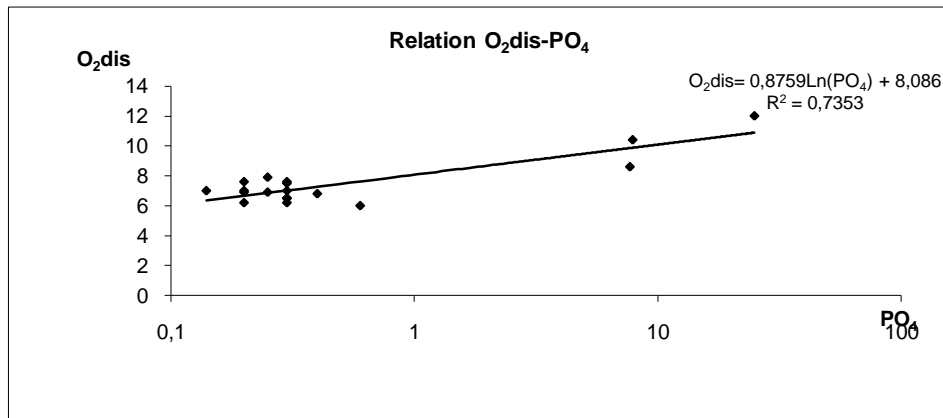


Figure (III.24): Relation  $O_2dis-PO_4$ .

III-3 Paramètres indicateurs de pollution

➤ Station Oued Endja

L'analyse des paramètres indicateurs de pollution dans le cour d'eau Oued Enndja a été effectuée on se basant sur des données mesurées dans la station d'Oued Endja (W.Mila), élaborés par l'Agence Nationale des ressources hydrique (ANRH, Constantine) durant la période (2010/2011).

• Variation du  $NH_4^+$

Nous avons représenté sur la figure (III.25), les variations moyennes mensuelles du paramètre  $NH_4^+$  sur une période de 11 mois, les concentrations moyennes de  $NH_4^+$  sont de l'ordre de 0,35 mg/l. Ils sont jugés très bonnes par rapport à la norme limitée à 1,5 mg/l.

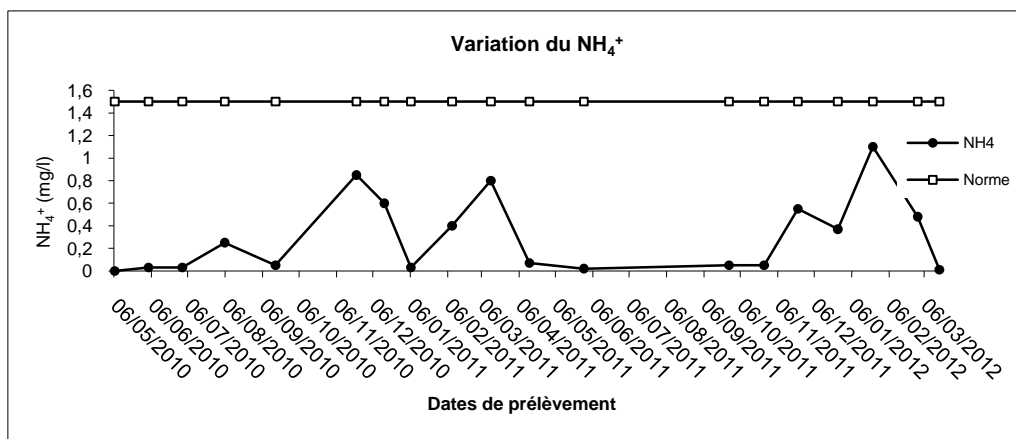


Figure (III.25) : Variation moyenne mensuelle du paramètre  $NH_4^+$  durant la période de (2010/2012).

• **Variation du  $\text{NO}_2^-$**

Les teneurs du  $\text{NO}_2^-$  sont obtenues à la station d'Oued Enndja, et avec une concentration moyenne de l'ordre de 0,46 mg/l. Ces résultats sont considérés acceptables (sous la norme limitée à 1mg/l). Sauf celles des dates 14/04/2011, 25/10/2011 qui sont considérées comme des teneurs élevées. Ces teneurs élevées proviennent de la transformation des nitrates  $\text{NO}_3^-$  en  $\text{NO}_2^-$  résultants essentiellement de la mauvaise utilisation des engrais, des rejets industriels et domestiques et qui peuvent être mortelles, puisqu'elles empêchent l'oxygène de se lier à l'hémoglobine. Une forte concentration en nitrites indique une pollution d'origine organique.

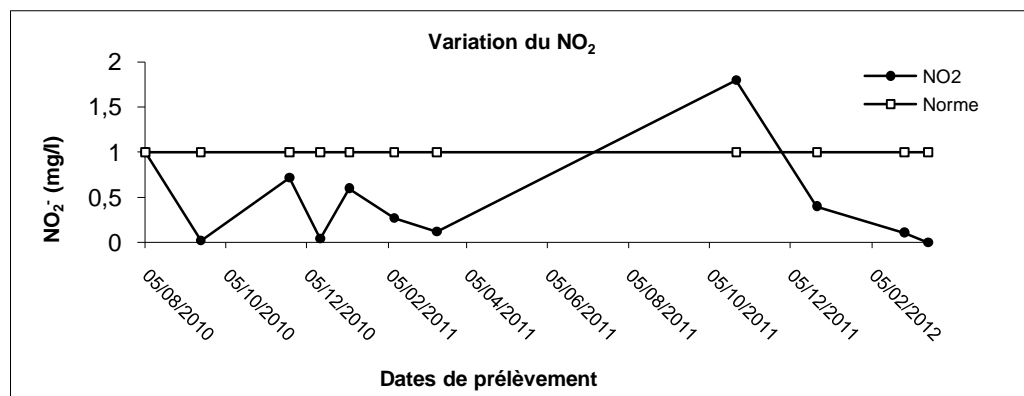


Figure (III.26) : Variation moyenne mensuelle du paramètre  $\text{NO}_2^-$  durant la période de (2010/2012).

• **Variation d' $\text{O}_2$  dissous**

Les résultats d'analyse de l'Oxygène dissous obtenus pour la station d'Oued Enndja montrent une diminution des concentrations d' $\text{O}_2$  dissous (sous la norme 70 mg/l d' $\text{O}_2$ ) durant toute la période d'observation (2010/2012), elle peut être due essentiellement à leur consommation par les micro-organismes qui oxydent les matières organiques ou minérales.

-L'OMS préconise que les niveaux d'oxygène dissous soit souvent aussi près que possible de la saturation (l'eau saturée en  $\text{O}_2$  est une eau qui contient 9,1 mg/l  $\text{O}_2$  à 20c°).

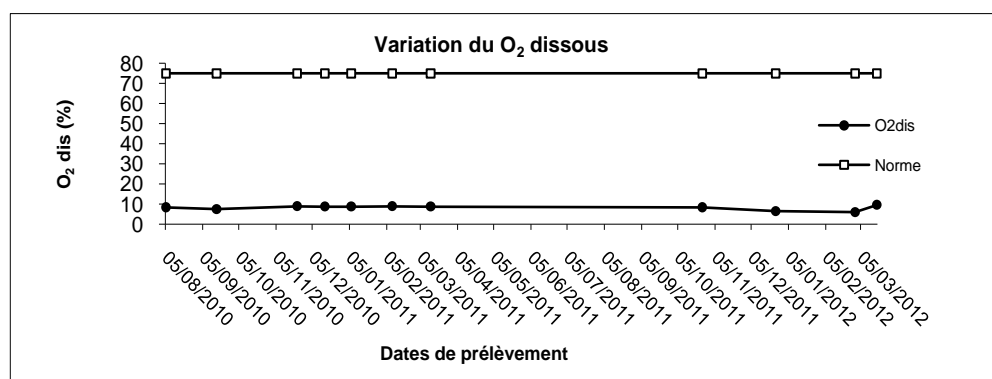


Figure (III.27) : Variation moyenne mensuelle de l' $\text{O}_2$  dissous durant la période (2010/2012).

• **Variation du  $\text{NO}_3^-$**

Les résultats de mesure du paramètre  $\text{NO}_3^-$  à la station d'Oued Enndja montre une variation moyenne de l'ordre de 7,42 mg/l, elles peuvent provenir de l'utilisation des engrais pour la fertilisation des sols agricoles. Ces constatations peuvent être le résultat de transformation du  $\text{NO}_3^-$  en  $\text{NO}_2^-$ , elles ne dépassent guère la norme qui est limitée par 25 mg/l durant toute la période d'observation (2010/2012), donc les teneurs en  $\text{NO}_3^-$  sont jugées très bonnes, absence de la pollution azotique.

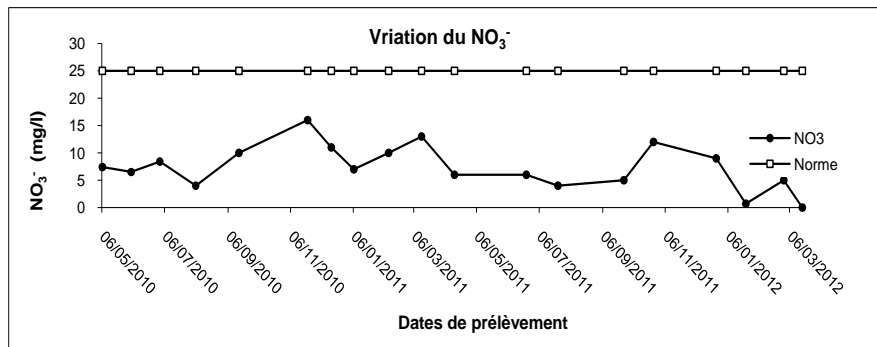


Figure (III.28) : Variation moyenne mensuelle du  $\text{NO}_3^-$  dissous durant la période (2010/2012).

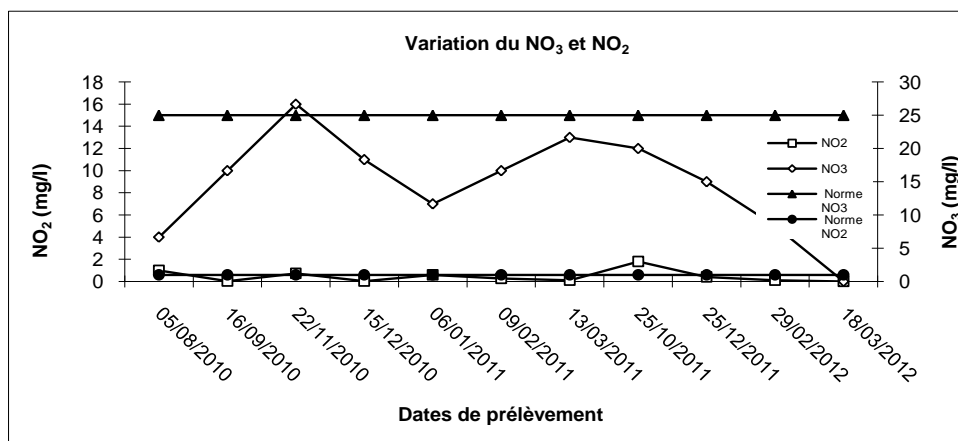


Figure (III.29) : Evolution temporelle de  $\text{NO}_3^-$  et  $\text{NO}_2^-$  dissous durant la période (2010/2012).

• **Variation du  $\text{SO}_4$**

Les valeurs de  $\text{SO}_4$  à la station d'Oued Enndja sont de l'ordre 218 mg/l. Ce sont des concentrations très élevées par rapport à la norme (150 mg/l), elles comportent un risque de troubles diarrhéiques notamment chez les enfants (Potelon et Zysman, 1998). Cette présence de sulfates peut être liée à la nature des terrains traversés et des rejets industriels et l'anhydride sulfureux atmosphérique. (Marc Satin, 1995 ; Potelon et Zysman 1998). Cependant ces concentrations dépassant les normes peuvent affecter les enfants et les nouveaux consommateurs d'eau (troubles, gastro-intestinaux, et diarrhéique), la consommation régulière d'eau chargée en sulfates fait disparaître de ces effets laxatifs.

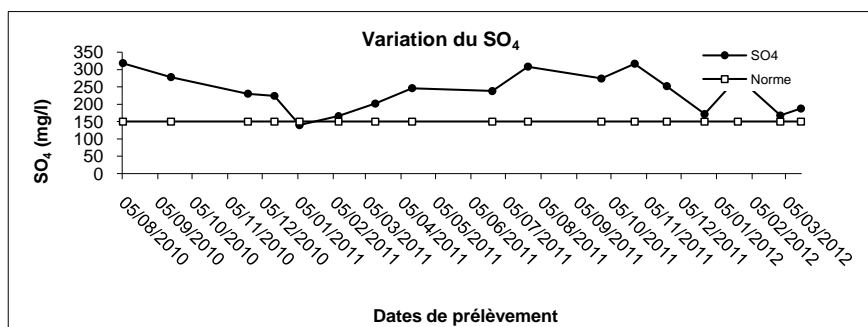


Figure (III.30) : Variation moyenne mensuelle du paramètre  $SO_4$  durant la période de (2010/2012).

• **Variation de la turbidité**

Les résultats de mesure ont été obtenus durant la période de 2010-2012 et montre des valeurs qui dépassent largement les 2 FTU, les concentrations élevées de turbidité sont obtenus durant les mois de Décembre 2010, Octobre 2011, et Avril 2011 et elles atteignent respectivement 6 FTU, 12 FTU et 14 FTU, elles sont dues essentiellement à la présence d'une quantité importante des matières en suspensions dans l'eau à cause de l'érosion des sols dans le sous bassin de l'oued Enndja, les MES élevées ont un pouvoir d'adsorption ce qui constitue des supports aux bactéries. Ce paramètre présente aussi un risque sanitaire, à cause de sa possibilité à diminuer l'efficacité des traitements de désinfections (la turbidité accroît la consommation de chlore) et à générer des risques microbiologiques.

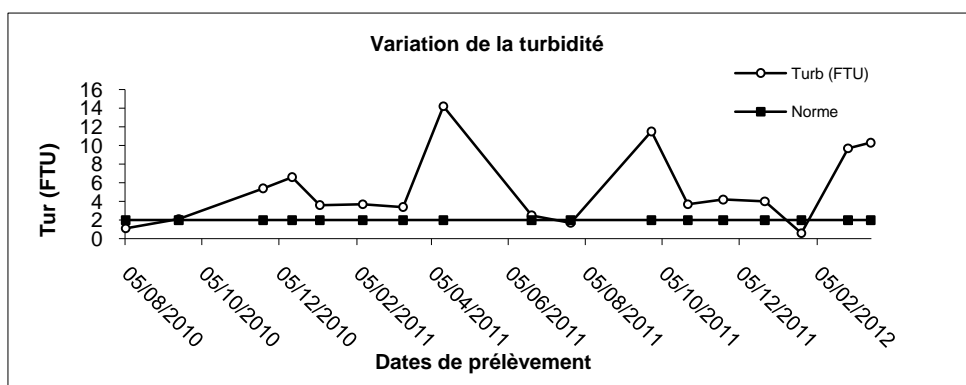


Figure (III.31) : Variation moyenne mensuelle de la turbidité durant la période de (2010/2012).

• **Variation du PO<sub>4</sub>**

Les résultats de mesures du paramètre PO<sub>4</sub> à la station d'Oued Enndja montre selon leurs présentations graphiques deux phases : la première depuis les débuts de mesure (06/05/2010) jusqu'au (25/10/2010) où les teneurs dans l'ensemble sont faibles et inférieures à la norme (1mg/l), puis on remarque une augmentation brusque des concentrations dans la deuxième phase allant de 22/11/2011 et qui peut être due à l'accroissement d'utilisation des engrais ou bien des rejets bleus industrielles et des détergents ou lessives phosphorées. Les concentrations maximales sont enregistrées durant les mois d'Octobre, Décembre et Janvier, ils ont atteint des valeurs de : 7, 2, 2,4 mg/l respectivement. Les phosphates sont les principaux responsables d'eutrophisation.

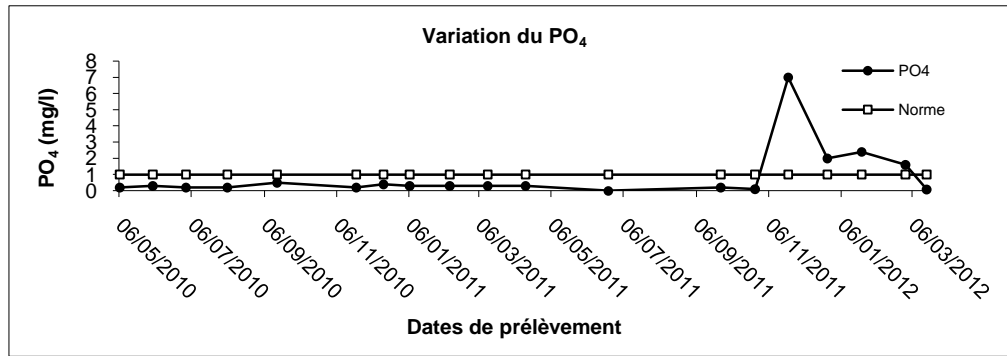


Figure (III.32) : Variation moyenne mensuelle du paramètre  $PO_4$  durant la période de (2010/2012).

• **Variation de la DCO**

L'ensemble des résultats de mesure à de la station étudiée montre des teneurs très élevées du paramètre DCO avec une moyenne de 53,69 mg/l O<sub>2</sub> par rapport à la norme (30mg/l). Cette augmentation de la demande chimique en oxygène traduit une dégradation naturelle des matières organiques contenues dans l'eau (développement des micro-organismes aquatiques, qui sont caractérisées par le phénomène d'eutrophisation, ces derniers ne sont pas dangereux mais ils comportent un risque sanitaire).

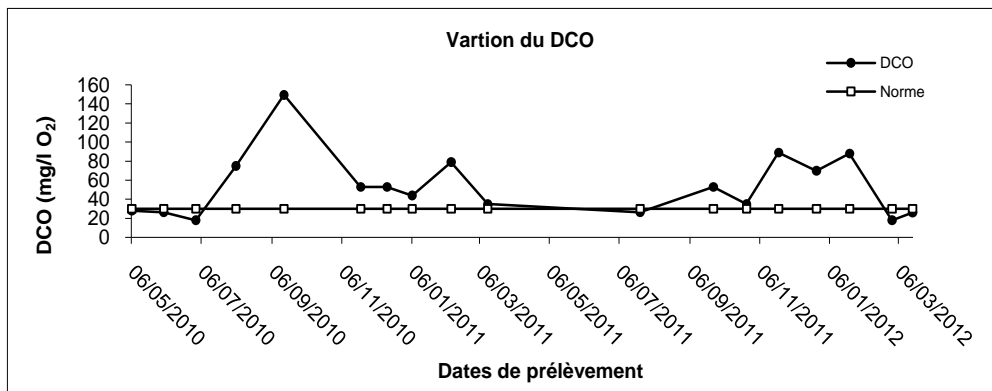


Figure (III.33) : Variation moyenne mensuelle du paramètre  $DCO$  durant la période de (2010/2012).

• **Variation de la DBO<sub>5</sub>**

Les teneurs élevées du paramètre DBO<sub>5</sub> montrées par les mesures faites à la station étudiée et qui dépassent largement la norme limitée par (3mg/l) indiquent la consommation potentielle de l'oxygène par voie biologique (la présence des matières organiques biodégradables polluantes exigent la consommation d'O<sub>2</sub>).

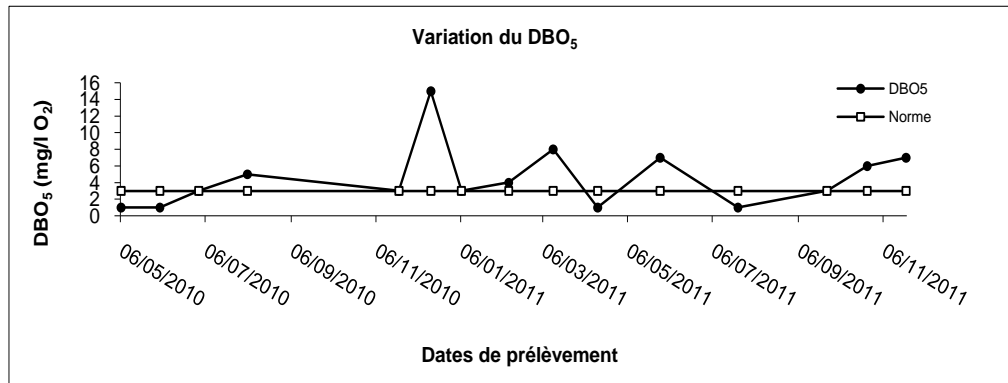


Figure (III.34) : Variation moyenne mensuelle du paramètre DBO<sub>5</sub> durant la période de (2010/2012).

❖ **La qualité des eaux de la cour d'eau**

Les analyses des paramètres indicateurs de pollution pour la station de oued Enndja montrent une absence de la pollution azotique ce qui la confirme sont les faibles teneurs de nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) et des nitrites (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) ainsi que celles du paramètre NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, une augmentation des teneurs de phosphates observée au cours des dernières mesures ce qui peut provoquer une prolifération des algues dans le cour d'eau et en particulier en période d'été.

Les paramètres qui montrent des teneurs élevées sont ceux du SO<sub>4</sub> et de la turbidité, due aux concentrations faibles d'oxygène dissous et à l'augmentation de la demande en O<sub>2</sub> pour les paramètres DBO<sub>5</sub> et DCO. Les résultats obtenus confirment bien la qualité médiocre, des eaux étudiées.

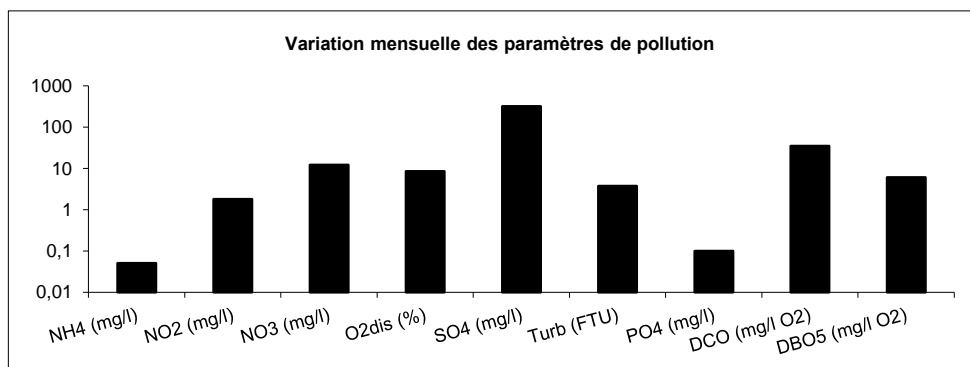


Figure (III.35) : Variation moyenne mensuelle des paramètres de pollution à la station Oued Enndja.

### III.4 Résultats organoleptiques et physico-chimiques des eaux de l'oued étudié

- **PH et alcalinité**

Les valeurs mesurées du PH dans le cours d'eau sont comprises dans la gamme des eaux superficielles et varient entre 7 et 7,9, alors que les mesures de l'alcalinité sont comprises entre 125 et 315. Donc les eaux du cours d'eau sont alcalines et basiques.

- **Conductivité et salinité**

Avec une variation moyenne de 1310,5 %  $\mu\text{s/cm}$  et des teneurs comprises entre 720  $\mu\text{s/cm}$  et 2090  $\mu\text{s/cm}$ , la conductivité et la salinité peuvent atteindre des valeurs maximales et dépassent la concentration préconisée par la réglementation (1000  $\mu\text{s/cm}$ ).

- **Les chlorures**

Les mesures des chlorures obtenues par la station Oued Endja montrent une variation moyenne mensuelle de l'ordre de 177,25 mg/l et des teneurs comprises entre 45 mg/l et 415 mg/l, les chlorures n'ont pas des effets toxiques sur la santé humaine mais leur teneurs élevées attaquent les canalisations métalliques et elles peuvent indiquer une pollution par les eaux usées ou industrielles.

### III.5 Relation entre les paramètres de pollution

- **Turbidité et matières en suspension (MES)**

La figure (III.36) montre que l'augmentation de la turbidité est liée proportionnellement à l'accroissement des teneurs des matières en suspension (MES). Des valeurs moyennes maximales de MES qui peuvent atteindre les 150 mg/l, cependant les valeurs de la turbidité varient respectivement de la même façon avec les MES avec des teneurs moyennes maximales qui peuvent atteindre les 10 FTU.

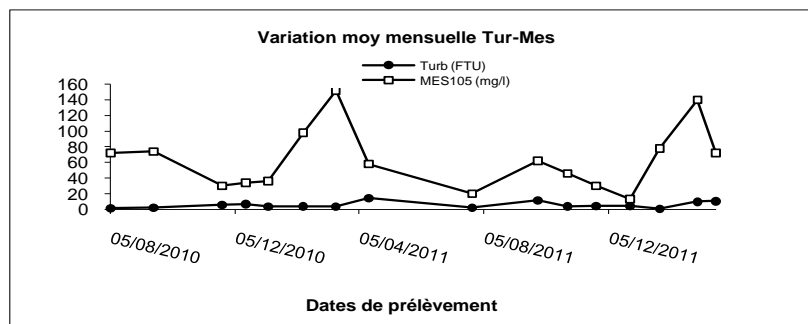


Figure (III.36) : Variation de la **turbidité** et des **matières en suspension (MES)** au niveau du cours d'eau.

• L'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) les Nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) et les Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ )

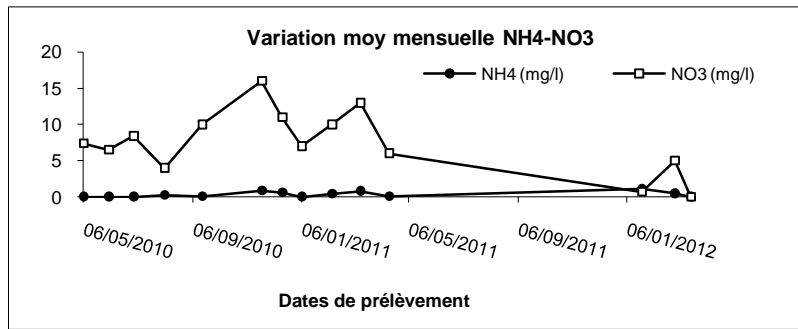


Figure (III.37) : Variation de l'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) et les Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) au niveau du cours d'eau.

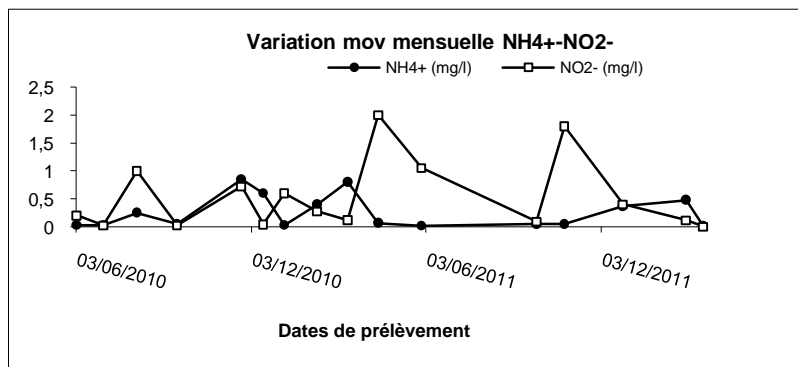


Figure (III.38) : Variation de l'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) et les Nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) au niveau du cours d'eau.

Les résultats montrent une variation proportionnelle entre les teneurs du  $\text{NH}_4^+$  et celles du  $\text{NO}_2^-$ . La majorité des valeurs mesurées sont inférieures à 3 mg/l, la diminution du  $\text{NH}_4^+$  observée est expliquée par la dilution des eaux à cause d'augmentation d'apport en temps pluvieux et en plus la transformation du  $\text{NH}_4^+$  en  $\text{NO}_2^-$  par les bactéries (Decebollos et Deoliveira, Ryding et al).

• L'oxygène dissous et l'oxygène saturé

A partir des résultats d'analyse, on peut constater la diminution d'oxygène dissous dans l'ensemble des mesures où elles ne dépassent pas les 10%, cette dernière revient à la consommation de l' $\text{O}_2$  dissous par les micro-organismes durant les processus de dégradation des matières, en plus l'augmentation de la turbidité qui empêche la pénétration de l'oxygène atmosphérique dans l'eau.

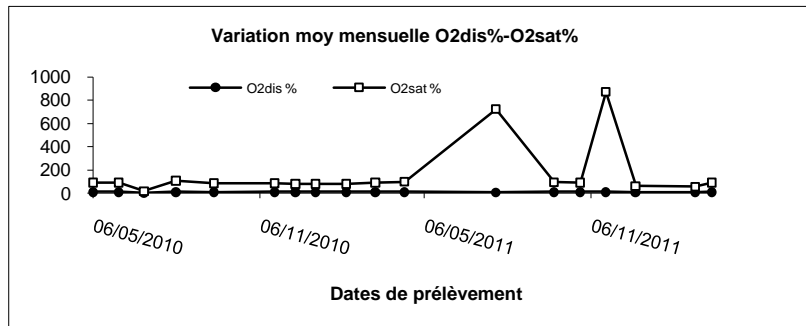


Figure (III.39) : Variation de l'oxygène dissous  $O_{2diss}$  et l'oxygène saturé  $O_{2sat}$  au niveau du cours d'eau.

- **La demande biologique et chimique en oxygène ( $DBO_5$  et DCO)**

D'après la représentation graphique montrée ci-dessous, on remarque des valeurs élevées de la demande chimique en oxygène qui dépasse les 70 mg/l d' $O_2$ , cela peut être expliqué par une grande consommation d'oxygène afin d'oxyder les substances réductrices ou oxydables contenus dans l'eau de l'Oued d'étude et qui est essentiellement d'origine industriel. Alors que les teneurs obtenues de la charge organique sont faibles et cela est montrée par la faiblesse des teneurs de la  $DBO_5$  (<20 mg/l d' $O_2$ ).

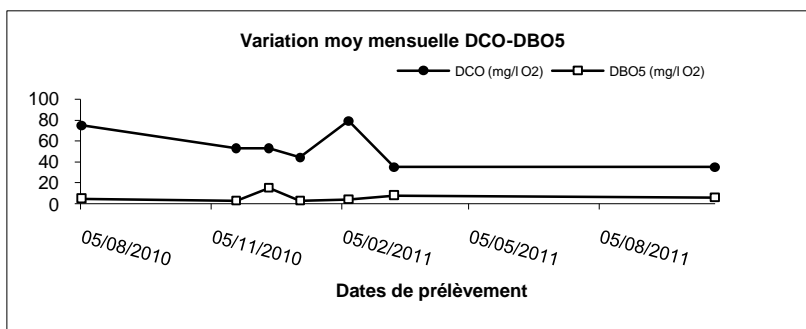


Figure (III.40) : Variation de la  $DBO_5$  et DCO au niveau du cours d'eau.

### III.6 Paramètres indicateurs de pollution Stations Comparatives : Menia, Béni Haroun

Les analyses des paramètres de pollution ont été effectuées en se basant sur des données mesurées par l'ANRH dans les stations d'el Menia et celle de Béni Haroun, nous disposons d'une série de données de 30 valeurs des paramètres de pollution s'étalant de 07/03/2000 jusqu'au 22/11/2011 pour chacune des deux stations.

- $NH_4^+$

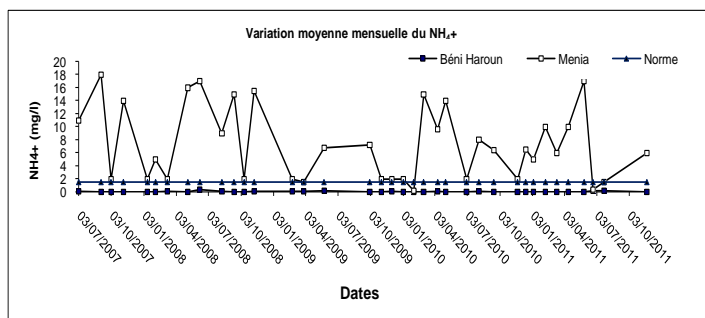


Figure (III.41) : Variation moyenne mensuelle du NH<sub>4</sub><sup>+</sup> durant la période de (2007/2011) pour les stations Menia-Béni Haroun.

Nous avons représenté sur la figure (III.41), les variations moyennes mensuelles du paramètre NH<sub>4</sub><sup>+</sup> sur une période de 29 mois pour les deux stations : El Menia et Beni Haroun. On remarque que les valeurs des concentrations de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> ne dépassent guère la norme limité par 1,5 mg/l pour la station de Béni Haroun. Donc ils sont jugées très bonnes contrairement à celle d’El Menia qui enregistrent des teneurs très élevées cela peut être due à un processus de dégradation incomplète de la matière organique et peut contribuer aux pluies acides.

- NO<sub>2</sub><sup>-</sup>

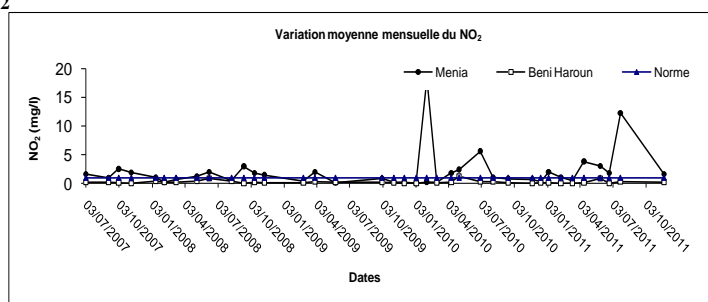


Figure (III.42) : Variation moyenne mensuelle du NO<sub>2</sub> durant la période de (2007/2011) pour les stations Menia- Béni Haroun.

La figure (III.42) représente les variations des nitrites NO<sub>2</sub> des deux stations :Menia et Beni Haroun. On constate que les concentrations de la station de Béni Haroun respectent la norme admissible 1 mg/l. Alors que celles d’el Menia dépassent cette teneur et elles peuvent atteindre plus de 15 mg/l de NO<sub>2</sub><sup>-</sup>. Les nitrites peuvent aussi se combiner avec certains acides aminés, les constituants élémentaires des protéines pour former des nitrosamines. L’effet cancérigène de certaines de ces dernières a été démontré chez l’animal.

- NO<sub>3</sub>

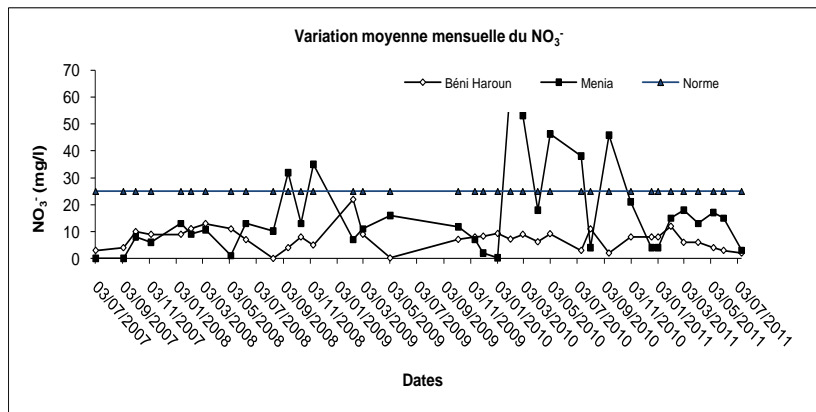


Figure (III.43) : Variation moyenne mensuelle du  $\text{NO}_3^-$  durant la période de (2007/2011) pour les stations Menia-Béni Haroun.

•  $\text{SO}_4$

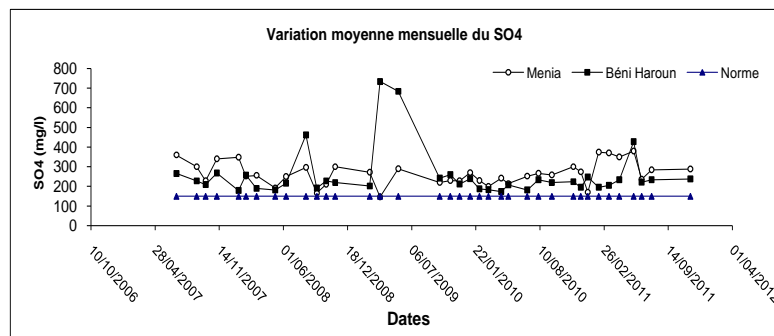


Figure (III.44) : Variation moyenne mensuelle du  $\text{SO}_4$  durant la période de (2007/2012) pour les stations Menia-Béni Haroun.

• Turbidité

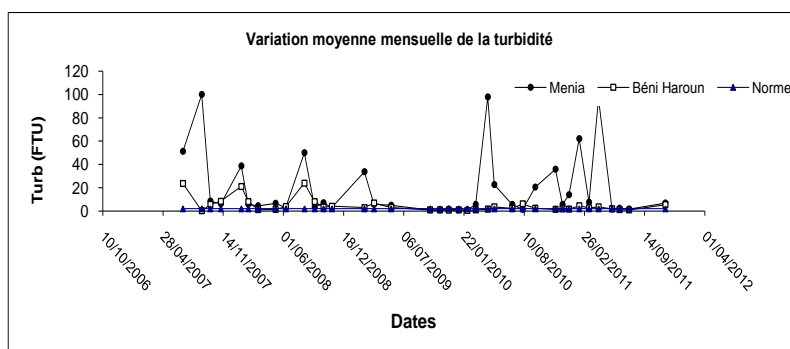


Figure (III.45) : Variation moyenne mensuelle de la turbidité durant la période de (2007/2011) pour les stations Menia-Béni Haroun.

• **PO<sub>4</sub>**

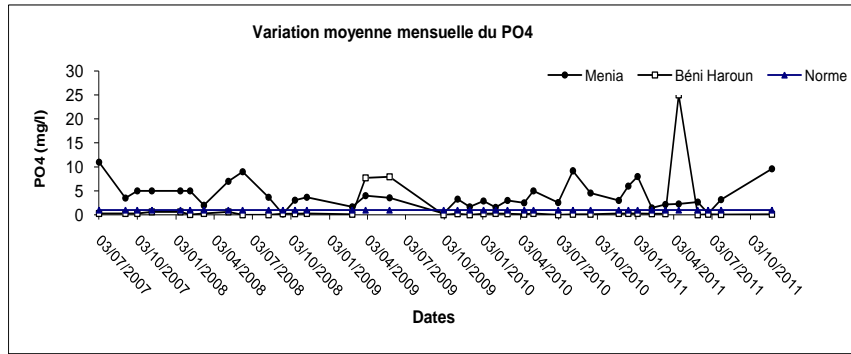


Figure (III.46) : Variation moyenne mensuelle du **PO<sub>4</sub>** durant la période de (2007/2011) pour les stations Menia-Béni Haroun.

• **DCO**

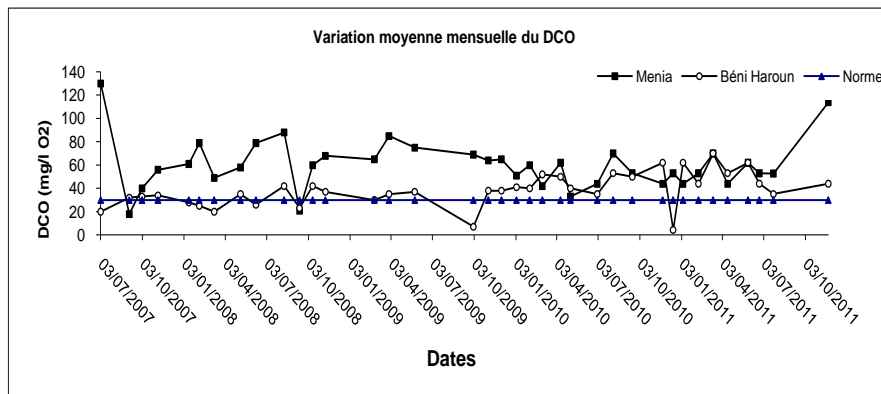


Figure (III.47) : Variation moyenne mensuelle du **DCO** durant la période de (2007/2011) pour les stations Menia-Béni Haroun.

• **DBO<sub>5</sub>**

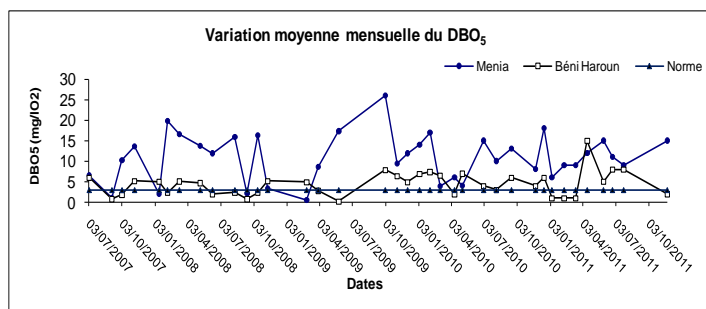


Figure (III.48) : Variation moyenne mensuelle du paramètre **DBO<sub>5</sub>** durant la période de (2007/2011) pour les stations Menia-Béni Haroun.

## **Conclusion**

Après avoir collecter une bonne banque de données constituée des paramètres de pollution aux stations d' Oued Enndja, Béni Haroun, El Menia fournies par l'agence nationale des ressources hydriques A.N.R.H de Constantine , on a procédé à une analyse détaillée des ces paramètres.

L'analyse des composantes principales ACP nous a permis d'identifier les paramètres représentatifs pour chaque station et qui sont : K,  $Rs_{105}$ , Cl, Na à la station de Oued Enndja, le Na,  $Rs_{105}$ , cond, et Cl à Béni Haroun, et  $HCO_3$ ,  $PO_4$ ,  $Rs_{105}$ ,  $Mo_{ac}$  et Na à Menia.

-la régression multiple entre les paramètres de pollution des trois stations, a montré la faiblesse de corrélations linéaires qui sont dans la majorité des corrélations entre deux paramètres seulement ce qui a nécessité de procéder à celle non linéaire qui a donnée de bonne résultats avec des coefficients de détermination allant de 0, 50 à 0, 90.

L'analyse des paramètres indicateurs de pollution à Oued Enndja a montré l'enregistrement des bonnes teneurs en  $NH_4^+$ ,  $NO_2$ , et  $NO_3$  et qui respectent les normes prescrites.

-Une diminution de la teneur d' $O_2$  qui est due à son la consommation par les micro-organismes.

-Des teneurs élevées en  $SO_4$ , liée principalement aux rejets industriels, de la turbidité due à la présence des MES provenant essentiellement de l'érosion, et de la DCO et  $DBO_5$  signes de dégradation des matières biodégradables contenues dans les eaux de Oued Enndja.

-Pour les deux stations comparatives : Béni Haroun et El Menia, les résultats d'analyse ont montrés : des teneurs élevées en  $NO_2$ ,  $NO_3$ ,  $NH_4$  à la station de Menia contrairement à celles enregistrées à Béni Haroun qui sont jugées bonnes.

-Des teneurs qui ne respectent pas les normes prescrites pour les deux stations concernant les paramètres de turbidité,  $DBO_5$ , DCO et  $PO_4$ , avec des teneurs toujours élevées à la station de Menia par rapport à celle de Béni Haroun.

## **Conclusion**

Notre étude consiste en deux parties : l'étude du transport solide en suspension à l'endroit de "Oued Enndja –sous bassin Déhamcha-", et celle de la "Pollution du cour d'eau" qui est une analyse des eaux d'oued afin de conclure une idée générale sur la nature des polluants transporté par ce dernier.

D'abord la synthèse bibliographique, nous a permis de mieux comprendre le phénomène de transport solide en suspension, concernant ses agents déterminants, ses différents aspects, ses méthodes de mesures et ses conséquences sur les terrains naturels. Ainsi que les travaux de recherches réalisés dans ce domaine et particulièrement en Algérie.

Il est à noté que le transport solide par charriage reste encore un aspect mal déterminé du point de vue de la difficulté de mesure donc il nécessite encore des recherches plus poussées.

Ensuite l'étude des conditions physico-géologiques de notre zone d'étude (les trois sous-bassins : 10-01 Oued Déhamcha-Kébir amont, 10-02 Oued Kébir amont-Enndja et le 10-03 Oued Rhumel amont du grand bassin versant Kébir Rhume, et leur réaction avec les mécanismes du phénomène, et qui s'avère d'une grande importance, en particulier sur leur effets sur les écoulements superficiels, qui jouent un rôle prépondérant dans l'érosion des terrains traversés.

Du fait de sa situation de part dans le piémont sud tellien qui correspond au bassin néogène de Constantine prolongée à l'ouest par la nappe de Djemila et d'autre part dans les massifs de Nord cernés à la chaîne Numidique, où la dominance des formations marneuses et argileuses avec quelques séries de calcaires est remarquable, dans ces secteurs aux fortes pentes, la dominance du matériel tendre, ainsi que la lithologie assez différencié déterminent avec l'influence des agents climatiques et le couvert végétal discontinu des phénomènes de détachements de blocs calcaires, de solifluxion, de coulées boueuses, et de ravinement concentré contribuent à l'alimentation des transport solide fluviaux.

La densité d'occupation des sols par la couverture végétal dans la zone d'étude montre la dominance des surfaces incomplètement protégées, ainsi que celles mal protégées ou nues favorisent largement les phénomènes d'abrasion des terrains, ainsi que la faible extension de la couverture forestière, et la dominance de la couverture saisonnière n'assurent qu'une protection médiocre des sols, ce qui favorisent les ruissellements et l'érosion lors des averses.

L'analyse du régime hydrique du cour d'eau « Oued Enndja » nécessite une étude détaillée des précipitations et une autre plus fine que possible sur les débits dans la zone d'étude, pour mieux cerner les variations du régime de ce dernier.

L'étude de la répartition pluviométrique nous a permis d'expliquer quantitativement les variations des composantes du régime hydrique. Pour les répartitions mensuelles et saisonnières, on peut distinguer deux périodes : celle sèche qui correspond à la saison d'été caractérisée par un déficit pluviométrique bien marqué, et l'autre humide (le reste de l'année) qui est marquée elle-même par une succession en mois humides et d'autre relativement secs. Les précipitations moyennes mensuelles sont faibles au Nord par rapport au Sud dans les stations pluviométriques de la zone d'étude, cela peut être expliqué par les crues intenses

d'Eté. Les mois les plus pluvieux se situent en Hiver (Décembre et Février), ou en Printemps, alors que les plus secs sont ceux de Juillet et Aout.

L'étude pluviométrique est accomplie par une étude des débits d'écoulement contrôlés par la station hydrométrique de "Tassadane".

L'hypothèse de la tendance climatique sèche de ces deux dernières décennies est plus confirmée par l'indigence quasi générale de l'écoulement pendant les sept dernières années.

A l'échelle des débits extrêmes : crues et étiages qui sont les aspects les plus importants caractérisant et déterminants d'écoulement d'Oued, la station de jaugeage compte l'enregistrement de 38 crues s'étalant sur une période de 31 ans de 1973 à 2003, dont 18 d'elles s'appartiennent à la saison froide qui est caractérisée par d'épisodes pluvieux qui sont susceptibles d'engendrer plus d'une montée successive, leurs averses génératrices ont un caractère à la fois durable et extensif, et le reste s'appartiennent à la saison chaude qui marque une sécheresse climatique prolongée provoquant l'étiage du cours d'eau. Les crues de cet épisode sont liées à des averses orageuses brèves et localisées, et elles entraînent des inondations brutales et revêtent un caractère de gravité élevée en raison de la forte intensité des averses et du manque de la couverture végétale.

Après avoir cerner les diverses caractéristiques physico-géologiques de la zone d'étude et les composantes du régime hydrique du cours d'eau, on passe à l'étape essentielle qui constitue le but de notre travail qui est la quantification des apports solides dans la zone d'étude.

La détermination des débits solides nécessite la collecte du plus grand nombre de données possible des données, elle constitue une étape primordiale pour l'obtention d'une meilleure approximation du problème recherché, malheureusement l'insuffisance des données est un problème qui se pose toujours lors de la quantification du phénomène.

La station de jaugeage "Tassadane" nous fournit deux séries de données : la première est celle du couple débit liquide instantané en ( $m^3/s$ ) et concentration des sédiments en ( $g/l$ ) : ( $Q_l, C$ ) s'étalant de 1973 à 2003, la deuxième est la série des crues. Sur la base de ces deux variantes, on peut déterminer le débit solide instantané  $Q_s$  en ( $Kg/s$ ), par la relation :  $Q_s = Q_l * C$ . L'analyse graphique des courbes de concentrations et de celles des débits liquides montre la dominance de la forme de simultanément des pics de concentrations et de celles de débits liquides.

La recherche et l'étude de la relation entre le débit liquide et celui solide, ainsi qu'entre le débit liquide et la concentration des sédiments en suspension, par une analyse graphique des couples ( $Q_l, Q_s$ ) et ( $Q_l, C$ ) à différentes échelles : mensuelles, annuelles, saisonnière, saison humide et sèche, a montré que le modèle Exponentiel est le plus convaincant, avec des coefficients de détermination  $R^2 = 0,70$  à  $0,91$  pour le couple ( $Q_l, Q_s$ ) et de  $0,45$  à  $0,90$  pour celui ( $Q_l, C$ ).

On se basant sur le fichier des crues on a déterminé les valeurs des apports solides, et cela pour les deux cas : avec crue, et sans crue.

La comparaison des quantités des apports solides dans les deux cas a permis d'apprécier le rôle prédominant des crues dans l'exportation des sédiments en suspension, et de montrer leur effet direct sur le bilan interannuel, de ce fait les années causals des volumes importants du transport solide sont celles marquées par l'avènement de crues puissantes. Malgré les grandeurs faibles des débits liquides maximaux des crues de la saison chaude, ils ont un effet majeur sur la quantité des sédiments, vu les conditions des sols et celles de la végétation.

La charge en suspension augmente avec les débits liquides sans qu'il y ait une véritable proportionnalité entre ces deux paramètres. En effet les plus fortes teneurs en MES sont restreintes aux épisodes de crues, qui ont été marquées suite à un orage estival (juin, juillet) ou des pluies hivernales (janvier, Décembre).

L'analyse de l'hystérésis basée sur le rapport C/Q qui est le critère fondamental dans l'identification des boucles montre la dominance de la forme de huit ou « Eight », qui combine des parties de la classe « Clockwise loop » lors de la montée et de « Counterclockwise loop » lors de la décrue.

Les escarpements argileux sont les plus sollicités par l'érosion, en particulier en période de crue où l'on enregistre les charges sédimentaires les plus fortes.

Les sources majeurs des sédiments sont celles mobilisés directement par les oueds lors des fortes crues se trouvent au niveau des ravinements, des éboulements en masse des versants entaillés par la divagation des oueds. L'origine des sédiments dans le réseau d'écoulement sont le lit, les berges et les affluents.

La deuxième partie de notre travail "Pollution de cour d'eau", vient comme une partie complémentaire de la première, elle a consisté à une recherche qualitative et quantitative des éléments chimiques et bactériologique transportés par le cour d'eau Oued Enndja, afin de prédéfinir les effets et les risques susceptibles d'être causés par ces derniers à leur rejet final (Barrage de Béni Haroun).

L'exploitation de la banque des données constituée des paramètres de pollution aux stations d' Oued Enndja, Béni Haroun, El Menia fournies par l'agence nationale des ressources hydriques A.N.R.H de Constantine , a permis d'extraire les résultats suivant :

-les paramètres représentatifs dans les trois stations sont : le Rs105,Na et le Cl selon les résultats d'ACP.

-La faiblesse des résultats de régression linéaire, contrairement à celle non linéaire qui a donnée des bonnes résultats avec des coefficients de détermination allant de 0, 50 à 0, 90.

-L'analyse des paramètres indicateurs de pollution à Oued Enndja a montré l'enregistrement des bonnes teneurs en  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2$ , et  $\text{NO}_3$  et qui respectent les normes prescrites, avec une diminution de la teneur d' $\text{O}_2$  qui est due à sa consommation par les micro-organismes. Des teneurs élevées en  $\text{SO}_4$ , liée principalement aux rejets industriels, de la turbidité due à la présence des MES provenant essentiellement de l'érosion, et de la DCO et  $\text{DBO}_5$  signes de dégradation des matières biodégradables contenues dans les eaux de Oued Enndja.

-Pour les deux stations comparatives : Béni Haroun et El Menia, les résultats d'analyse ont montés : des teneurs élevées en  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{NH}_4$  à la station de Menia contrairement à celles enregistrées à Béni Haroun qui sont jugées bonnes.

-Des teneurs qui ne respectent pas les normes prescrites pour les deux stations concernant les paramètres de turbidité,  $\text{DBO}_5$ ,  $\text{DCO}$  et  $\text{PO}_4$ , avec des teneurs toujours élevées à la station de Menia par rapport à celle de Béni Haroun.

## TEST D'HOMOGENEISATION DES DONNEES

### Test de Wilcoxon

C'est un test paramétrique qui utilise la série des rangs des observations, au lieu de la série de leur valeur. Le test de wilcoxon se base sur le principe suivant : si l'échantillon X est issu d'une même population Y, l'échantillon (XUY) en est également issu.

On appliqué le test de Wilcoxon pour les données de la série des pluies annuelles et celle des débits liquides.

**Tableau (I.1) : Paramètres du test de Wilcoxon pour la série des pluies annuelles.**

X	Y	Rangs	X U Y	Origine
374,12	262,85	1	228,6	Y
611,42	375,75	2	233,88	Y
441,02	440,57	3	236,1	Y
318,4	353,3	4	253,81	X
390,7	313,7	5	262,85	Y
537	440,91	6	277,9	X
369,5	506	7	293,03	Y
327,3	236,1	8	294,8	X
406,9	403,9	9	302,33	Y
294,8	429,07	10	305,6	X
277,9	228,6	11	313,7	Y
514	376,27	12	318,4	X
305,6	233,88	13	327,3	X
453,9	750,82	14	346,6	X
471,6	419,21	15	352,82	X
346,6	574,77	16	353,3	Y
532	302,33	17	369,5	X
253,81	391,87	18	374,12	X
352,82	293,03	19	375,75	Y
	625,7	20	376,27	Y
	459,65	21	390,7	X
	636,19	22	391,87	Y
		23	403,9	Y
		24	406,9	X
		25	419,21	Y
		26	429,07	Y
		27	440,57	Y
		28	440,91	Y
		29	441,02	X
		30	453,9	X
		31	459,65	Y
		32	471,6	X
		33	506	Y
		34	514	X
		35	532	X
		36	537	X
		37	574,77	Y
		38	611,42	X
		39	625,7	Y
		40	636,19	Y
		41	750,82	Y

$N_1=19$  : Taille de l'échantillon X,  $N_2=22$  : Taille de l'échantillon de Y.

$W_x$  = somme des rangs x = 396

$$Wmin = \frac{(N1+N2+1)}{2} \cdot Z_{1-\alpha/2} \sqrt{\frac{N1N2(N1+N2+1)}{12}}, \quad Wmax = \frac{(N1+N2+1)}{2}$$

$Z_{1-\alpha/2}$ : valeur de la variable centrée réduite de la loi normale correspondant à  $1-\frac{\alpha}{s}$  (au seuil de confiance de 95%, nous avons  $Z_{1-\alpha/2}=1,96$ )

$Wmin= 304,54, \quad Wmax= 493,46$

$304,54 < 396 < 493,46$  donc la série des pluies annuelles est homogène.

**Série des débits liquides moyens**

*Tableau (III.1) : Paramètres du test de Wilcoxon pour la série des débits liquides moyens.*

X	Y	Rangs	X U Y	Origine
3,69	6,09	1	0,42	Y
1,71	1,1	2	0,46	Y
4,38	2,91	3	0,69	Y
2,63	0,72	4	0,72	Y
3,14	4,42	5	1,1	Y
2,53	2,58	6	1,33	Y
1,73	3,18	7	1,71	X
2,5	2,77	8	1,73	X
5,25	4,38	9	1,96	X
2,56	2,37	10	2,08	Y
5,29	0,42	11	2,37	Y
9,66	2,08	12	2,5	X
1,96	2,68	13	2,53	X
	0,69	14	2,56	X
	1,33	15	2,58	Y
	0,46	16	2,63	X
	8,8	17	2,68	Y
		18	2,77	Y
		19	2,91	Y
		20	3,14	X
		21	3,18	Y
		22	3,69	X
		23	4,38	X
		24	4,38	Y
		25	4,42	Y
		26	5,25	X
		27	5,29	X
		28	6,09	Y
		29	8,8	Y
		30	9,66	X

$N=N_1+N_2=30, \quad N_1=13, \quad N_2=17,$

$Wx=227,5, \quad Wmin=154,17, \quad Wmax= 248,83$

$154,17 < 227,5 < 248,83$  donc la série des débits liquides moyens est homogène.

**CHAPITRE III : Précipitations**

**\*Pluies mensuelles**

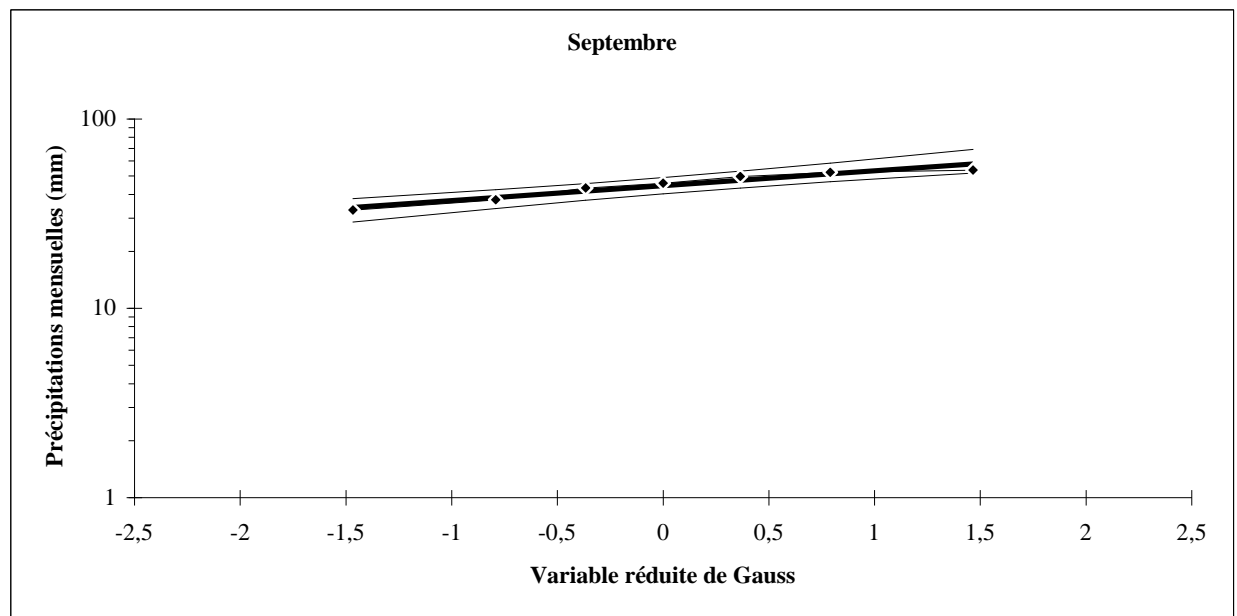
• **Septembre**

**Tableau (III.1) : Ajustement à la loi log normale des précipitations mensuelles.**

$X_0=0$  Taille=7 Moy  $\log x=1,64$  E.T. $\log x=0,078$   $U_{Gauss}=1,96$  I.C.à (en %)=95

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
32,99	32,99	1	0,07	-1,47	32,99	34,08	23,66	40,20
49,70	37,41	2	0,21	-0,79	37,41	38,48	29,53	45,02
52,22	43,12	3	0,36	-0,37	43,12	41,55	33,51	49,02
37,41	45,69	4	0,50	0,00	45,69	44,38	36,92	53,36
45,69	49,70	5	0,64	0,37	49,70	47,41	40,19	58,78
53,77	52,22	6	0,79	0,79	52,22	51,19	43,75	66,72
43,12	53,77	7	0,93	1,47	53,77	57,80	49,00	83,27

Fréquence	U de Gauss	Valeur théo.	Borne inf.	Borne sup.	Valeur	Fréq. théo.	Pér. Ret.
0,80	0,84	51,65	44,16	67,77	51,65	0,80	5
0,90	1,28	55,92	47,60	78,24	55,92	0,90	10
0,95	1,65	59,71	50,36	88,59	59,71	0,95	20
0,98	2,05	64,27	53,44	102,30	64,27	0,98	50
0,99	2,327	67,51	55,51	112,78	67,51	0,99	100
0,998	2,879	74,57	59,77429	137,76	74,57	0,998	500



**Figure (III.1) : Ajustement à la loi log normale des pluies mensuelles.**

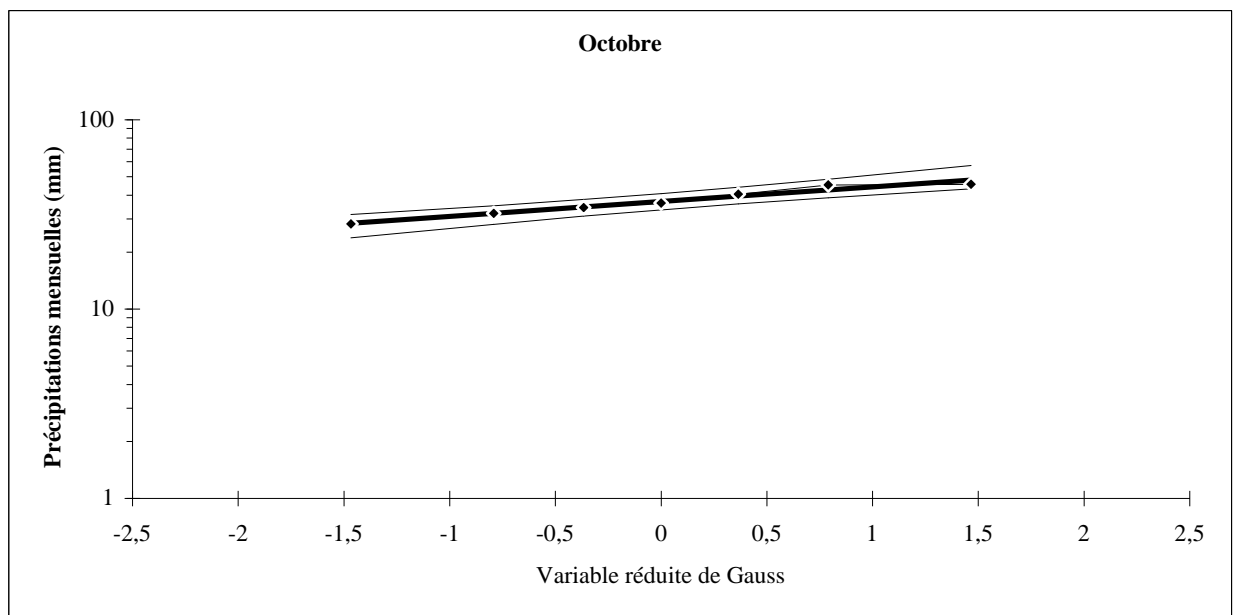
• **Octobre**

**Tableau (III.2) : Ajustement à la loi log normale des précipitations mensuelles.**

$X_0=0$  Taille=7 Moylogx=1,567 E.T.logx=0,0779 UGauss=1,9604 I.C.à (en %)=95

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
28,16	28,16	1	0,071	-1,466	28,16	28,38	19,73	33,45
36,17	32,02	2	0,214	-0,791	32,02	32,03	24,60	37,44
32,02	34,35	3	0,357	-0,366	34,35	34,57	27,91	40,75
45,21	36,17	4	0,500	0,000	36,17	36,91	30,73	44,34
40,43	40,43	5	0,643	0,366	40,43	39,42	33,44	48,83
45,61	45,21	6	0,786	0,791	45,21	42,55	36,39	55,39
34,35	45,61	7	0,929	1,466	45,61	48,02	40,74	69,06

Fréquence	U de Gauss	Valeur théo.	Borne inf.	Borne sup.	Valeur	Fréq. théo.	Pér. Ret.
0,8	0,841	42,93	36,72496	56,26	42,93	0,800	5
0,9	1,282	46,46	39,57808	64,91	46,46	0,900	10
0,95	1,645	49,59	41,86186	73,46	49,59	0,950	20
0,98	2,054	53,37	44,41121	84,77	53,37	0,980	50
0,99	2,327	56,04	46,12025	93,41	56,04	0,990	100
0,998	2,879	61,88	49,64806	114,01	61,88	0,998	500



**Figure (III .2) : Ajustement à la loi log normale des pluies mensuelles.**

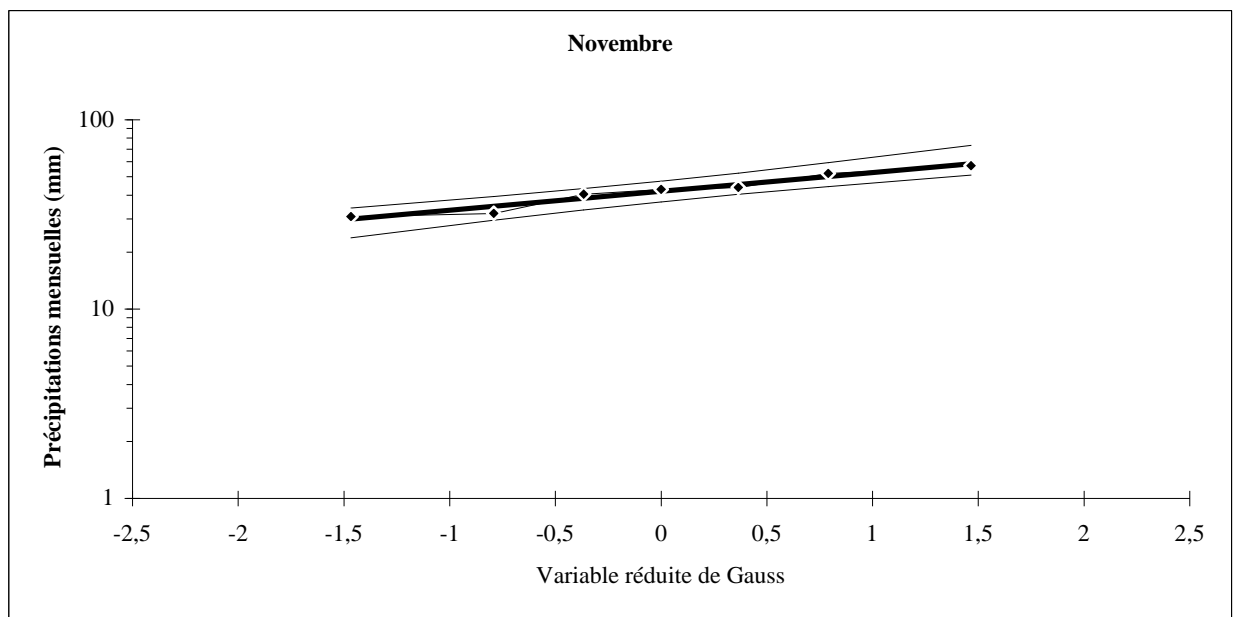
- **Novembre**

**Tableau (III.3) : Ajustement à la loi log normale des précipitations mensuelles.**

$X_0=0$  Taille=7 Moylogx=1,62 E.T.logx=0,0996 UGauss=1,9604 I.C.à (en %)=95

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
31,96	30,77	1	0,071	-1,466	30,77	29,84	18,75	36,82
43,78	31,96	2	0,214	-0,791	31,96	34,83	24,86	42,53
30,77	40,36	3	0,357	-0,366	40,36	38,40	29,20	47,39
40,36	42,89	4	0,500	0,000	42,89	41,76	33,04	52,79
42,89	43,78	5	0,643	0,366	43,78	45,42	36,80	59,73
57,22	51,97	6	0,786	0,791	51,97	50,08	41,01	70,17
51,97	57,22	7	0,929	1,466	57,22	58,46	47,37	93,05

Fréquence	U de Gauss	Valeur théo.	Borne inf.	Borne sup.	Valeur	Fréq. théo.	Pér. Ret.
0,8	0,841	50,66	41,49	71,59	50,66	0,800	5
0,9	1,282	56,05	45,66	85,95	56,05	0,900	10
0,95	1,645	60,92	49,05	100,68	60,92	0,950	20
0,98	2,054	66,91	52,90	120,91	66,91	0,980	50
0,99	2,327	71,23	55,52	136,90	71,23	0,990	100
0,998	2,879	80,85	61,01	176,62	80,85	0,998	500



**Figure (III.3) : Ajustement à la loi log normale des pluies mensuelles.**

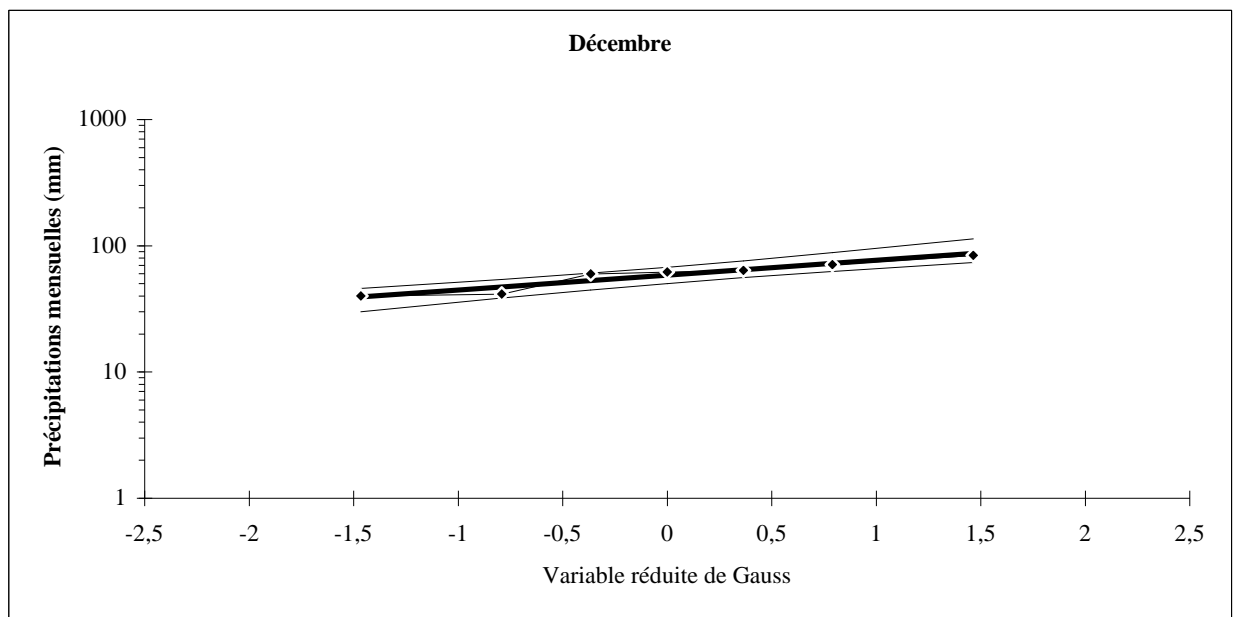
• **Décembre**

**Tableau (III.4) : Ajustement à la loi log normale des précipitations mensuelles.**

$X_0=0$  Taille=7 Moylogx= 1,76 E.T.logx=0,117 UGauss=1,9604 I. C.à (en %)=95.

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
39,91	39,91	1	0,071	-1,466	39,91	39,19	22,64	50,23
61,73	41,36	2	0,214	-0,791	41,36	47,04	31,59	59,56
41,36	59,64	3	0,357	-0,366	59,64	52,79	38,21	67,68
70,86	61,73	4	0,500	0,000	61,73	58,29	44,20	76,88
59,64	63,54	5	0,643	0,366	63,54	64,36	50,21	88,93
83,59	70,86	6	0,786	0,791	70,86	72,24	57,05	107,58
63,54	83,59	7	0,929	1,466	83,59	86,71	67,65	150,11

Fréquence	U de Gauss	Valeur théo.	Borne inf.	Borne sup.	Valeur	Fréq. théo.	Pér. Ret.
0,8	0,841	73,22	57,84	110,15	73,22	0,80	5
0,9	1,282	82,50	64,76	136,69	82,50	0,90	10
0,95	1,645	91,04	70,49	164,77	91,04	0,95	20
0,98	2,054	101,71	77,07	204,54	101,71	0,98	50
0,99	2,327	109,51	81,59	236,84	109,51	0,99	100
0,998	2,879	127,16	91,19	319,97	127,16	1,00	500



**Figure (III.4) : Ajustement à la loi log normale des pluies mensuelles.**

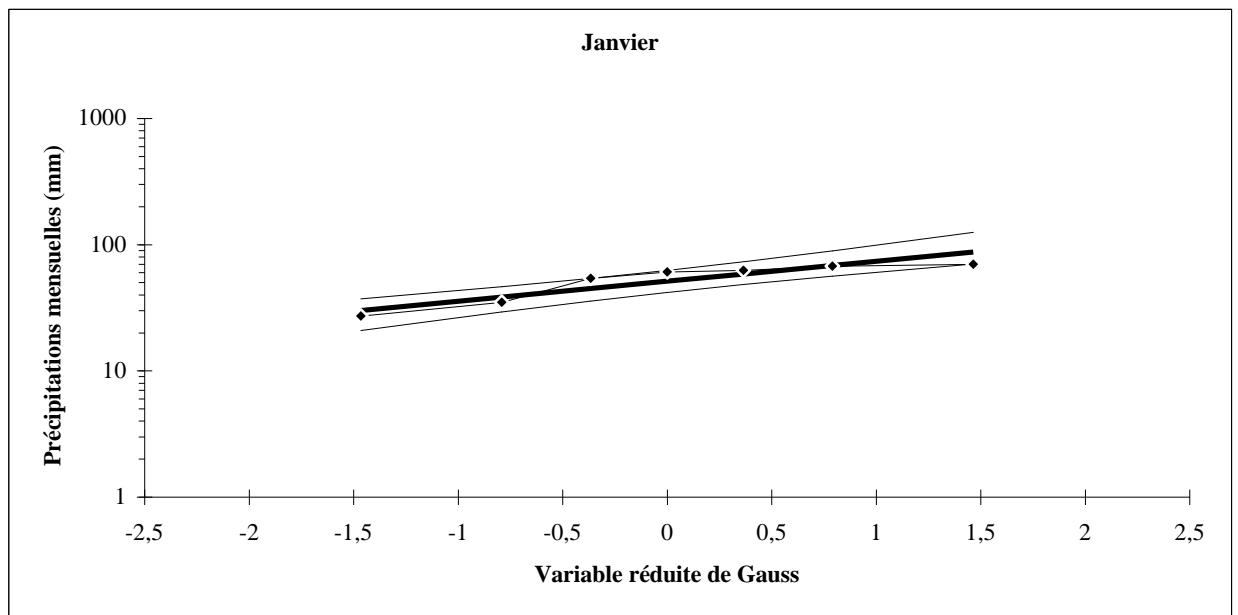
• Janvier

**Tableau (III.5) : Ajustement à la loi log normale des précipitations mensuelles.**

$X_0=0$  Taille=7 Moylogx=1,71 E.T.logx=0,158 UGauss=1,9604 I.C.à (en %)=95

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
27,18	27,18	1	0,071	-1,466	27,18	30,01	14,35	41,91
60,95	34,85	2	0,214	-0,791	34,85	38,37	22,46	52,70
34,85	54,02	3	0,357	-0,366	54,02	44,81	29,01	62,58
70,05	60,95	4	0,500	0,000	60,95	51,20	35,28	74,28
54,02	62,45	5	0,643	0,366	62,45	58,49	41,88	90,36
67,56	67,56	6	0,786	0,791	67,56	68,31	49,73	116,71
62,45	70,05	7	0,929	1,466	70,05	87,33	62,54	182,69

Fréquence	U de Gauss	Valeur théo.	Borne inf.	Borne sup.	Valeur	Fréq. théo.	Pér. Ret.
0,8	0,841	69,57	50,66	120,47	69,57	0,80	5
0,95	1,645	93,24	66,10	207,07	93,24	0,95	20
0,98	2,054	108,23	74,53	276,96	108,23	0,98	50
0,99	2,327	119,53	80,47	337,33	119,53	0,99	100
0,998	2,879	146,15	93,46	505,56	146,15	1,00	500



**Figure (III.5) : Ajustement à la loi log normale des pluies mensuelles.**

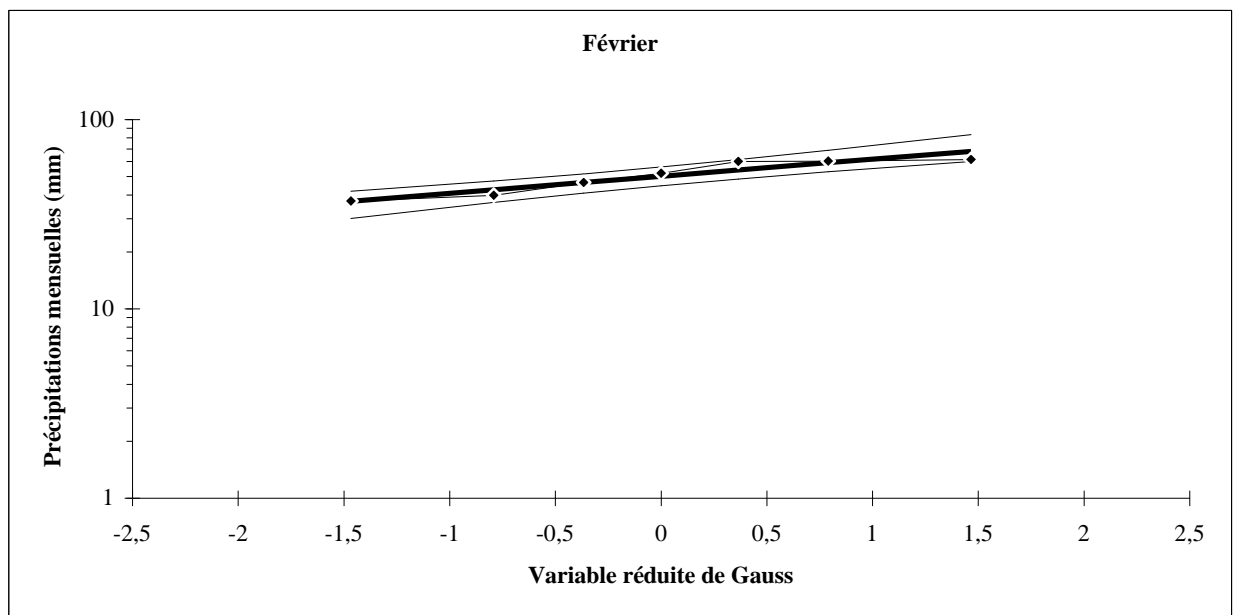
- **Février**

**Tableau (III.6) : Ajustement à la loi log normale des précipitations mensuelles.**

$X_0=0$  Taille=7 Moylogx=1,70 E.T.logx=0,090 UGauss=1,9604 I.C.à (en %)=95

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
37,07	37,07	1	0,071	-1,466	37,07	36,95	24,26	44,69
60,06	39,83	2	0,214	-0,791	39,83	42,50	31,32	50,92
39,83	46,4	3	0,357	-0,366	46,4	46,43	36,24	56,16
60,21	52	4	0,500	0,000	52	50,09	40,52	61,92
46,4	60,06	5	0,643	0,366	60,06	54,04	44,68	69,24
61,41	60,21	6	0,786	0,791	60,21	59,04	49,27	80,11
52	61,41	7	0,929	1,466	61,41	67,91	56,14	103,41

Fréquence	U de Gauss	Valeur théo.	Borne inf.	Borne sup.	Valeur	Fréq. théo.	Pér. Ret.
0,8	0,841	59,65	49,79	81,57	59,65	0,800	5
0,9	1,282	65,36	54,30	96,25	65,36	0,900	10
0,95	1,645	70,49	57,94	111,06	70,49	0,950	20
0,98	2,054	76,74	62,04	131,08	76,74	0,980	50
0,99	2,327	81,21	64,81	146,66	81,21	0,990	100
0,998	2,879	91,06	70,58	184,69	91,06	0,998	500



**Figure (III.6) : Ajustement à la loi log normale des pluies mensuelles.**

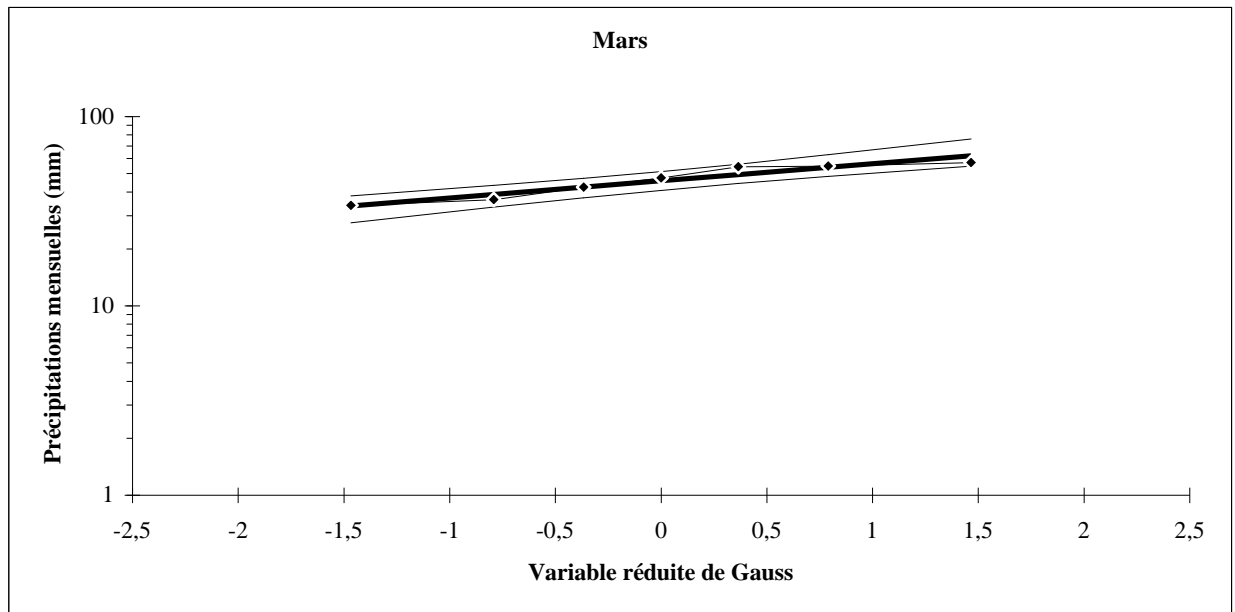
- Mars**

**Tableau (III.7) : Ajustement à la loi log normale des précipitations mensuelles.**

$X_0=0$  Taille=7 Moylogx=1,66 E.T.logx=0,090 UGauss=1,9604 I.C.à (en %)=95

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
33,93	33,93	1	0,071	-1,466	33,93	33,70	22,10	40,79
54,32	36,31	2	0,214	-0,791	36,31	38,79	28,56	46,50
36,31	42,33	3	0,357	-0,366	42,33	42,38	33,06	51,30
54,77	47,32	4	0,500	0,000	47,32	45,74	36,97	56,58
42,33	54,32	5	0,643	0,366	54,32	49,36	40,78	63,29
57,03	54,77	6	0,786	0,791	54,77	53,94	44,99	73,26
47,32	57,03	7	0,929	1,466	57,03	62,07	51,28	94,64

Fréquence	U de Gauss	Valeur théo.	Borne inf.	Borne sup.	Valeur	Fréq. théo.	Pér. Ret.
0,8	0,841	54,50	45,47	74,60	54,50	0,80	5
0,9	1,282	59,73	49,59	88,06	59,73	0,90	10
0,95	1,645	64,43	52,93	101,66	64,43	0,95	20
0,98	2,054	70,16	56,69	120,05	70,16	0,98	50
0,99	2,327	74,26	59,23	134,37	74,26	0,99	100
0,998	2,879	83,31	64,52	169,34	83,31	1,00	500



**Figure (III.7) : Ajustement à la loi log normale des pluies mensuelles.**

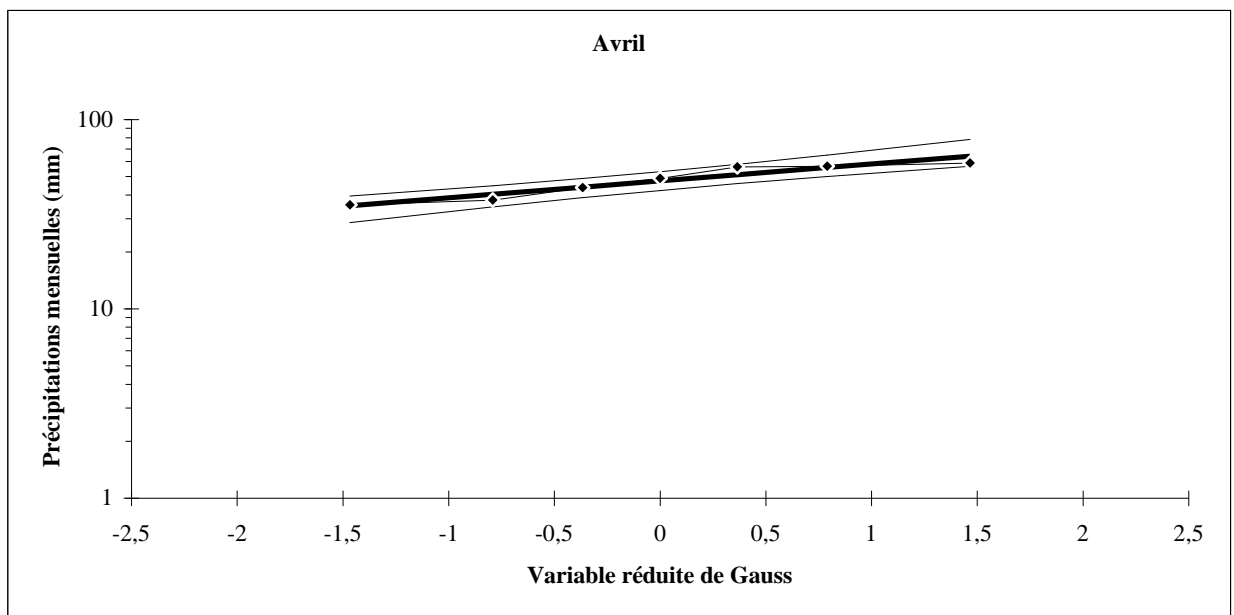
- **Avril**

**Tableau (III.8) : Ajustement à la loi log normale des précipitations mensuelles.**

$X_0=0$  Taille=7 Moylogx=1,67 E.T.logx=0,0896 UGauss=1,9604 I. C.à (en %)=95

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
35,35	35,35	1	0,07	-1,47	35,35	34,97	23,02	42,25
56,13	37,52	2	0,21	-0,79	37,52	40,19	29,67	48,10
37,52	43,74	3	0,36	-0,37	43,74	43,88	34,30	53,02
56,6	48,9	4	0,50	0,00	48,90	47,32	38,33	58,42
43,74	56,13	5	0,64	0,37	56,13	51,03	42,23	65,28
58,93	56,6	6	0,79	0,79	56,60	55,71	46,55	75,46
48,9	58,93	7	0,93	1,47	58,93	64,03	53,00	97,25

Fréquence	U de Gauss	Valeur théo.	Borne inf.	Borne sup.	Valeur	Fréq. théo.	Pér. Ret.
0,8	0,841	56,29	47,04	76,82	56,29	0,80	5
0,9	1,282	61,65	51,27	90,55	61,65	0,90	10
0,95	1,645	66,45	54,68	104,40	66,45	0,95	20
0,98	2,054	72,30	58,53	123,09	72,30	0,98	50
0,99	2,327	76,48	61,13	137,63	76,48	0,99	100
0,998	2,879	85,71	66,53	173,07	85,71	1,00	500



**Figure (III.9) : Ajustement à la loi log normale des pluies mensuelles.**

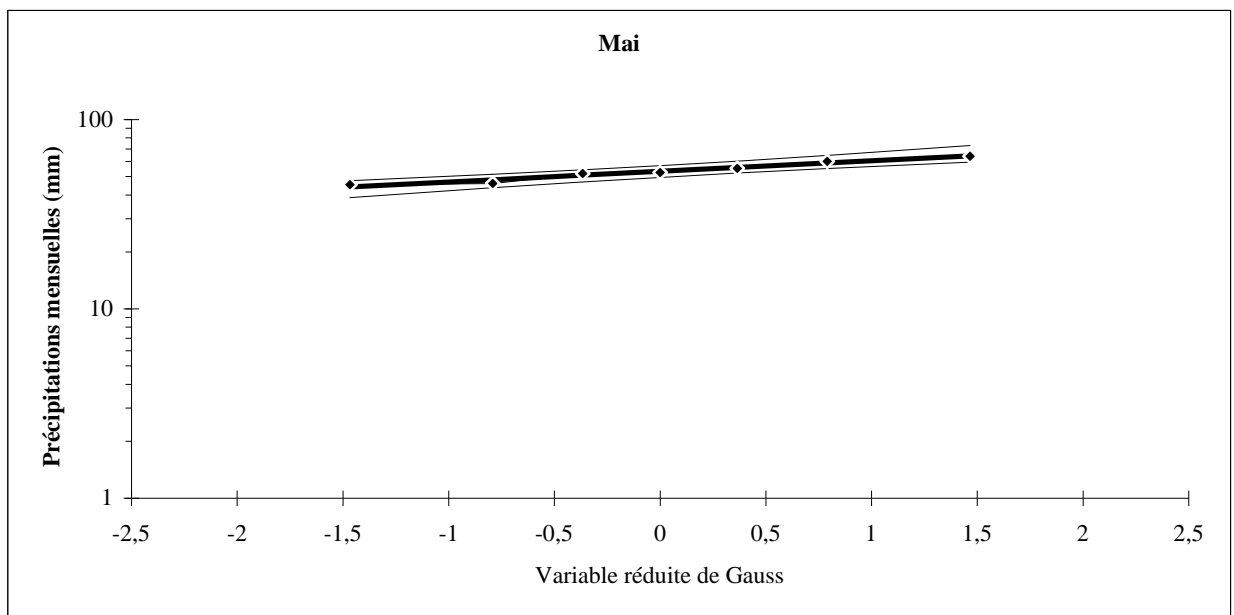
- **Mai**

**Tableau (III.10) : Ajustement à la loi log normale des précipitations mensuelles.**

$X_0=0$  Taille=7 Moylogx=1,72 E.T.logx=0,056 UGauss=1,9604 I.C.à (en %)=95

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
45,23	45,23	1	0,071	-1,466	45,23	44,02	33,90	49,55
64,03	45,91	2	0,214	-0,791	45,91	48,02	39,73	53,73
45,91	51,91	3	0,357	-0,366	51,91	50,73	43,50	57,10
51,91	52,45	4	0,500	0,000	52,45	53,18	46,62	60,67
55,24	55,24	5	0,643	0,366	55,24	55,75	49,54	65,03
60,19	60,19	6	0,786	0,791	60,19	58,90	52,64	71,20
52,45	64,03	7	0,929	1,466	64,03	64,25	57,09	83,44

Fréquence	U de Gauss	Valeur théo.	Borne inf.	Borne sup.	Valeur	Fréq. théo.	Pér. Ret.
0,8	0,84	59,28	52,99	72,00	59,28	0,80	5
0,9	1,28	62,75	55,92	79,80	62,75	0,90	10
0,95	1,65	65,76	58,22	87,22	65,76	0,95	20
0,98	2,05	69,32	60,75	96,68	69,32	0,98	50
0,99	2,33	71,80	62,42	103,67	71,80	0,99	100
0,998	2,88	77,10	65,81	119,63	77,10	1,00	500



**Figure (III.10) : Ajustement à la loi log normale des pluies mensuelles.**

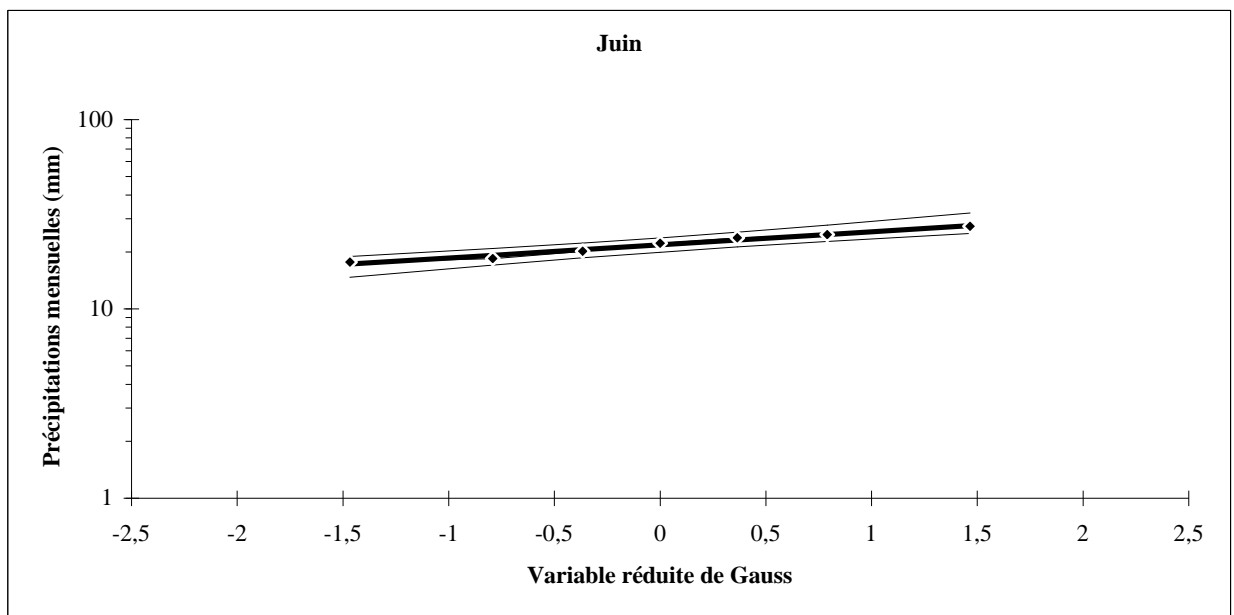
- **Juin**

**Tableau (III.11) : Ajustement à la loi log normale des précipitations mensuelles.**

$X_0=0$  Taille=7 Moylogx=1,34 E.T.logx=0,069 UGauss=1,9604 I. C.à (en %)=95

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
18,39	17,64	1	0,071	-1,466	17,64	17,22	12,46	19,93
17,64	18,39	2	0,214	-0,791	18,39	19,17	15,16	22,03
23,68	20,11	3	0,357	-0,366	20,11	20,52	16,96	23,76
20,11	22,22	4	0,500	0,000	22,22	21,76	18,48	25,61
24,62	23,68	5	0,643	0,366	23,68	23,06	19,92	27,90
27,3	24,62	6	0,786	0,791	24,62	24,69	21,48	31,21
22,22	27,3	7	0,929	1,466	27,3	27,49	23,75	37,98

Fréquence	U de Gauss	Valeur théo.	Borne inf.	Borne sup.	Valeur	Fréq. théo.	Pér. Ret.
0,8	0,841	24,88	21,66	31,65	24,88	0,80	5
0,9	1,282	26,70	23,15	35,94	26,70	0,90	10
0,95	1,645	28,29	24,33	40,12	28,29	0,95	20
0,98	2,054	30,20	25,65	45,57	30,20	0,98	50
0,99	2,327	31,54	26,52	49,69	31,54	0,99	100
0,998	2,879	34,44	28,32	59,32	34,44	1,00	500



**Figure (III.11) : Ajustement à la loi log normale des pluies mensuelles.**

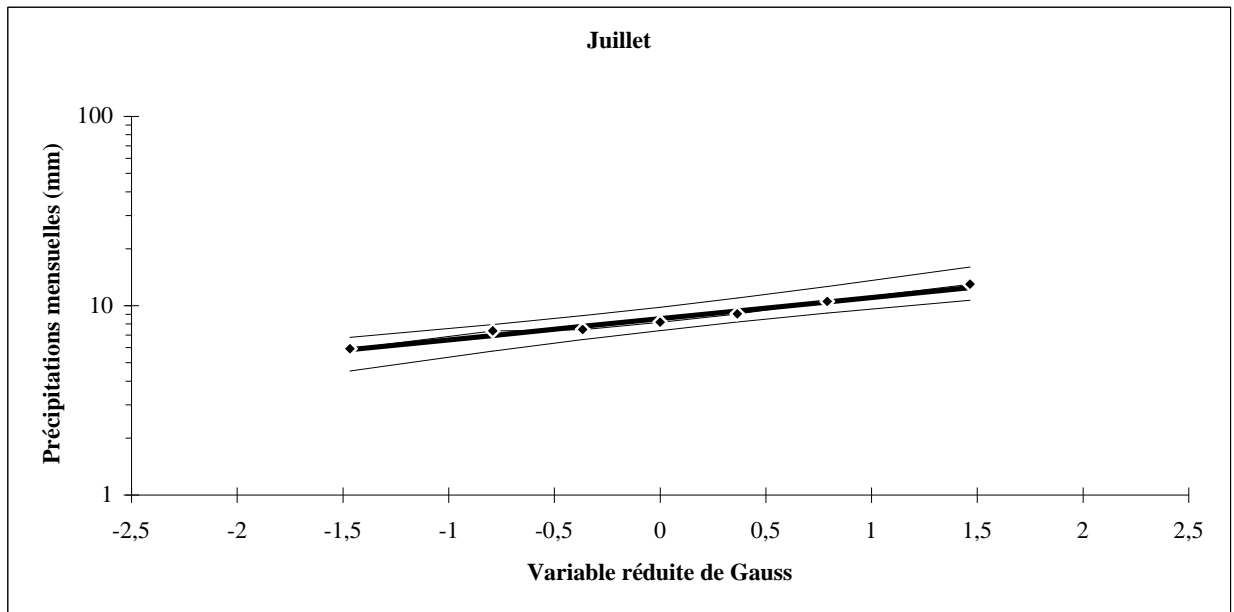
• **Juillet**

**Tableau (III.12) : Ajustement à la loi log normale des précipitations mensuelles.**

$X_0=0$  Taille=7 Moylogx=0,93 E.T.logx=0,112 UGauss=1,9604 I. C.à (en %)=95

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
7,47	5,91	1	0,071	-1,466	5,91	5,84	3,46	7,40
5,91	7,36	2	0,214	-0,791	7,36	6,95	4,76	8,70
9,03	7,47	3	0,357	-0,366	7,47	7,76	5,70	9,82
8,16	8,16	4	0,500	0,000	8,16	8,52	6,55	11,09
12,99	9,03	5	0,643	0,366	9,03	9,37	7,39	12,74
10,5	10,5	6	0,786	0,791	10,5	10,45	8,35	15,27
7,36	12,99	7	0,929	1,466	12,99	12,44	9,82	20,97

Fréquence	U de Gauss	Valeur théo.	Borne inf.	Borne sup.	Valeur	Fréq. théo.	Pér. Ret.
0,8	0,841	10,59	8,46	15,62	10,59	0,800	5
0,9	1,282	11,86	9,42	19,18	11,86	0,900	10
0,95	1,645	13,03	10,21	22,92	13,03	0,950	20
0,98	2,054	14,48	11,12	28,16	14,48	0,980	50
0,99	2,327	15,53	11,74	32,37	15,53	0,990	100
0,998	2,879	17,91	13,05	43,11	17,91	0,998	500



**Figure (III.12) : Ajustement à la loi log normale des pluies mensuelles.**

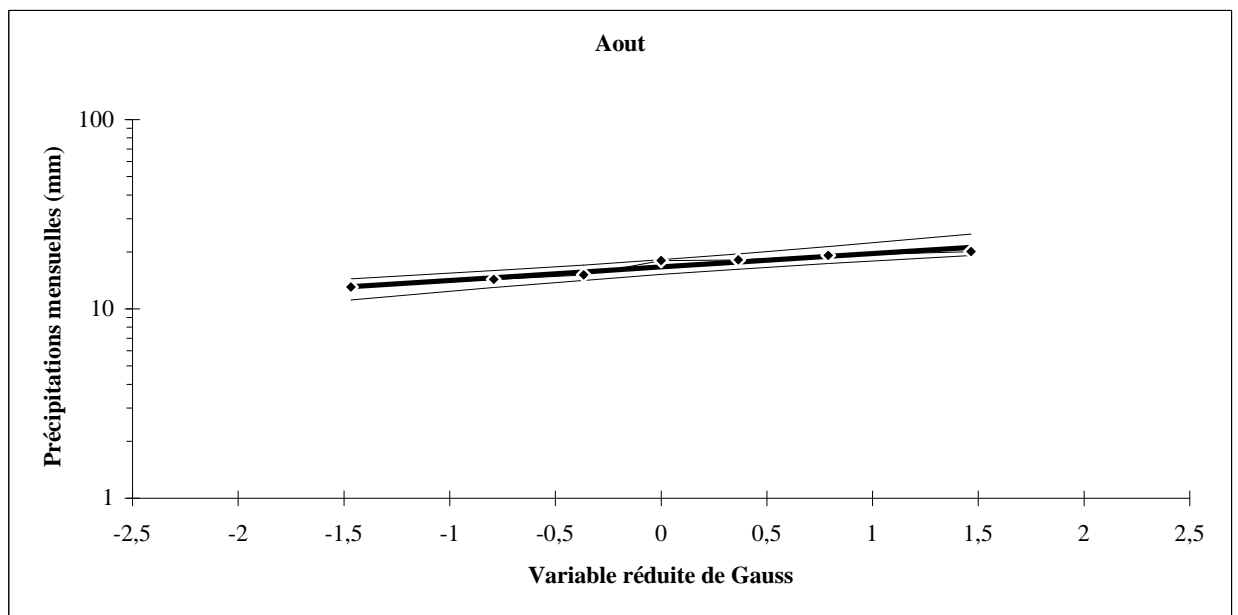
- **Aout**

**Tableau (III.13) : Ajustement à la loi log normale des précipitations mensuelles.**

$X_0=0$  Taille=7 Moylogx= 1,22 E.T.logx=0,071 UGauss=1,9604 I.C.à (en %)=95

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
17,97	13,02	1	0,071	-1,466	13,02	13,08	9,39	15,20
15,12	14,28	2	0,214	-0,791	14,28	14,61	11,49	16,85
18,14	15,12	3	0,357	-0,366	15,12	15,66	12,89	18,20
13,02	17,97	4	0,500	0,000	17,97	16,63	14,07	19,66
19,12	18,14	5	0,643	0,366	18,14	17,66	15,20	21,46
20,08	19,12	6	0,786	0,791	19,12	18,93	16,42	24,08
14,28	20,08	7	0,929	1,466	20,08	21,14	18,19	29,45

Fréquence	U de Gauss	Valeur théo.	Borne inf.	Borne sup.	Valeur	Fréq. théo.	Pér. Ret.
0,8	0,841	19,09	16,55	24,42	19,09	0,800	5
0,9	1,282	20,51	17,72	27,83	20,51	0,900	10
0,95	1,645	21,77	18,65	31,15	21,77	0,950	20
0,98	2,054	23,28	19,69	35,50	23,28	0,980	50
0,99	2,327	24,34	20,38	38,78	24,34	0,990	100
0,998	2,879	26,64	21,79	46,51	26,64	0,998	500



**Figure (III.13) : Ajustement à la loi log normale des pluies mensuelles.**

**\*Pluies annuelles**

- **Station Ain el Kebch 100307**

**Tableau (III.14) : Ajustement des précipitations annuelles à la loi log normale.**
 $X_0=0$  Taille=41 Moylogx=2,41 E.T.logx=0,15 UGauss=1,9604 I.C.à (en %)=95

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variab <sup>l</sup> e réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieur	Borne supérieur
132,54	120,30	1	0,012	-2,251	120,30	113,27	87,49	135,38
353,39	132,54	2	0,037	-1,792	132,54	133,73	107,39	156,24
416,51	137,70	3	0,061	-1,547	137,70	146,12	119,68	168,85
300,30	142,10	4	0,085	-1,370	142,10	155,77	129,33	178,69
238,97	162,70	5	0,110	-1,228	162,70	163,98	137,57	187,11
509,30	172,30	6	0,134	-1,107	172,30	171,30	144,94	194,65
265,60	180,70	7	0,159	-1,000	180,70	178,03	151,71	201,63
307,30	184,49	8	0,183	-0,904	184,49	184,34	158,05	208,21
292,20	186,00	9	0,207	-0,816	186,00	190,34	164,07	214,51
238,20	190,14	10	0,232	-0,733	190,14	196,11	169,84	220,61
290,90	198,88	11	0,256	-0,655	198,88	201,71	175,42	226,59
237,60	206,06	12	0,280	-0,581	206,06	207,18	180,86	232,48
162,70	209,53	13	0,305	-0,510	209,53	212,57	186,19	238,32
172,30	226,60	14	0,329	-0,442	226,60	217,90	191,43	244,16
296,50	237,60	15	0,354	-0,375	237,60	223,20	196,62	250,01
137,70	238,20	16	0,378	-0,310	238,20	228,49	201,77	255,92
206,06	238,97	17	0,402	-0,247	238,97	233,80	206,90	261,90
186,00	250,70	18	0,427	-0,184	250,70	239,15	212,03	267,97
262,79	252,02	19	0,451	-0,122	252,02	244,55	217,17	274,18
190,14	253,35	20	0,476	-0,061	253,35	250,03	222,35	280,54
226,60	258,94	21	0,500	0,000	258,94	255,60	227,58	287,07
250,70	262,79	22	0,524	0,061	262,79	261,30	232,88	293,82
180,70	265,60	23	0,549	0,122	265,60	267,16	238,28	300,83
142,10	268,61	24	0,573	0,184	268,61	273,19	243,80	308,13
198,88	270,17	25	0,598	0,247	270,17	279,44	249,46	315,77
374,80	280,03	26	0,622	0,310	280,03	285,93	255,28	323,80
120,30	290,90	27	0,646	0,375	290,90	292,71	261,31	332,28
270,17	292,20	28	0,671	0,442	292,20	299,83	267,58	341,28
258,94	296,50	29	0,695	0,510	296,50	307,35	274,13	350,89
253,35	300,30	30	0,720	0,581	300,30	315,34	281,03	361,23
209,53	307,30	31	0,744	0,655	307,30	323,90	288,33	372,43
184,49	353,39	32	0,768	0,733	353,39	333,14	296,14	384,67
438,15	363,90	33	0,793	0,816	363,90	343,24	304,57	398,21
363,90	374,42	34	0,817	0,904	374,42	354,41	313,78	413,37
376,58	374,80	35	0,841	1,000	374,80	366,96	324,02	430,64
252,02	376,58	36	0,866	1,107	376,58	381,38	335,63	450,76
268,61	416,51	37	0,890	1,228	416,51	398,42	349,17	474,90
280,03	438,15	38	0,915	1,370	438,15	419,42	365,61	505,17
441,86	441,86	39	0,939	1,547	441,86	447,11	386,92	545,88
374,42	495,32	40	0,963	1,792	495,32	488,55	418,16	608,34
495,32	509,30	41	0,988	2,251	509,30	576,77	482,59	746,76

Fréquence	U de Gauss	Valeur théo.	Borne inf.	Borne sup.	Valeur	Fréq. théo.	Pér. Ret.
0,8	0,841	346,47	307,24	402,56	346,47	0,800	5
0,9	1,282	406,24	355,32	486,10	406,24	0,900	10
0,95	1,645	463,28	399,19	570,03	463,28	0,950	20
0,98	2,054	537,09	453,92	683,64	537,09	0,980	50
0,99	2,327	592,71	493,98	772,49	593,00	0,990	100
0,999	3,091	781,15	624,32	1090,90	781,15	0,999	1000

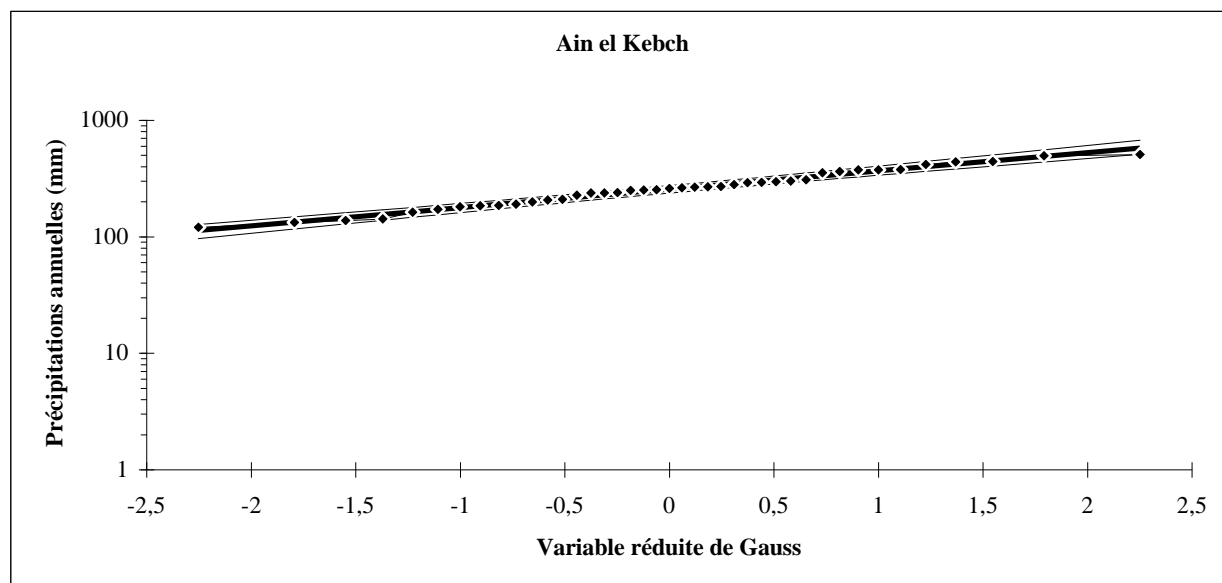


Figure (III.14) : Ajustement des précipitations annuelles à la loi log-station Ain el Kebch-.

• Station Tadjnanet 100302

Tableau (III.15) : Ajustement des précipitations annuelles à la loi log.

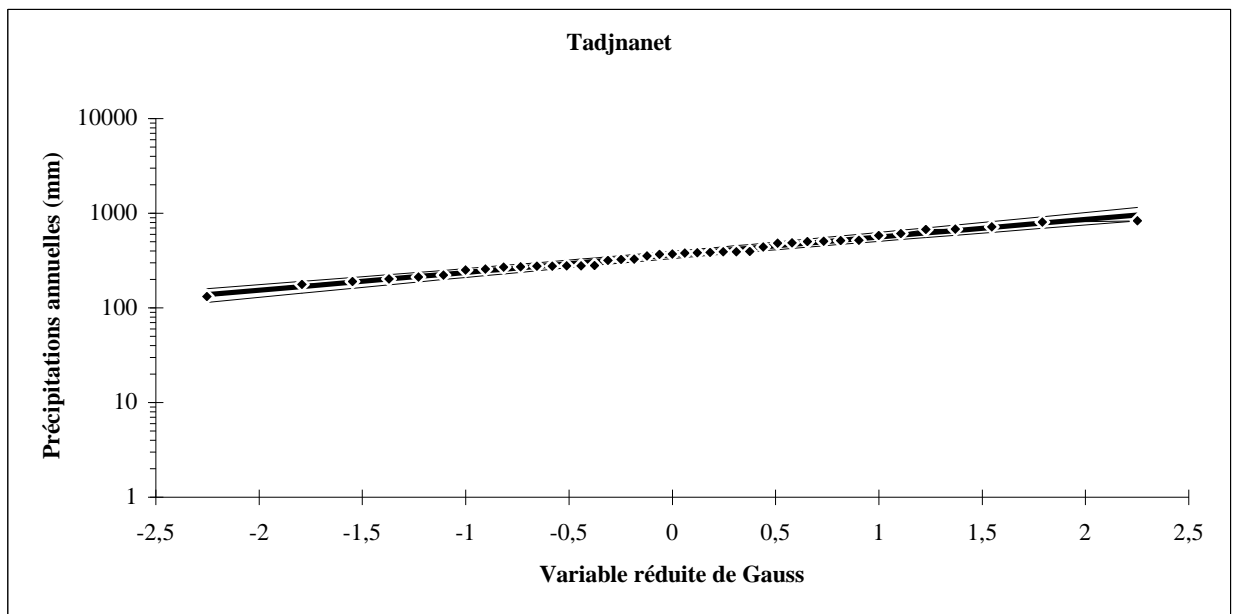
$X_0=0$  Taille=41 Moylogx=2,559 E.T.logx=0,15 UGauss=1,187 I.C.à (en %)=95

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
210,90	131,60	1	0,012	-2,251	131,60	137,54	101,11	170,09
609,00	176,40	2	0,037	-1,792	176,40	167,62	129,08	201,75
481,10	188,80	3	0,061	-1,547	188,80	186,28	146,86	221,30
352,20	201,70	4	0,085	-1,370	201,70	201,03	161,07	236,75
383,60	210,90	5	0,110	-1,228	210,90	213,71	173,37	250,09
580,00	221,86	6	0,134	-1,107	221,86	225,14	184,49	262,15
439,80	251,00	7	0,159	-1,000	251,00	235,71	194,80	273,38
515,60	255,90	8	0,183	-0,904	255,90	245,69	204,54	284,04
499,40	268,00	9	0,207	-0,816	268,00	255,25	213,85	294,31
201,70	271,33	10	0,232	-0,733	271,33	264,49	222,84	304,32
317,40	275,20	11	0,256	-0,655	275,20	273,51	231,60	314,16
365,40	275,61	12	0,280	-0,581	275,61	282,37	240,18	323,91
221,86	276,50	13	0,305	-0,510	276,50	291,14	248,63	333,64
276,50	277,40	14	0,329	-0,442	277,40	299,86	257,00	343,39
268,00	280,09	15	0,354	-0,375	280,09	308,57	265,31	353,23
251,00	317,40	16	0,378	-0,310	317,40	317,31	273,61	363,19
505,00	323,80	17	0,402	-0,247	323,80	326,11	281,91	373,32
188,80	325,20	18	0,427	-0,184	325,20	335,01	290,26	383,66
376,83	352,20	19	0,451	-0,122	352,20	344,05	298,67	394,27
323,80	365,40	20	0,476	-0,061	365,40	353,25	307,18	405,18
380,10	370,80	21	0,500	0,000	370,80	362,65	315,80	416,45
510,60	376,83	22	0,524	0,061	376,83	372,31	324,59	428,15
275,20	380,10	23	0,549	0,122	380,10	382,26	333,57	440,34
255,90	383,60	24	0,573	0,184	383,60	392,57	342,79	453,10
280,09	390,30	25	0,598	0,247	390,30	403,29	352,29	466,51
325,20	390,30	26	0,622	0,310	390,30	414,47	362,12	480,68
176,40	393,40	27	0,646	0,375	393,40	426,21	372,33	495,71
271,33	439,80	28	0,671	0,442	439,80	438,59	382,99	511,75
393,40	481,10	29	0,695	0,510	481,10	451,72	394,19	528,96
275,61	485,20	30	0,720	0,581	485,20	465,75	406,02	547,58
131,60	499,40	31	0,744	0,655	499,40	480,85	418,63	567,86
277,40	505,00	32	0,768	0,733	505,00	497,25	432,16	590,17

# ANNEXE

717,00	510,60	33	0,793	0,816	510,60	515,25	446,86	614,99
485,20	515,60	34	0,817	0,904	515,60	535,29	463,02	642,99
680,30	580,00	35	0,841	1,000	580,00	557,95	481,07	675,12
370,80	609,00	36	0,866	1,107	609,00	584,16	501,67	712,86
390,30	672,80	37	0,890	1,228	672,80	615,38	525,87	758,58
390,30	680,30	38	0,915	1,370	680,30	654,22	555,50	816,52
828,90	717,00	39	0,939	1,547	717,00	706,00	594,28	895,50
672,80	802,70	40	0,963	1,792	802,70	784,62	651,88	1018,87
802,70	828,90	41	0,988	2,251	828,90	956,19	773,23	1300,72

Fréquence	U de Gauss	Valeur théo.	Borne inf.	Borne sup.	Valeur	Fréq. théo.	Pér. Ret.
0,8	0,841	521,03	451,54	623,02	521,03	0,800	5
0,9	1,282	629,80	536,92	779,94	629,80	0,900	10
0,95	1,645	736,51	616,81	942,90	736,51	0,950	20
0,98	2,054	878,35	718,82	1170,84	878,35	0,980	50
0,99	2,327	987,75	795,03	1354,28	987,75	0,990	100
0,999	3,091	1372,40	1050,82	2043,04	1372,40	0,999	1000



*Figure (III.15) : Ajustement des précipitations annuelles à la loi log-station Tadjnanet-.*

- **Station Bir el Arch 100306**

**Tableau (III.16) : Ajustement des précipitations annuelles à la loi log.**

$X_0=0$  Taille=41 Moylogx=2,465 E.T.logx=0,133 UGauss=1,187 I.C.à (en %)=95

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
197,14	142,50	1	0,012	-2,251	142,50	146,19	117,41	170,08
199,46	170,70	2	0,037	-1,792	170,70	168,31	139,73	192,08
405,70	181,40	3	0,061	-1,547	181,40	181,47	153,19	205,16
275,70	197,14	4	0,085	-1,370	197,14	191,59	163,60	215,27
205,00	199,46	5	0,110	-1,228	199,46	200,12	172,41	223,84
414,30	202,80	6	0,134	-1,107	202,80	207,69	180,22	231,48
386,20	204,15	7	0,159	-1,000	204,15	214,59	187,34	238,50
464,50	205,00	8	0,183	-0,904	205,00	221,03	193,96	245,09
375,00	210,30	9	0,207	-0,816	210,30	227,12	200,22	251,37
259,50	212,62	10	0,232	-0,733	212,62	232,95	206,18	257,43
252,30	227,31	11	0,256	-0,655	227,31	238,58	211,92	263,34
181,40	230,90	12	0,280	-0,581	230,90	244,07	217,48	269,14
212,62	240,54	13	0,305	-0,510	240,54	249,44	222,91	274,87
202,80	244,60	14	0,329	-0,442	244,60	254,74	228,23	280,57
398,30	252,30	15	0,354	-0,375	252,30	259,99	233,46	286,28
380,80	259,50	16	0,378	-0,310	259,50	265,22	238,64	292,00
333,30	275,70	17	0,402	-0,247	275,70	270,44	243,78	297,78
170,70	280,40	18	0,427	-0,184	280,40	275,68	248,90	303,64
412,20	290,10	19	0,451	-0,122	290,10	280,95	254,02	309,60
307,63	307,63	20	0,476	-0,061	307,63	286,29	259,15	315,68
244,60	308,70	21	0,500	0,000	308,70	291,70	264,32	321,91
351,46	317,75	22	0,524	0,061	317,75	297,21	269,54	328,33
290,10	333,30	23	0,549	0,122	333,30	302,85	274,83	334,96
210,30	337,50	24	0,573	0,184	337,50	308,65	280,22	341,85
356,03	337,90	25	0,598	0,247	337,90	314,63	285,73	349,03
230,90	351,46	26	0,622	0,310	351,46	320,82	291,39	356,55
280,40	354,61	27	0,646	0,375	354,61	327,27	297,22	364,46
337,50	355,50	28	0,671	0,442	355,50	334,01	303,26	372,82
204,15	356,03	29	0,695	0,510	356,03	341,11	309,55	381,71
308,70	375,00	30	0,720	0,581	375,00	348,62	316,15	391,24
142,50	380,80	31	0,744	0,655	380,80	356,64	323,11	401,51
395,40	386,20	32	0,768	0,733	386,20	365,26	330,52	412,68
448,20	394,80	33	0,793	0,816	394,80	374,64	338,49	424,98
394,80	395,40	34	0,817	0,904	395,40	384,96	347,16	438,67
431,93	398,30	35	0,841	1,000	398,30	396,50	356,76	454,19
240,54	405,70	36	0,866	1,107	405,70	409,69	367,58	472,13
227,31	412,20	37	0,890	1,228	412,20	425,17	380,12	493,51
317,75	414,30	38	0,915	1,370	414,30	444,12	395,26	520,09
337,90	431,93	39	0,939	1,547	431,93	468,89	414,73	555,45
355,50	448,20	40	0,963	1,792	448,20	505,53	442,99	608,95
354,61	464,50	41	0,988	2,251	464,50	582,02	500,29	724,70

Fréquence	U de Gauss	Valeur théo.	Borne inf.	Borne sup.	Valeur	Fréq. théo.	Pér. Ret.
0,8	0,841	377,62	341,01	428,92	377,62	0,800	5
0,9	1,282	432,24	385,80	503,38	432,24	0,900	10
0,95	1,645	483,24	425,87	576,24	483,24	0,950	20
0,98	2,054	547,85	474,94	672,36	547,85	0,980	50
0,99	2,327	595,64	510,29	745,83	595,64	0,990	100
0,999	3,091	752,93	622,50	999,71	752,93	0,999	10000

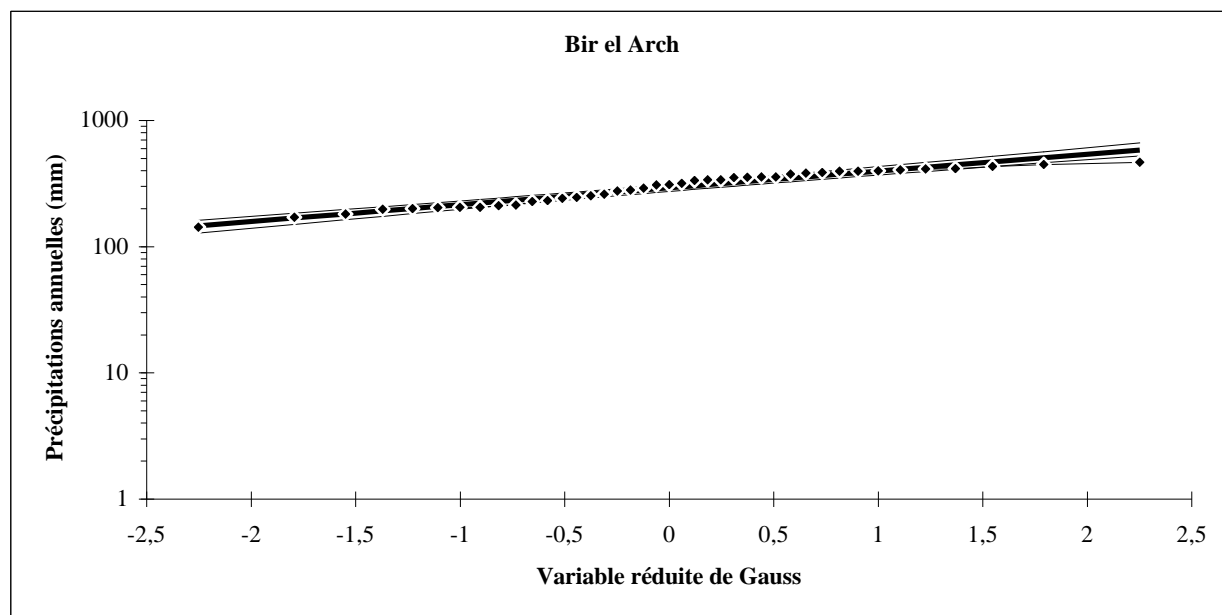


Figure (III.16) : Ajustement des précipitations annuelles à la loi log-station Bir El Arch.

- Station Chelgoum El aid 100312

Tableau (III.18) : Ajustement des précipitations annuelles à la loi log.

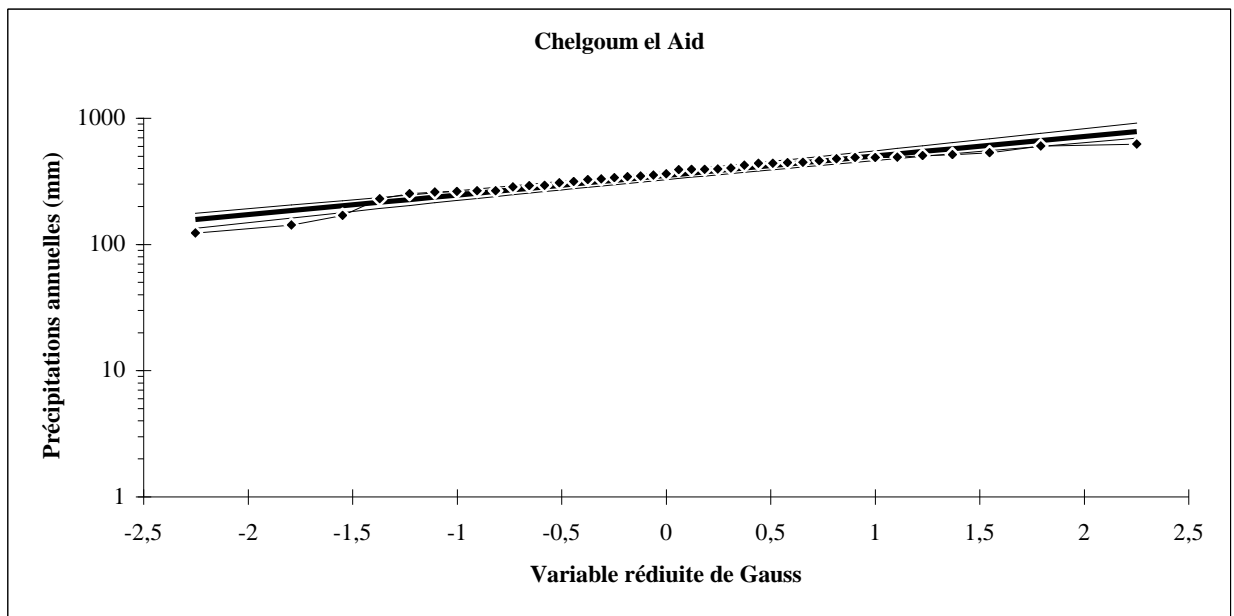
$X_0=0$  Taille=41 Moylogx=2,545 E.T.logx=0,155  $U_{Gauss}=1,187$  I.C.à (en %)=95

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
293,77	123,07	1	0,012	-2,251	123,07	157,12	121,74	187,37
459,70	142,12	2	0,037	-1,792	142,12	185,11	149,06	215,87
393,20	170,20	3	0,061	-1,547	170,20	202,05	165,90	233,07
326,73	229,70	4	0,085	-1,370	229,70	215,22	179,10	246,49
347,69	252,90	5	0,110	-1,228	252,90	226,43	190,37	257,95
601,39	259,10	6	0,134	-1,107	259,10	236,42	200,44	268,22
487,27	262,50	7	0,159	-1,000	262,50	245,59	209,68	277,71
394,27	265,60	8	0,183	-0,904	265,60	254,18	218,34	286,66
447,20	265,80	9	0,207	-0,816	265,80	262,35	226,55	295,23
259,10	285,90	10	0,232	-0,733	285,90	270,20	234,42	303,53
344,80	291,60	11	0,256	-0,655	291,60	277,82	242,03	311,65
353,52	293,77	12	0,280	-0,581	293,77	285,27	249,44	319,65
123,07	306,90	13	0,305	-0,510	306,90	292,59	256,70	327,59
142,12	315,40	14	0,329	-0,442	315,40	299,84	263,84	335,51
362,31	326,73	15	0,354	-0,375	326,73	307,04	270,90	343,46
285,90	329,40	16	0,378	-0,310	329,40	314,23	277,90	351,47
439,70	337,09	17	0,402	-0,247	337,09	321,45	284,88	359,58
306,90	344,80	18	0,427	-0,184	344,80	328,70	291,86	367,82
487,70	347,69	19	0,451	-0,122	347,69	336,04	298,85	376,23
329,40	353,52	20	0,476	-0,061	353,52	343,47	305,89	384,84
390,60	362,31	21	0,500	0,000	362,31	351,04	313,00	393,70
513,10	390,60	22	0,524	0,061	390,60	358,77	320,20	402,85
291,60	393,20	23	0,549	0,122	393,20	366,71	327,53	412,33
315,40	394,27	24	0,573	0,184	394,27	374,89	335,02	422,22
423,50	394,40	25	0,598	0,247	394,40	383,35	342,70	432,56
532,20	403,30	26	0,622	0,310	403,30	392,15	350,61	443,42
252,90	423,50	27	0,646	0,375	423,50	401,34	358,78	454,88
394,40	439,70	28	0,671	0,442	439,70	410,98	367,28	467,05
403,30	440,50	29	0,695	0,510	440,50	421,16	376,17	480,05
262,50	445,10	30	0,720	0,581	445,10	431,97	385,51	494,01
229,70	447,20	31	0,744	0,655	447,20	443,55	395,40	509,14
265,60	459,70	32	0,768	0,733	459,70	456,06	405,98	525,67
624,70	476,90	33	0,793	0,816	476,90	469,71	417,39	543,94

# ANNEXE

506,00	487,27	34	0,817	0,904	487,27	484,80	429,87	564,39
445,10	487,70	35	0,841	1,000	487,70	501,76	443,72	587,68
337,09	490,59	36	0,866	1,107	490,59	521,23	459,42	614,79
265,80	506,00	37	0,890	1,228	506,00	544,22	477,72	647,31
170,20	513,10	38	0,915	1,370	513,10	572,55	499,93	688,04
490,59	532,20	39	0,939	1,547	532,20	609,88	528,71	742,78
440,50	601,39	40	0,963	1,792	601,39	665,68	570,85	826,69
476,90	624,70	41	0,988	2,251	624,70	784,29	657,66	1012,25

Fréquence	U de Gauss	Valeur théo.	Borne inf.	Borne sup.	Valeur	Fréq. théo.	Pér. Ret.
0,8	0,841	474,07	421,01	549,82	474,07	0,800	5
0,9	1,282	554,77	486,03	662,39	554,77	0,900	10
0,95	1,645	631,65	545,27	775,25	631,65	0,950	20
0,98	2,054	730,97	619,04	927,70	730,97	0,980	50
0,99	2,327	805,70	672,99	1046,69	805,70	0,990	100
0,999	3,091	1058,29	848,13	1471,92	1058,29	0,999	1000



*Figure (III.18) : Ajustement des précipitations annuelles à la loi log-station Chelgoum El Aid-.*

- **Station Koudiat Tendart 100208**

**Tableau (III.20) : Ajustement des précipitations annuelles à la loi log.**

$X_0=0$  Taille=41 Moylogx=2,638E.T.logx=0,119 UGauss=1,187 I.C.à (en %)=95

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
371,41	232,20	1	0,012	-2,251	232,20	234,49	192,78	268,43
576,73	250,60	2	0,037	-1,792	250,60	265,95	225,20	299,25
538,24	298,84	3	0,061	-1,547	298,84	284,44	244,49	317,40
427,51	299,20	4	0,085	-1,370	299,20	298,57	259,29	331,33
420,67	302,60	5	0,110	-1,228	302,60	310,43	271,72	343,09
645,46	312,50	6	0,134	-1,107	312,50	320,89	282,69	353,54
467,92	319,70	7	0,159	-1,000	319,70	330,40	292,65	363,10
391,31	328,30	8	0,183	-0,904	328,30	339,24	301,87	372,05
521,40	331,90	9	0,207	-0,816	331,90	347,58	310,55	380,56
319,70	343,51	10	0,232	-0,733	343,51	355,54	318,80	388,74
370,40	370,40	11	0,256	-0,655	370,40	363,21	326,72	396,70
519,40	371,41	12	0,280	-0,581	371,41	370,66	334,37	404,49
250,60	375,80	13	0,305	-0,510	375,80	377,94	341,81	412,18
375,80	381,60	14	0,329	-0,442	381,60	385,11	349,09	419,81
538,80	387,50	15	0,354	-0,375	387,50	392,19	356,24	427,43
328,30	391,31	16	0,378	-0,310	391,31	399,22	363,29	435,06
554,60	399,00	17	0,402	-0,247	399,00	406,24	370,27	442,74
331,90	416,80	18	0,427	-0,184	416,80	413,26	377,21	450,51
578,50	420,67	19	0,451	-0,122	420,67	420,32	384,13	458,40
312,50	427,51	20	0,476	-0,061	427,51	427,44	391,06	466,44
511,50	434,35	21	0,500	0,000	434,35	434,65	398,02	474,66
541,90	441,30	22	0,524	0,061	441,30	441,98	405,03	483,10
399,00	467,92	23	0,549	0,122	467,92	449,47	412,13	491,81
381,60	476,84	24	0,573	0,184	476,84	457,15	419,34	500,83
387,50	491,97	25	0,598	0,247	491,97	465,05	426,70	510,22
585,80	511,40	26	0,622	0,310	511,40	473,22	434,24	520,03
299,20	511,50	27	0,646	0,375	511,50	481,71	442,00	530,32
441,30	519,40	28	0,671	0,442	519,40	490,57	450,01	541,18
628,70	521,40	29	0,695	0,510	521,40	499,87	458,34	552,70
416,80	538,24	30	0,720	0,581	538,24	509,69	467,06	565,00
302,60	538,80	31	0,744	0,655	538,80	520,15	476,23	578,23
232,20	541,90	32	0,768	0,733	541,90	531,37	485,98	592,59
647,10	554,60	33	0,793	0,816	554,60	543,54	496,43	608,34
491,97	576,73	34	0,817	0,904	576,73	556,90	507,79	625,82
680,89	578,50	35	0,841	1,000	578,50	571,79	520,30	645,56
476,84	585,80	36	0,866	1,107	585,80	588,75	534,38	668,30
343,51	609,71	37	0,890	1,228	609,71	608,59	550,64	695,27
298,84	628,70	38	0,915	1,370	628,70	632,76	570,19	728,62
609,71	645,46	39	0,939	1,547	645,46	664,19	595,22	772,72
434,35	647,10	40	0,963	1,792	647,10	710,37	631,32	838,89
511,40	680,89	41	0,988	2,251	680,89	805,66	703,79	979,98

Fréquence	U de Gauss	Valeur théo.	Borne inf.	Borne sup.	Valeur	Fréq. théo.	Pér. Ret.
0,8	0,841	547,41	499,74	613,38	547,41	0,800	5
0,9	1,282	617,62	557,98	707,67	617,62	0,900	10
0,95	1,645	682,33	609,48	798,52	682,33	0,950	20
0,98	2,054	763,27	671,85	916,51	763,27	0,980	50
0,99	2,327	822,49	716,35	1005,48	822,49	0,990	100
0,999	3,091	1014,02	855,54	1306,28	1014,02	0,999	1000

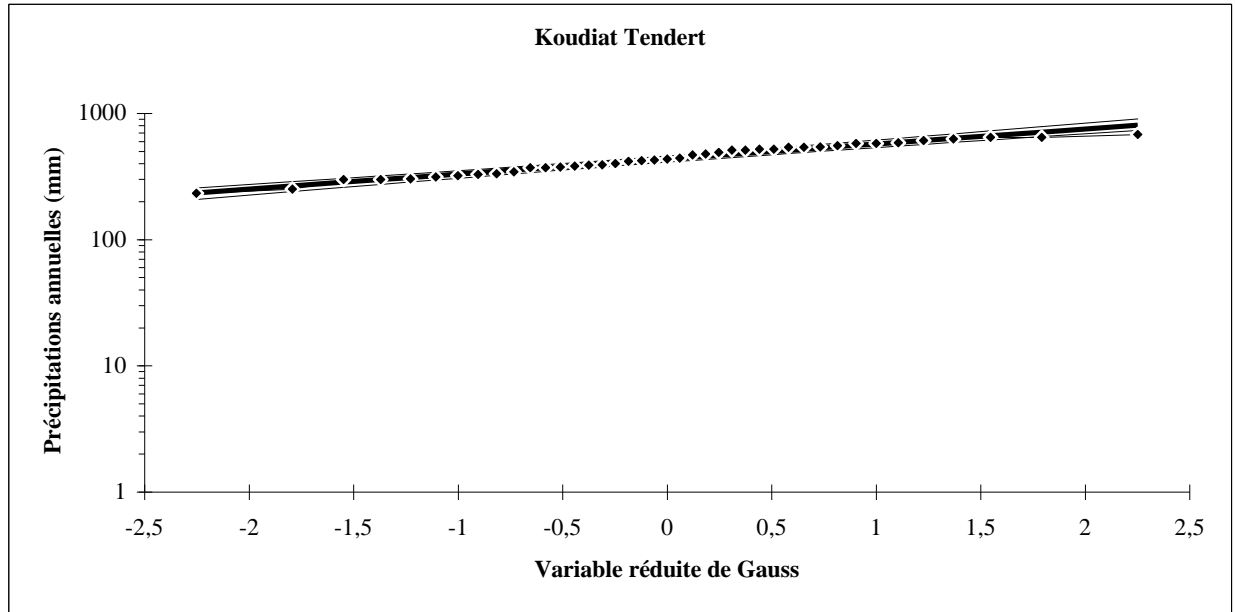


Figure (III.20) : Ajustement des précipitations annuelles à la loi log-station Koudiat Tendert.

• Station Mechta 100308

Tableau (III.22) : Ajustement des précipitations annuelles à la loi log

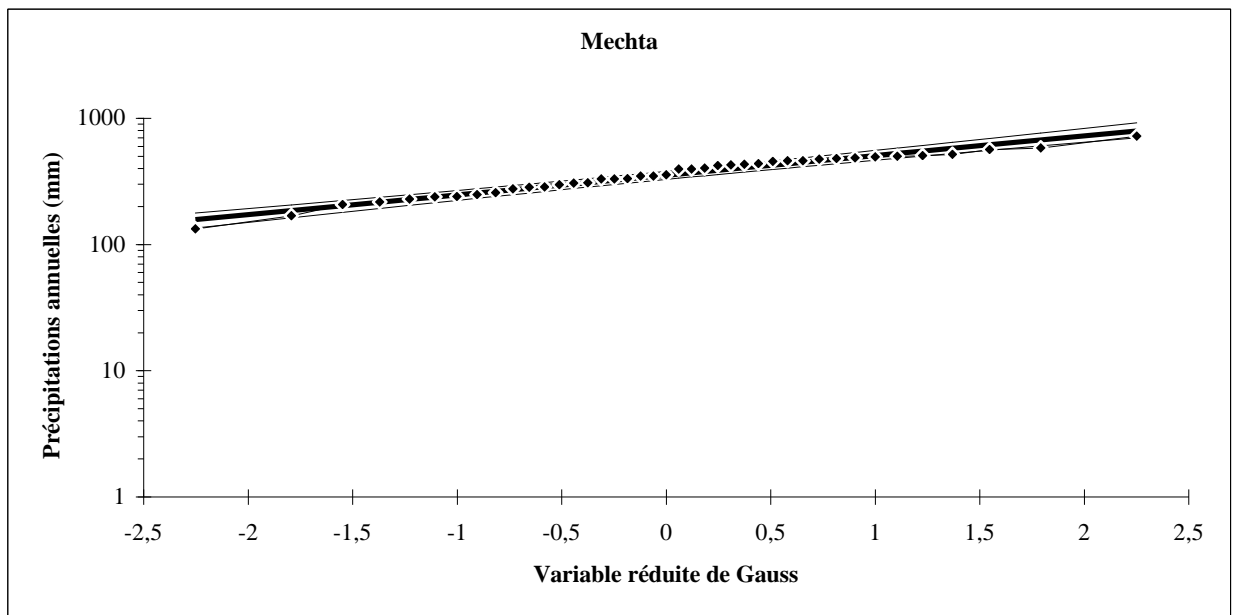
$X_0=0$  Taille=41 Moylogx=2,547E.T.logx=0,1558 UGauss=1,187 I.C.à (en %)=95

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
296,75	132,88	1	0,012	-2,251	132,88	157,28	121,70	187,74
420,94	168,70	2	0,037	-1,792	168,70	185,47	149,18	216,45
460,60	207,42	3	0,061	-1,547	207,42	202,53	166,12	233,79
431,06	216,40	4	0,085	-1,370	216,40	215,80	179,41	247,32
506,60	228,70	5	0,110	-1,228	228,70	227,09	190,76	258,88
517,42	237,85	6	0,134	-1,107	237,85	237,17	200,90	269,25
456,00	239,00	7	0,159	-1,000	239,00	246,42	210,22	278,82
395,60	247,54	8	0,183	-0,904	247,54	255,08	218,94	287,86
436,90	257,30	9	0,207	-0,816	257,30	263,32	227,21	296,51
276,20	276,20	10	0,232	-0,733	276,20	271,24	235,15	304,89
485,18	283,80	11	0,256	-0,655	283,80	278,93	242,83	313,08
330,01	285,92	12	0,280	-0,581	285,92	286,45	250,30	321,16
237,85	296,75	13	0,305	-0,510	296,75	293,84	257,62	329,18
332,51	306,00	14	0,329	-0,442	306,00	301,16	264,82	337,18
461,10	308,00	15	0,354	-0,375	308,00	308,43	271,95	345,21
348,20	330,01	16	0,378	-0,310	330,01	315,69	279,02	353,30
472,90	330,49	17	0,402	-0,247	330,49	322,98	286,06	361,50
239,00	332,51	18	0,427	-0,184	332,51	330,31	293,10	369,83
306,00	348,20	19	0,451	-0,122	348,20	337,71	300,16	378,33
207,42	348,25	20	0,476	-0,061	348,25	345,22	307,27	387,03
348,25	355,82	21	0,500	0,000	355,82	352,87	314,44	395,99
216,40	394,40	22	0,524	0,061	394,40	360,68	321,72	405,23
132,88	395,60	23	0,549	0,122	395,60	368,70	329,12	414,83
168,70	402,49	24	0,573	0,184	402,49	376,97	336,69	424,82
257,30	420,94	25	0,598	0,247	420,94	385,53	344,45	435,28
564,80	426,58	26	0,622	0,310	426,58	394,42	352,43	446,27
283,80	431,06	27	0,646	0,375	431,06	403,71	360,70	457,87
394,40	436,90	28	0,671	0,442	436,90	413,46	369,28	470,18
499,80	456,00	29	0,695	0,510	456,00	423,75	378,26	483,33
308,00	460,60	30	0,720	0,581	460,60	434,69	387,70	497,46
228,70	461,10	31	0,744	0,655	461,10	446,40	397,71	512,77
285,92	472,90	32	0,768	0,733	472,90	459,05	408,40	529,51
721,92	479,45	33	0,793	0,816	479,45	472,87	419,94	548,01
426,58	485,18	34	0,817	0,904	485,18	488,14	432,56	568,72
581,41	493,20	35	0,841	1,000	493,20	505,31	446,57	592,32
355,82	499,80	36	0,866	1,107	499,80	525,01	462,46	619,78

# ANNEXE

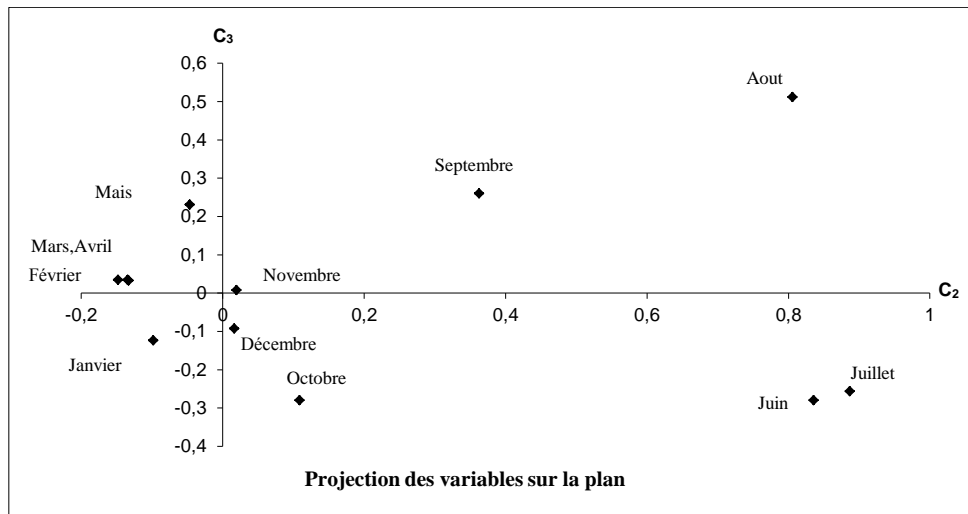
247,54	506,60	37	0,890	1,228	506,60	548,30	480,97	652,74
330,49	517,42	38	0,915	1,370	517,42	576,99	503,45	694,04
479,45	564,80	39	0,939	1,547	564,80	614,81	532,59	749,55
402,49	581,41	40	0,963	1,792	581,41	671,37	575,27	834,68
493,20	721,92	41	0,988	2,251	721,92	791,66	663,23	1023,11

Fréquence	U de Gauss	Valeur théo.	Borne inf.	Borne sup.	Valeur	Fréq. théo.	Pér. Ret.
0,8	0,841	477,28	423,60	553,96	477,28	0,800	5
0,9	1,282	558,98	489,38	668,03	558,98	0,900	10
0,95	1,645	636,87	549,36	782,48	636,87	0,950	20
0,98	2,054	737,57	624,10	937,22	737,57	0,980	50
0,99	2,327	813,38	678,78	1058,10	813,38	0,990	100
0,999	3,091	1069,89	856,44	1490,57	1069,89	0,999	1000

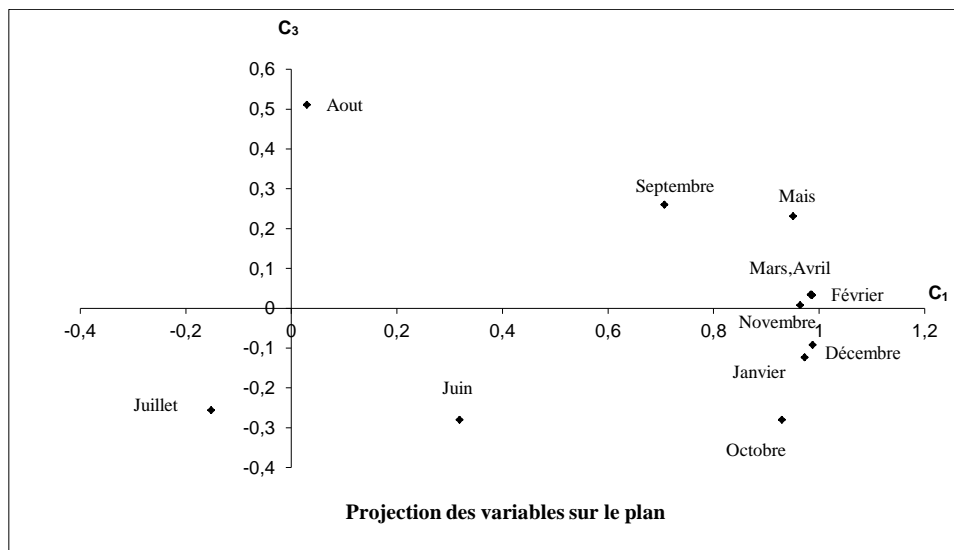


*Figure (III.21) : Ajustement des précipitations annuelles à la loi log-station Mechta-.*

➤ **GRAPHE ACP Annuel**



**Figure (III.22):** Projection des variables sur le plan  $C_2 C_3$  (ACP annuel).



**Figure(III.23):** Projection des variables sur le plan  $C_1 C_3$  (ACP annuel).

**\* Pluies maximales journalières**

➤ **Station Koudiat100208**

**Tableau (III.23) : Précipitations maximales journalières et leurs fréquences expérimentales.**

Taille=41 Moylogx=2,23 E.T.logx=0,1 UGauss=1,9604 I.C.à (en %)=95

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
124,75	85,30	1	0,012	-2,251	85,30	101,05	85,59	113,32
207,30	111,90	2	0,037	-1,792	111,90	112,43	97,65	124,25
206,37	116,22	3	0,061	-1,547	116,22	119,02	104,69	130,61
190,05	119,40	4	0,085	-1,370	119,40	124,01	110,04	135,45
170,08	124,75	5	0,110	-1,228	124,75	128,17	114,49	139,52
199,15	125,40	6	0,134	-1,107	125,40	131,82	118,40	143,11
184,51	135,74	7	0,159	-1,000	135,74	135,13	121,92	146,38
116,22	142,10	8	0,183	-0,904	142,10	138,19	125,17	149,43
146,70	146,70	9	0,207	-0,816	146,70	141,06	128,22	152,33
162,20	146,70	10	0,232	-0,733	146,70	143,79	131,10	155,10
163,00	148,60	11	0,256	-0,655	148,60	146,42	133,85	157,79
176,80	150,70	12	0,280	-0,581	150,70	148,96	136,51	160,41
119,40	156,50	13	0,305	-0,510	156,50	151,44	139,08	162,99
135,74	160,00	14	0,329	-0,442	160,00	153,87	141,58	165,54
193,20	162,20	15	0,354	-0,375	162,20	156,26	144,03	168,08
156,50	163,00	16	0,378	-0,310	163,00	158,64	146,45	170,63
245,90	169,44	17	0,402	-0,247	169,44	161,00	148,83	173,18
176,30	170,08	18	0,427	-0,184	170,08	163,35	151,19	175,75
207,60	175,95	19	0,451	-0,122	175,95	165,71	153,54	178,35
148,60	176,30	20	0,476	-0,061	176,30	168,09	155,88	181,00
193,50	176,80	21	0,500	0,000	176,80	170,49	158,23	183,70
231,80	179,29	22	0,524	0,061	179,29	172,92	160,59	186,47
179,60	179,60	23	0,549	0,122	179,60	175,40	162,97	189,31
125,40	181,06	24	0,573	0,184	181,06	177,94	165,39	192,25
142,10	184,51	25	0,598	0,247	184,51	180,54	167,84	195,30
220,60	184,92	26	0,622	0,310	184,92	183,23	170,35	198,48
146,70	190,05	27	0,646	0,375	190,05	186,01	172,93	201,80
160,00	192,02	28	0,671	0,442	192,02	188,91	175,58	205,30
258,50	193,20	29	0,695	0,510	193,20	191,94	178,33	209,00
212,90	193,50	30	0,720	0,581	193,50	195,13	181,20	212,93
111,90	199,15	31	0,744	0,655	199,15	198,52	184,22	217,15
85,30	206,37	32	0,768	0,733	206,37	202,14	187,41	221,72
212,60	207,30	33	0,793	0,816	207,30	206,06	190,82	226,70
192,02	207,60	34	0,817	0,904	207,60	210,34	194,51	232,21
184,92	212,60	35	0,841	1,000	212,60	215,10	198,57	238,40
179,29	212,90	36	0,866	1,107	212,90	220,50	203,11	245,50
175,95	220,60	37	0,890	1,228	220,60	226,78	208,34	253,87
169,44	221,98	38	0,915	1,370	221,98	234,39	214,59	264,16
221,98	231,80	39	0,939	1,547	231,80	244,22	222,55	277,65
181,06	245,90	40	0,963	1,792	245,90	258,54	233,94	297,67
150,70	258,50	41	0,988	2,251	258,50	287,65	256,51	339,59

Fréquence	U de Gauss	Valeur théo.	Borne inf.	Borne sup.	Valeur	Fréq. théo.	Pér. Ret.
0,8	0,841	207,30	191,89	228,29	207,30	0,800	5
0,9	1,282	229,63	210,69	257,71	229,63	0,900	10
0,95	1,645	249,86	227,06	285,48	249,86	0,950	20
0,98	2,054	274,77	246,60	320,86	274,77	0,980	50
0,99	2,327	292,73	260,38	347,07	292,80	0,990	100
0,999	3,091	349,57	302,67	433,27	349,57	0,999	1000

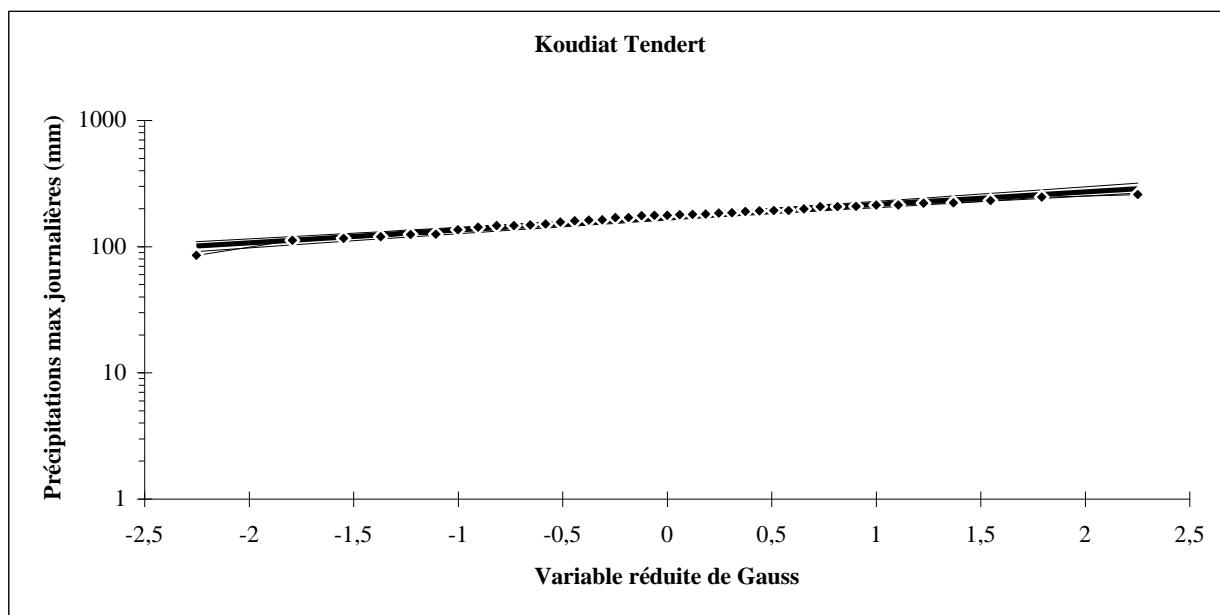


Figure (III.24) : Ajustement des précipitations maximales journalières à la loi log normale -station Koudiat-.

➤ Station Belaa 100302

Tableau (III.24) : Précipitations maximales journalières et leurs fréquences expérimentales.

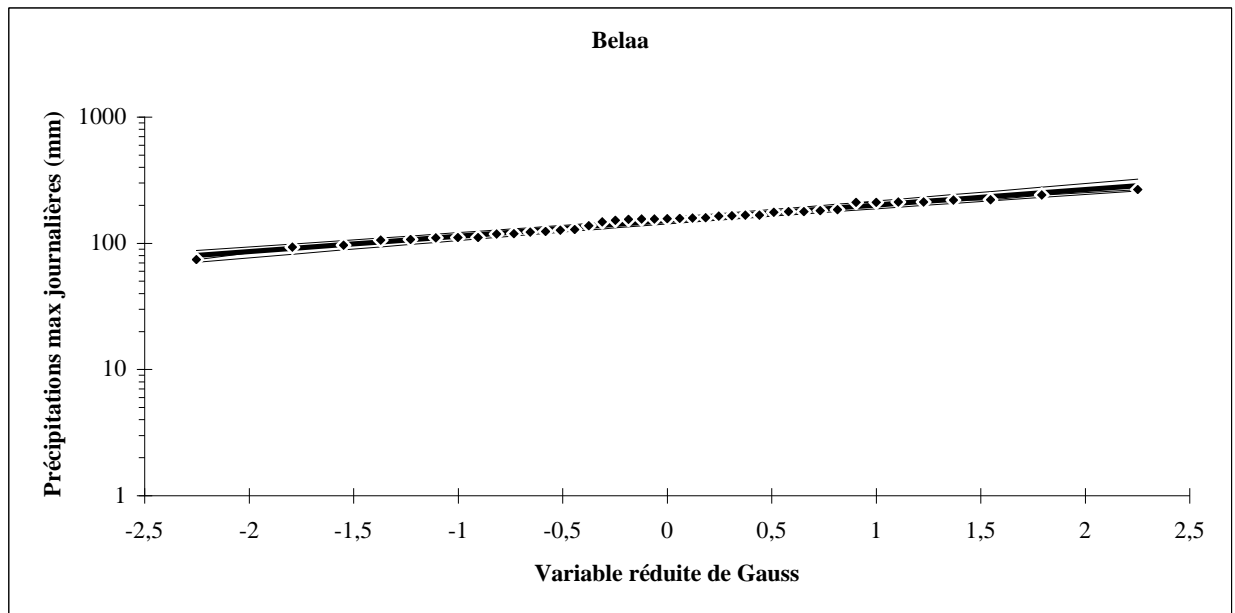
Taille=41 Moylogx=2,18 E.T.logx=0,12 UGauss=1,9604 I .C.à (en %)=95

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
124,10	74,10	1	0,012	-2,251	74,10	79,79	65,17	91,75
177,80	92,82	2	0,037	-1,792	92,82	90,87	76,53	102,65
176,10	96,50	3	0,061	-1,547	96,50	97,41	83,31	109,09
137,60	106,10	4	0,085	-1,370	106,10	102,41	88,52	114,04
158,40	106,80	5	0,110	-1,228	106,80	106,62	92,91	118,23
210,00	110,24	6	0,134	-1,107	110,24	110,33	96,79	121,95
151,50	110,80	7	0,159	-1,000	110,80	113,71	100,31	125,36
96,50	110,95	8	0,183	-0,904	110,95	116,85	103,58	128,55
165,30	118,36	9	0,207	-0,816	118,36	119,82	106,66	131,59
128,00	118,87	10	0,232	-0,733	118,87	122,66	109,59	134,51
155,30	122,40	11	0,256	-0,655	122,40	125,39	112,40	137,36
159,50	124,10	12	0,280	-0,581	124,10	128,05	115,12	140,15
110,95	126,60	13	0,305	-0,510	126,60	130,65	117,77	142,90
122,40	128,00	14	0,329	-0,442	128,00	133,21	120,36	145,63
157,40	137,60	15	0,354	-0,375	137,60	135,74	122,91	148,36
126,60	147,59	16	0,378	-0,310	147,59	138,26	125,42	151,10
220,40	151,50	17	0,402	-0,247	151,50	140,77	127,91	153,86
118,36	154,40	18	0,427	-0,184	154,40	143,29	130,39	156,65
147,59	155,30	19	0,451	-0,122	155,30	145,82	132,87	159,48
156,40	155,30	20	0,476	-0,061	155,30	148,37	135,34	162,37
212,30	156,40	21	0,500	0,000	156,40	150,95	137,83	165,33
218,80	157,40	22	0,524	0,061	157,40	153,59	140,34	168,37
110,80	158,40	23	0,549	0,122	158,40	156,27	142,88	171,51
106,80	159,50	24	0,573	0,184	159,50	159,03	145,47	174,76
118,87	163,41	25	0,598	0,247	163,41	161,87	148,10	178,14
106,10	165,30	26	0,622	0,310	165,30	164,81	150,81	181,68
92,82	166,70	27	0,646	0,375	166,70	167,87	153,59	185,40
110,24	166,80	28	0,671	0,442	166,80	171,06	156,47	189,32
177,60	176,10	29	0,695	0,510	176,10	174,41	159,46	193,49
163,41	177,60	30	0,720	0,581	177,60	177,95	162,60	197,94
74,10	177,80	31	0,744	0,655	177,80	181,72	165,90	202,73

# ANNEXE

155,30	180,90	32	0,768	0,733	180,90	185,78	169,41	207,93
184,00	184,00	33	0,793	0,816	184,00	190,17	173,17	213,64
210,70	210,00	34	0,817	0,904	210,00	195,00	177,26	219,99
166,80	210,70	35	0,841	1,000	210,70	200,40	181,78	227,16
166,70	211,80	36	0,866	1,107	211,80	206,54	186,86	235,43
211,80	212,30	37	0,890	1,228	212,30	213,73	192,74	245,25
241,30	218,80	38	0,915	1,370	218,80	222,51	199,81	257,42
265,70	220,40	39	0,939	1,547	220,40	233,94	208,88	273,53
154,40	241,30	40	0,963	1,792	241,30	250,76	221,98	297,76
180,90	265,70	41	0,988	2,251	265,70	285,58	248,36	349,64

Fréquence	U de Gauss	Valeur théo.	Borne inf.	Borne sup.	Valeur	Fréq. théo.	Pér. Ret.
0,8	0,841	191,57	174,36	215,47	191,57	0,800	5
0,9	1,282	217,01	195,40	249,77	217,01	0,900	10
0,95	1,645	240,54	214,06	282,97	240,54	0,950	20
0,98	2,054	270,07	236,72	326,26	270,07	0,980	50
0,99	2,327	291,75	252,94	359,04	291,80	0,990	100



**Figure (III.25) :** Ajustement des précipitations maximales journalières à la loi log normale - station Belaa-.

➤ **Station Bir el Arch 100306**

**Tableau (III.25) : Précipitations maximales journalières et leurs fréquences expérimentales**

Taille=41 Moylogx=2,11 E.T.logx=0,13 UGauss=1,9604 I.C.à (en %)=95

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
58,09	58,09	1	0,012	-2,251	58,09	65,12	52,21	75,84
111,12	65,20	2	0,037	-1,792	65,20	75,05	62,21	85,73
184,60	74,10	3	0,061	-1,547	74,10	80,96	68,26	91,62
125,70	77,40	4	0,085	-1,370	77,40	85,51	72,93	96,17
112,20	94,50	5	0,110	-1,228	94,50	89,35	76,89	100,03
195,30	96,30	6	0,134	-1,107	96,30	92,75	80,40	103,47
147,80	98,00	7	0,159	-1,000	98,00	95,86	83,60	106,63
98,00	98,92	8	0,183	-0,904	98,92	98,76	86,58	109,60
126,80	105,53	9	0,207	-0,816	105,53	101,50	89,39	112,43
141,50	107,20	10	0,232	-0,733	107,20	104,13	92,08	115,16
107,20	107,50	11	0,256	-0,655	107,50	106,66	94,66	117,82
116,40	111,12	12	0,280	-0,581	111,12	109,13	97,16	120,43
65,20	112,20	13	0,305	-0,510	112,20	111,56	99,60	123,02
98,92	116,40	14	0,329	-0,442	116,40	113,94	102,00	125,59
144,00	122,95	15	0,354	-0,375	122,95	116,31	104,36	128,16
155,50	124,20	16	0,378	-0,310	124,20	118,67	106,69	130,75
210,00	125,70	17	0,402	-0,247	125,70	121,02	109,01	133,36
107,50	126,80	18	0,427	-0,184	126,80	123,38	111,31	136,00
142,55	129,50	19	0,451	-0,122	129,50	125,76	113,62	138,69
177,71	134,70	20	0,476	-0,061	134,70	128,17	115,93	141,43
186,36	137,60	21	0,500	0,000	137,60	130,61	118,26	144,25
164,85	141,00	22	0,524	0,061	141,00	133,10	120,61	147,14
166,30	141,50	23	0,549	0,122	141,50	135,64	123,00	150,14
94,50	142,55	24	0,573	0,184	142,55	138,26	125,43	153,25
105,53	144,00	25	0,598	0,247	144,00	140,96	127,92	156,49
179,50	145,67	26	0,622	0,310	145,67	143,75	130,47	159,89
96,30	147,80	27	0,646	0,375	147,80	146,67	133,10	163,46
137,60	153,80	28	0,671	0,442	153,80	149,71	135,83	167,24
134,70	155,50	29	0,695	0,510	155,50	152,92	138,67	171,26
124,20	156,75	30	0,720	0,581	156,75	156,31	141,64	175,57
74,10	164,85	31	0,744	0,655	164,85	159,93	144,79	180,22
77,40	166,30	32	0,768	0,733	166,30	163,83	148,13	185,27
200,00	177,71	33	0,793	0,816	177,71	168,07	151,73	190,83
187,80	179,50	34	0,817	0,904	179,50	172,73	155,65	197,03
122,95	184,60	35	0,841	1,000	184,60	177,95	159,98	204,05
145,67	186,36	36	0,866	1,107	186,36	183,91	164,87	212,18
156,75	187,80	37	0,890	1,228	187,80	190,92	170,55	221,86
187,90	187,90	38	0,915	1,370	187,90	199,50	177,39	233,90
129,50	195,30	39	0,939	1,547	195,30	210,71	186,20	249,93
153,80	200,00	40	0,963	1,792	200,00	227,30	198,98	274,19
141,00	210,00	41	0,988	2,251	210,00	261,98	224,93	326,74

Fréquence	U de Gauss	Valeur théo.	Borne inf.	Borne sup.	Valeur	Fréq. théo.	Pér. Ret.
0,8	0,841	169,42	152,87	192,62	169,42	0,800	5
0,9	1,282	194,12	173,11	226,33	194,12	0,900	10
0,95	1,645	217,21	191,24	259,36	217,21	0,950	20
0,98	2,054	246,48	213,45	302,97	246,48	0,980	50
0,99	2,327	268,16	229,46	336,35	268,20	0,990	100
0,999	3,091	339,57	280,34	451,84	339,60	0,999	1000

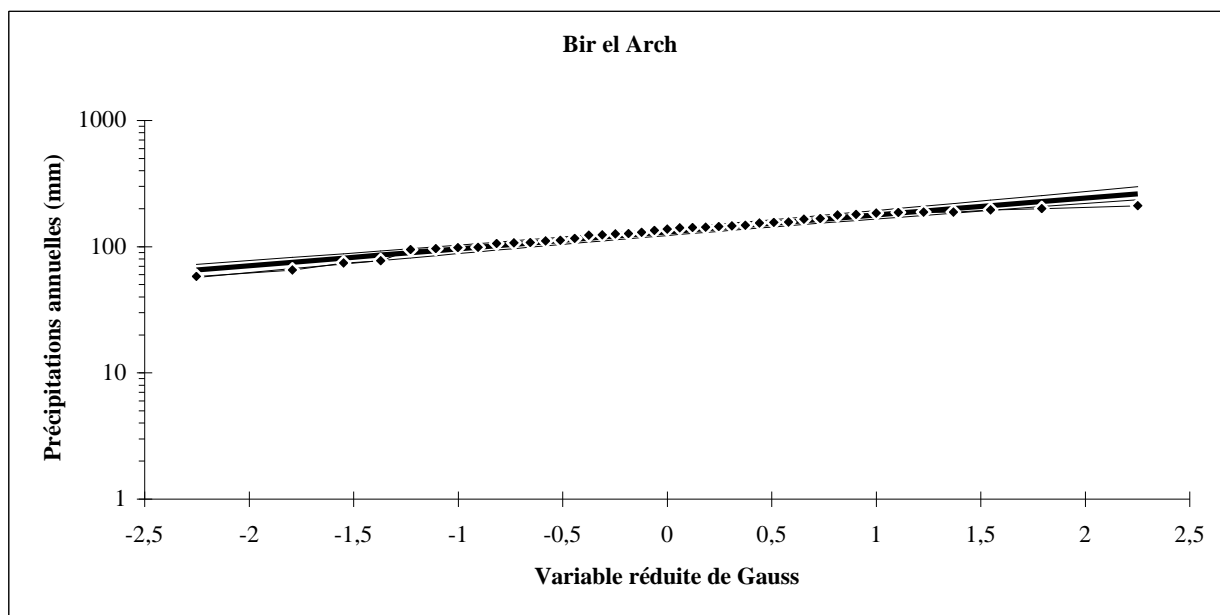


Figure (III.26) : Ajustement des précipitations maximales journalières à la loi log normale-station Bir el Arch-.

➤ Station Ain el Kebch 100307

Tableau (III.26) : Précipitations maximales journalières et leurs fréquences expérimentales.

Taille=41 Moylogx=2,127 E.T.logx=0,116 UGauss=1,9604 I .C.à (en %)=95

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
100,24	67,70	1	0,012	-2,251	67,70	73,33	60,54	83,70
174,83	73,07	2	0,037	-1,792	73,07	82,94	70,48	93,08
229,04	98,10	3	0,061	-1,547	98,10	88,57	76,38	98,60
169,70	98,30	4	0,085	-1,370	98,30	92,88	80,90	102,84
119,02	98,71	5	0,110	-1,228	98,71	96,48	84,70	106,41
106,79	100,24	6	0,134	-1,107	100,24	99,66	88,04	109,57
134,10	100,50	7	0,159	-1,000	100,50	102,55	91,08	112,47
114,40	106,79	8	0,183	-0,904	106,79	105,24	93,88	115,18
112,20	111,47	9	0,207	-0,816	111,47	107,77	96,52	117,76
162,10	112,20	10	0,232	-0,733	112,20	110,18	99,03	120,24
127,50	113,60	11	0,256	-0,655	113,60	112,51	101,44	122,65
113,60	113,80	12	0,280	-0,581	113,80	114,76	103,76	125,00
98,10	114,40	13	0,305	-0,510	114,40	116,97	106,02	127,33
113,80	115,93	14	0,329	-0,442	115,93	119,14	108,23	129,63
146,30	119,02	15	0,354	-0,375	119,02	121,28	110,39	131,93
100,50	121,50	16	0,378	-0,310	121,50	123,41	112,53	134,24
115,93	127,50	17	0,402	-0,247	127,50	125,53	114,65	136,56
121,50	129,65	18	0,427	-0,184	129,65	127,65	116,75	138,90
150,04	133,53	19	0,451	-0,122	133,53	129,79	118,84	141,28
141,18	134,10	20	0,476	-0,061	134,10	131,94	120,94	143,70
172,90	134,30	21	0,500	0,000	134,30	134,11	123,04	146,18
177,20	137,43	22	0,524	0,061	137,43	136,33	125,16	148,72
134,30	139,40	23	0,549	0,122	139,40	138,58	127,31	151,34
98,30	141,18	24	0,573	0,184	141,18	140,90	129,49	154,06
111,47	144,31	25	0,598	0,247	144,31	143,28	131,71	156,88
165,20	146,30	26	0,622	0,310	146,30	145,74	133,99	159,83
73,07	147,75	27	0,646	0,375	147,75	148,30	136,33	162,93
129,65	150,04	28	0,671	0,442	150,04	150,97	138,75	166,19
191,24	151,11	29	0,695	0,510	151,11	153,77	141,26	169,65

# ANNEXE

205,95	162,10	30	0,720	0,581	162,10	156,72	143,89	173,34
98,71	165,20	31	0,744	0,655	165,20	159,87	146,65	177,32
67,70	167,17	32	0,768	0,733	167,17	163,24	149,59	181,62
187,50	169,70	33	0,793	0,816	169,70	166,90	152,74	186,34
147,75	172,90	34	0,817	0,904	172,90	170,91	156,15	191,58
139,40	174,83	35	0,841	1,000	174,83	175,38	159,92	197,49
133,53	177,20	36	0,866	1,107	177,20	180,47	164,15	204,29
137,43	187,50	37	0,890	1,228	187,50	186,42	169,03	212,35
151,11	191,24	38	0,915	1,370	191,24	193,66	174,90	222,31
204,79	204,79	39	0,939	1,547	204,79	203,06	182,41	235,47
144,31	205,95	40	0,963	1,792	205,95	216,87	193,22	255,18
167,17	229,04	41	0,988	2,251	229,04	245,28	214,90	297,09

Fréquence	U de Gauss	Valeur théo.	Borne inf.	Borne sup.	Valeur	Fréq. théo.	Pér. Ret.
0,8	0,841	168,06	153,73	187,85	168,06	0,800	5
0,9	1,282	189,12	171,24	216,06	189,12	0,900	10
0,95	1,645	208,49	186,68	243,16	208,49	0,950	20
0,98	2,054	232,65	205,35	278,25	232,65	0,980	50
0,99	2,327	250,30	218,65	304,65	250,33	0,990	100
0,999	3,091	307,19	260,13	393,55	307,20	0,999	1000

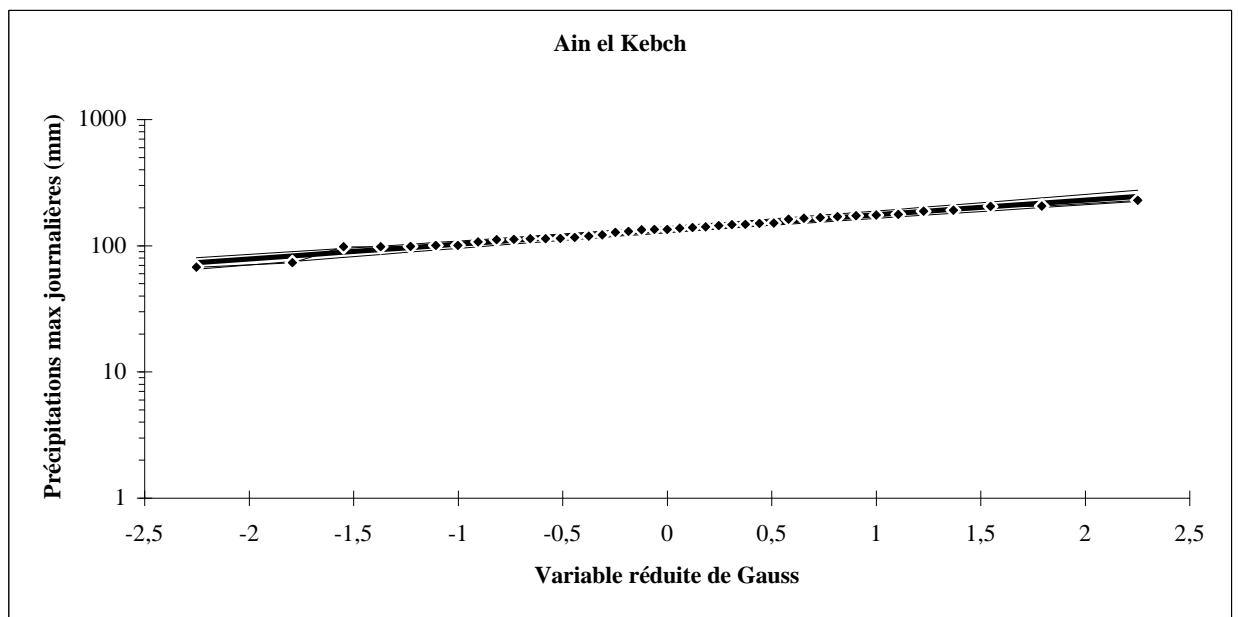


Figure (III.27) : Ajustement des précipitations maximales journalières à la loi log normale -station Ain el Kebch-.

➤ Station Mechta 100308

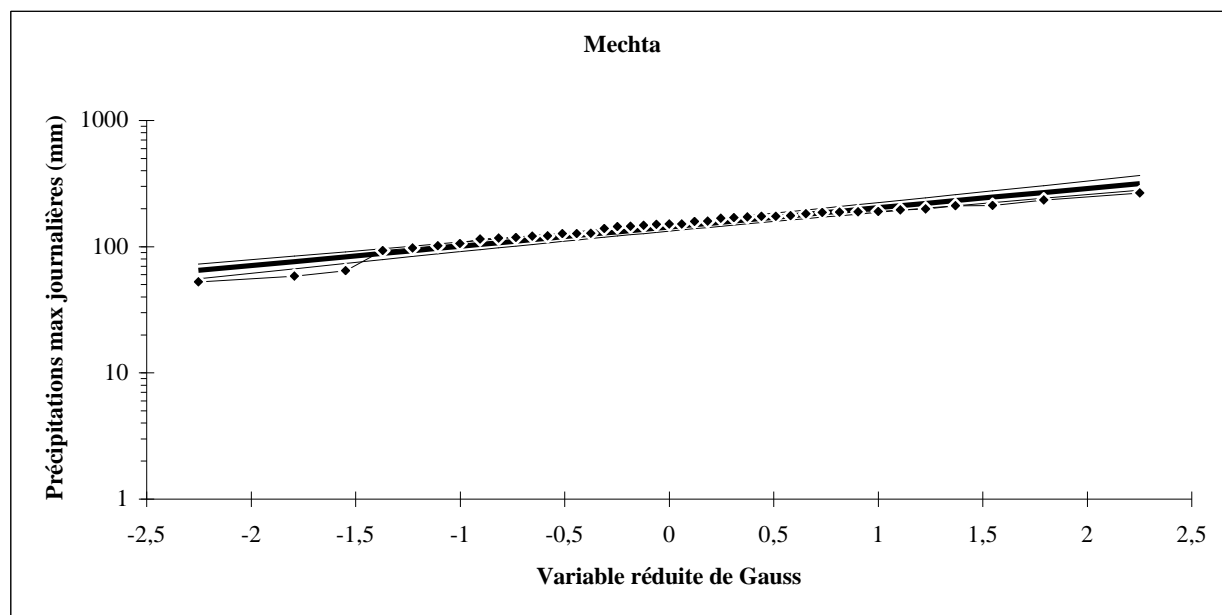
# ANNEXE

**Tableau (III.27) : Précipitations maximales journalières et leurs fréquences expérimentales.**

Taille=41 Moylogx=2,15 E.T.logx=0,15 UGauss=1,9604 I. C.à (en %)=95

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
127,43	52,49	1	0,012	-2,251	52,49	64,68	50,31	76,93
147,13	58,50	2	0,037	-1,792	58,50	76,01	61,41	88,44
144,50	64,30	3	0,061	-1,547	64,30	82,86	68,24	95,37
168,13	92,80	4	0,085	-1,370	92,80	88,18	73,58	100,78
189,60	97,50	5	0,110	-1,228	97,50	92,70	78,14	105,39
171,65	101,53	6	0,134	-1,107	101,53	96,72	82,21	109,52
187,90	105,60	7	0,159	-1,000	105,60	100,42	85,94	113,34
105,60	114,56	8	0,183	-0,904	114,56	103,87	89,43	116,93
116,60	116,60	9	0,207	-0,816	116,60	107,16	92,74	120,38
158,80	117,94	10	0,232	-0,733	117,94	110,32	95,92	123,71
145,36	120,70	11	0,256	-0,655	120,70	113,38	98,98	126,96
170,20	122,00	12	0,280	-0,581	122,00	116,37	101,97	130,17
150,90	126,80	13	0,305	-0,510	126,80	119,32	104,89	133,36
195,62	127,00	14	0,329	-0,442	127,00	122,23	107,76	136,53
198,60	127,43	15	0,354	-0,375	127,43	125,12	110,60	139,72
151,00	139,57	16	0,378	-0,310	139,57	128,00	113,41	142,92
126,80	144,50	17	0,402	-0,247	144,50	130,89	116,22	146,17
97,50	145,36	18	0,427	-0,184	145,36	133,80	119,02	149,47
127,00	147,13	19	0,451	-0,122	147,13	136,74	121,83	152,84
139,57	150,50	20	0,476	-0,061	150,50	139,72	124,65	156,28
101,53	150,90	21	0,500	0,000	150,90	142,75	127,51	159,82
64,30	151,00	22	0,524	0,061	151,00	145,85	130,39	163,48
52,49	158,70	23	0,549	0,122	158,70	149,03	133,33	167,27
58,50	158,80	24	0,573	0,184	158,80	152,30	136,34	171,22
92,80	168,13	25	0,598	0,247	168,13	155,68	139,41	175,34
211,50	170,20	26	0,622	0,310	170,20	159,20	142,58	179,68
150,50	171,65	27	0,646	0,375	171,65	162,87	145,85	184,25
173,50	173,50	28	0,671	0,442	173,50	166,73	149,26	189,11
158,70	173,69	29	0,695	0,510	173,69	170,79	152,81	194,29
120,70	175,75	30	0,720	0,581	175,75	175,11	156,55	199,85
122,00	182,11	31	0,744	0,655	182,11	179,73	160,50	205,88
117,94	186,39	32	0,768	0,733	186,39	184,72	164,73	212,46
211,15	187,90	33	0,793	0,816	187,90	190,17	169,29	219,73
265,60	188,58	34	0,817	0,904	188,58	196,18	174,27	227,86
186,39	189,60	35	0,841	1,000	189,60	202,94	179,80	237,12
188,58	195,62	36	0,866	1,107	195,62	210,69	186,06	247,89
114,56	198,60	37	0,890	1,228	198,60	219,84	193,36	260,79
234,29	211,15	38	0,915	1,370	211,15	231,11	202,21	276,95
173,69	211,50	39	0,939	1,547	211,50	245,94	213,67	298,63
175,75	234,29	40	0,963	1,792	234,29	268,08	230,43	331,83
182,11	265,60	41	0,988	2,251	265,60	315,06	264,90	405,06

Fréquence	U de Gauss	Valeur théo.	Borne inf.	Borne sup.	Valeur	Fréq. théo.	Pér. Ret.
0,8	0,841	191,90	170,73	222,07	191,90	0,800	5
0,9	1,282	224,04	196,67	266,77	224,04	0,900	10
0,95	1,645	254,58	220,26	311,48	254,58	0,950	20
0,98	2,054	293,96	249,58	371,72	293,96	0,980	50
0,99	2,327	323,53	270,98	418,63	323,59	0,990	100
0,999	3,091	423,20	340,30	585,65	423,20	0,999	1000



**Figure (III.28) :** Ajustement des précipitations maximales journalières à la loi log normale -station Mechta-.

➤ **Station Chegoum100312**

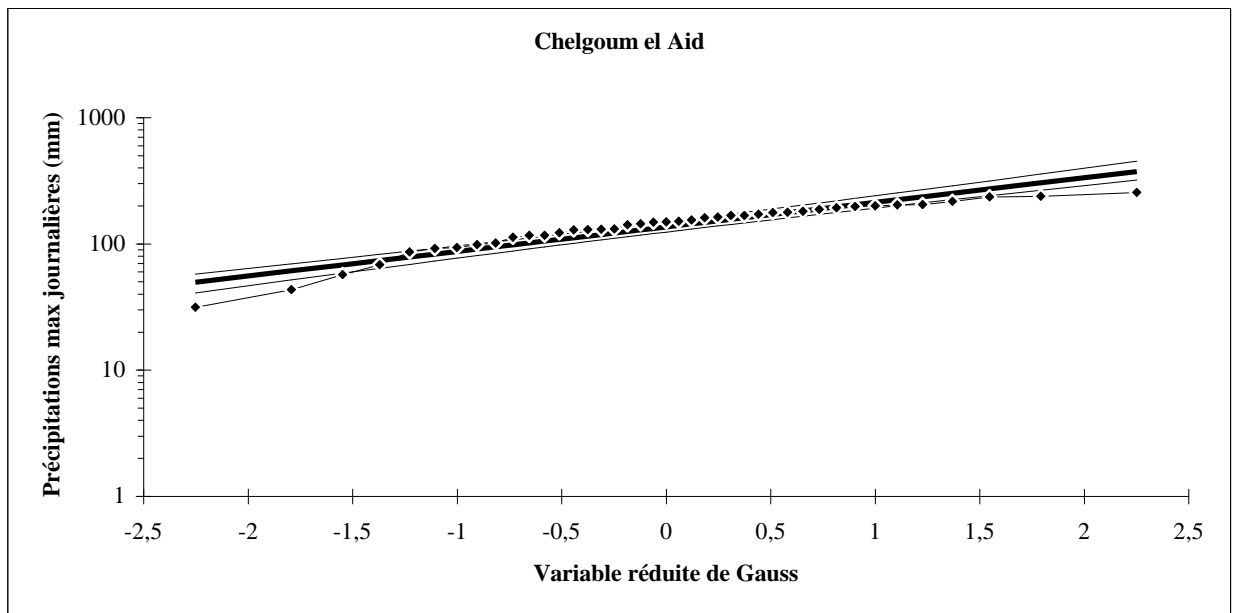
**Tableau (III.30) :** Précipitations maximales journalières et leurs fréquences expérimentale

Taille=41 Moylogx=2,13 E.T.logx=0,19 UGauss=1,96 I.C.à (en %)=95

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
31,39	31,39	1	0,012	-2,251	31,39	49,67	36,07	61,94
57,02	43,45	2	0,037	-1,792	43,45	61,00	46,49	73,96
131,62	57,02	3	0,061	-1,547	57,02	68,08	53,17	81,43
98,53	68,39	4	0,085	-1,370	68,39	73,69	58,53	87,35
93,66	86,20	5	0,110	-1,228	86,20	78,53	63,18	92,47
216,72	92,00	6	0,134	-1,107	92,00	82,89	67,40	97,11
167,97	93,66	7	0,159	-1,000	93,66	86,95	71,32	101,43
92,00	98,53	8	0,183	-0,904	98,53	90,78	75,03	105,55
116,80	101,80	9	0,207	-0,816	101,80	94,45	78,58	109,52
122,10	113,10	10	0,232	-0,733	113,10	98,01	82,02	113,39
148,48	116,80	11	0,256	-0,655	116,80	101,48	85,37	117,21
163,13	117,00	12	0,280	-0,581	117,00	104,90	88,66	120,99
68,39	122,10	13	0,305	-0,510	122,10	108,29	91,90	124,77
43,45	129,00	14	0,329	-0,442	129,00	111,66	95,12	128,56
203,28	130,10	15	0,354	-0,375	130,10	115,04	98,32	132,39
154,40	130,70	16	0,378	-0,310	130,70	118,43	101,52	136,27
187,10	131,62	17	0,402	-0,247	131,62	121,84	104,73	140,23
141,50	141,50	18	0,427	-0,184	141,50	125,30	107,95	144,27
199,70	144,30	19	0,451	-0,122	144,30	128,82	111,20	148,42
149,30	148,48	20	0,476	-0,061	148,48	132,40	114,50	152,69
193,10	149,30	21	0,500	0,000	149,30	136,07	117,84	157,11
255,60	151,30	22	0,524	0,061	151,30	139,83	121,25	161,70
160,80	154,40	23	0,549	0,122	154,40	143,72	124,74	166,48
130,70	160,80	24	0,573	0,184	160,80	147,75	128,33	171,50
151,30	163,13	25	0,598	0,247	163,13	151,95	132,03	176,78
197,40	167,678	26	0,622	0,310	167,68	156,33	135,86	182,37
117,00	167,97	27	0,646	0,375	167,97	160,94	139,84	188,30
129,00	171,56	28	0,671	0,442	171,56	165,80	144,01	194,63
177,20	177,20	29	0,695	0,510	177,20	170,96	148,39	201,45

130,10	177,70	30	0,720	0,581	177,70	176,48	153,02	208,82
86,20	181,20	31	0,744	0,655	181,20	182,43	157,96	216,87
101,80	187,10	32	0,768	0,733	187,10	188,91	163,27	225,73
235,90	193,10	33	0,793	0,816	193,10	196,02	169,05	235,61
204,70	197,40	34	0,817	0,904	197,40	203,95	175,41	246,77
181,20	199,70	35	0,841	1,000	199,70	212,93	182,52	259,60
171,56	203,28	36	0,866	1,107	203,28	223,34	190,65	274,70
113,10	204,70	37	0,890	1,228	204,70	235,76	200,22	293,03
144,30	216,72	38	0,915	1,370	216,72	251,25	211,96	316,34
238,23	235,90	39	0,939	1,547	235,90	271,95	227,37	348,20
177,70	238,23	40	0,963	1,792	238,23	303,50	250,31	398,20
167,678	255,60	41	0,988	2,251	255,60	372,76	298,92	513,28

Fréquence	U de Gauss	Valeur théo.	Borne inf.	Borne sup.	Valeur	Fréq. théo.	Pér. Ret.
0,8	0,841	198,31	170,89	238,80	198,31	0,800	5
0,9	1,282	241,51	204,60	301,62	241,51	0,900	10
0,95	1,645	284,18	236,33	367,38	284,18	0,950	20
0,98	2,054	341,27	277,08	460,11	341,27	0,980	50
0,99	2,327	385,56	307,68	535,27	385,60	0,990	100
0,999	3,091	542,71	411,19	820,71	542,71	0,999	1000



*Figure (III.30) : Ajustement des précipitations maximales journalières à la loi log normale -station Chelgoum-.*

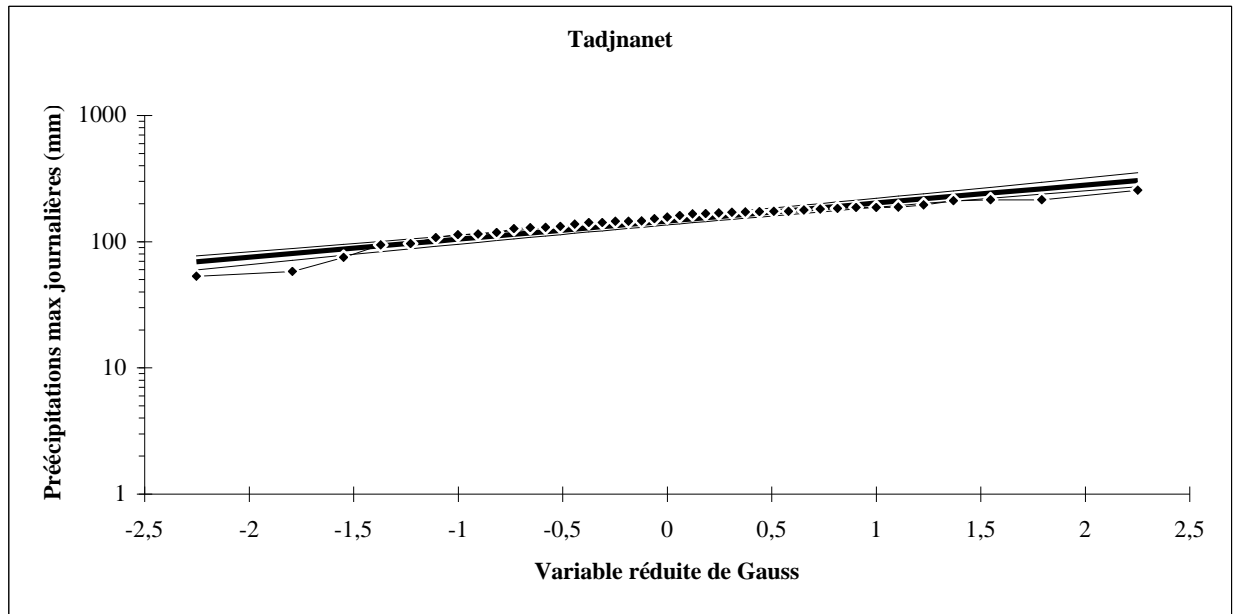
➤ **Station Tadjanet 100303**

**Tableau (III.31) : Précipitations maximales journalières et leurs fréquences expérimentales.**

Taille=41 Moylogx=2,16 E.T.logx=0,143 UGauss=1,96 I.C.à (en %)=95

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
58,00	53,20	1	0,012	-2,251	53,20	69,02	54,52	81,21
53,20	58,00	2	0,037	-1,792	58,00	80,31	65,74	92,56
93,90	75,20	3	0,061	-1,547	75,20	87,07	72,57	99,36
114,80	93,90	4	0,085	-1,370	93,90	92,31	77,89	104,63
118,10	96,50	5	0,110	-1,228	96,50	96,74	82,41	109,12
182,90	107,76	6	0,134	-1,107	107,76	100,68	86,43	113,13
187,90	113,80	7	0,159	-1,000	113,80	104,28	90,11	116,83
96,50	114,80	8	0,183	-0,904	114,80	107,65	93,54	120,30
151,50	118,10	9	0,207	-0,816	118,10	110,84	96,79	123,62
161,40	126,50	10	0,232	-0,733	126,50	113,90	99,89	126,83
137,40	128,90	11	0,256	-0,655	128,90	116,87	102,88	129,96
166,40	129,60	12	0,280	-0,581	129,60	119,76	105,79	133,04
126,50	132,30	13	0,305	-0,510	132,30	122,60	108,63	136,09
141,80	137,40	14	0,329	-0,442	137,40	125,40	111,42	139,13
214,30	141,30	15	0,354	-0,375	141,30	128,18	114,17	142,17
145,80	141,80	16	0,378	-0,310	141,80	130,95	116,90	145,23
173,40	145,20	17	0,402	-0,247	145,20	133,73	119,61	148,32
141,30	145,28	18	0,427	-0,184	145,28	136,52	122,31	151,46
186,80	145,80	19	0,451	-0,122	145,80	139,33	125,02	154,66
181,35	151,50	20	0,476	-0,061	151,50	142,18	127,74	157,93
186,66	156,70	21	0,500	0,000	156,70	145,07	130,48	161,29
174,07	161,40	22	0,524	0,061	161,40	148,02	133,25	164,75
145,28	165,90	23	0,549	0,122	165,90	151,04	136,07	168,33
107,76	166,40	24	0,573	0,184	166,40	154,15	138,94	172,05
132,30	168,30	25	0,598	0,247	168,30	157,36	141,88	175,94
210,65	170,90	26	0,622	0,310	170,90	160,70	144,90	180,02
129,60	172,20	27	0,646	0,375	172,20	164,17	148,02	184,32
145,20	173,00	28	0,671	0,442	173,00	167,82	151,26	188,87
177,90	173,40	29	0,695	0,510	173,40	171,65	154,64	193,72
165,90	174,07	30	0,720	0,581	174,07	175,72	158,18	198,92
75,20	177,90	31	0,744	0,655	177,90	180,07	161,93	204,54
113,80	181,35	32	0,768	0,733	181,35	184,76	165,93	210,67
214,40	182,90	33	0,793	0,816	182,90	189,86	170,23	217,43
254,60	186,66	34	0,817	0,904	186,66	195,49	174,93	224,97
195,20	186,80	35	0,841	1,000	186,80	201,80	180,13	233,54
156,70	187,90	36	0,866	1,107	187,90	209,03	186,02	243,48
128,90	195,20	37	0,890	1,228	195,20	217,54	192,85	255,35
168,30	210,65	38	0,915	1,370	210,65	227,98	201,12	270,17
173,00	214,30	39	0,939	1,547	214,30	241,68	211,80	289,97
170,90	214,40	40	0,963	1,792	214,40	262,05	227,35	320,12
172,20	254,60	41	0,988	2,251	254,60	304,92	259,13	385,99

Fréquence	U de Gauss	Valeur théo.	Borne inf.	Borne sup.	Valeur	Fréq. théo.	Pér. Ret.
0,8	0,841	191,49	171,60	219,60	191,49	0,800	5
0,9	1,282	221,43	195,95	260,85	221,43	0,900	10
0,95	1,645	249,64	217,92	301,67	249,64	0,950	20
0,98	2,054	285,71	245,04	356,10	285,71	0,980	50
0,99	2,327	312,60	264,70	398,11	312,65	0,990	100
0,999	3,091	402,19	327,78	545,54	402,20	0,999	1000



*Figure (III.31) : Ajustement des précipitations maximales journalières à la loi log normale-station Tadjnanet-.*

Chapitre II Ecoulement

• Crue de la saison froide

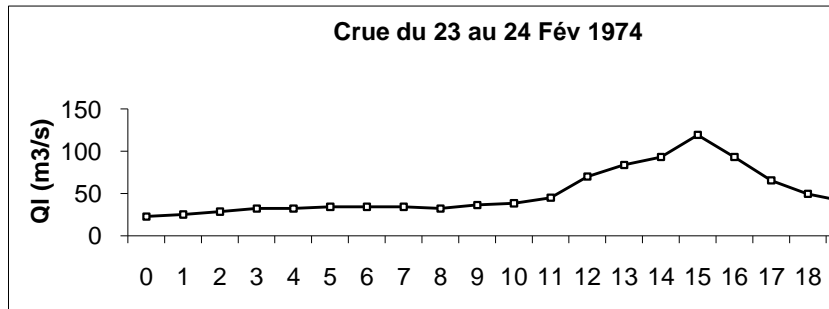


Figure (IV.39) : Crue du 23 au 24 Février 1974.

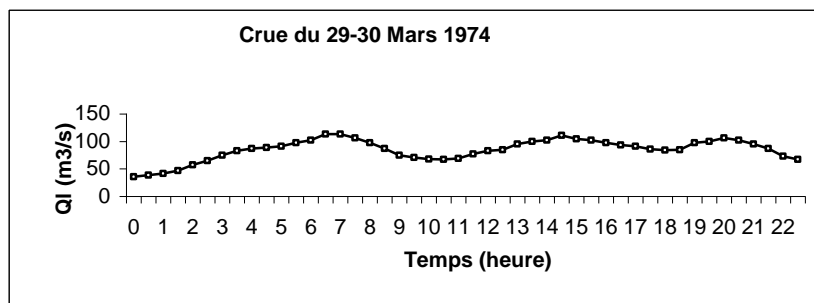


Figure (IV.40) : Crue du 29 au 30 Mars 1974.

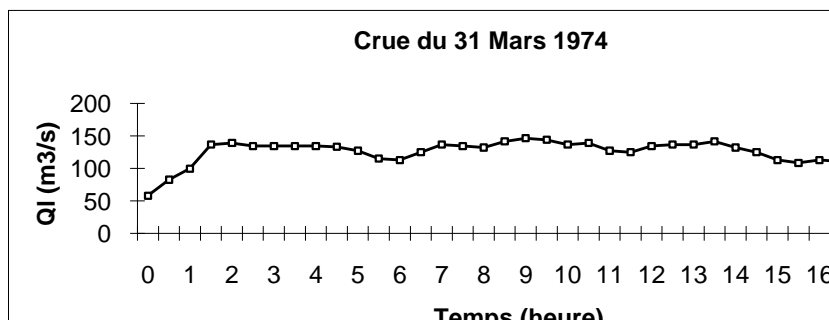


Figure (IV.41) : Crue le 31 Mars 1974.

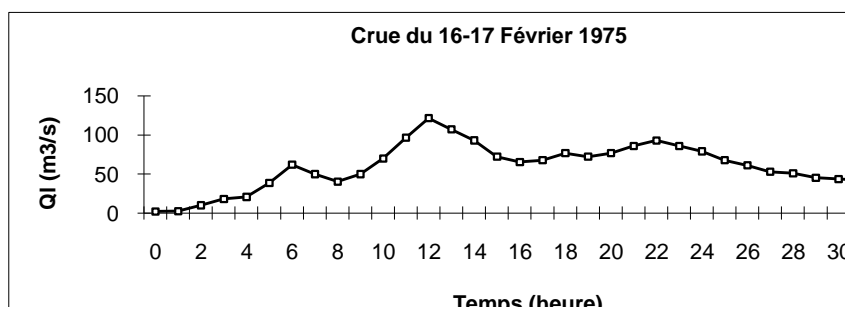


Figure (IV.42) : Crue du 16 au 17 Février 1975.

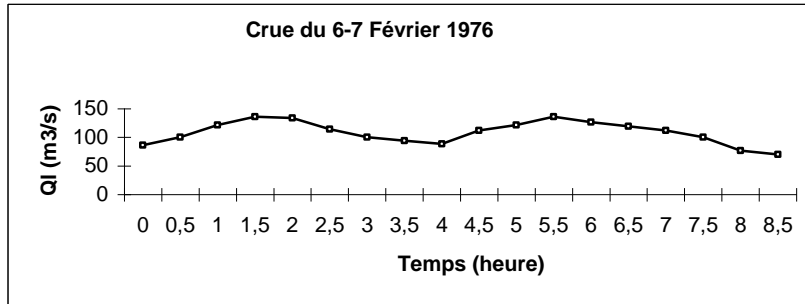


Figure (IV.43) : Crue du 6 au 7 Février 1976.

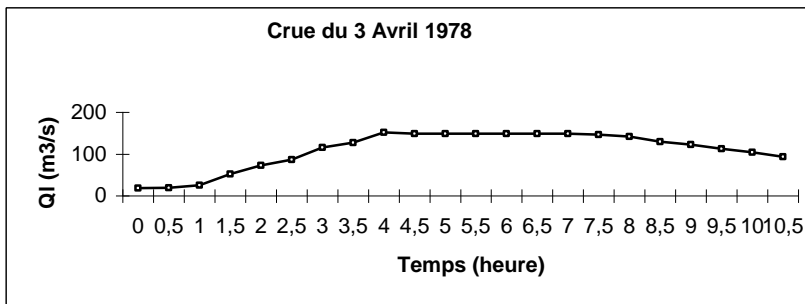


Figure (IV.44) : Crue du 3 Avril 1978.

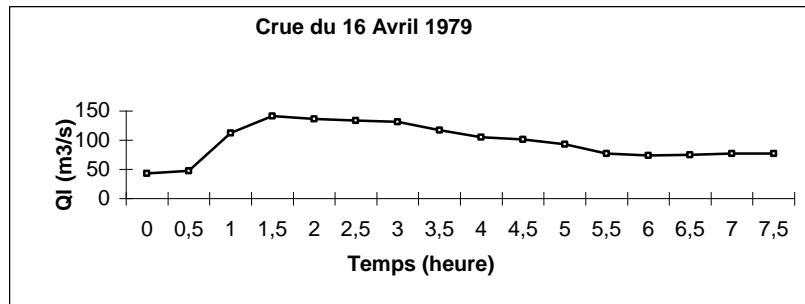


Figure (IV.45) : Crue du 16 Avril 1979.

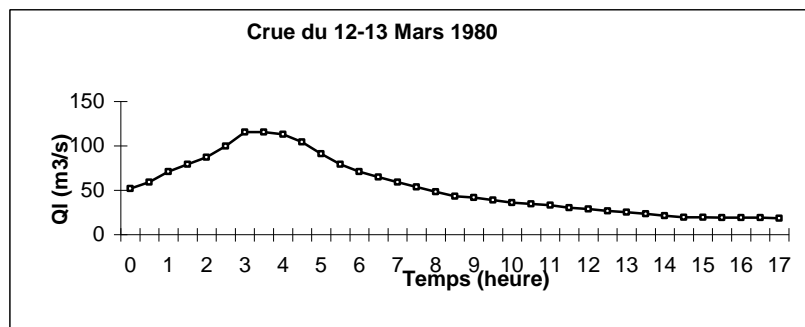


Figure (IV.46) : Crue du 12 au 13 Mars 1980.

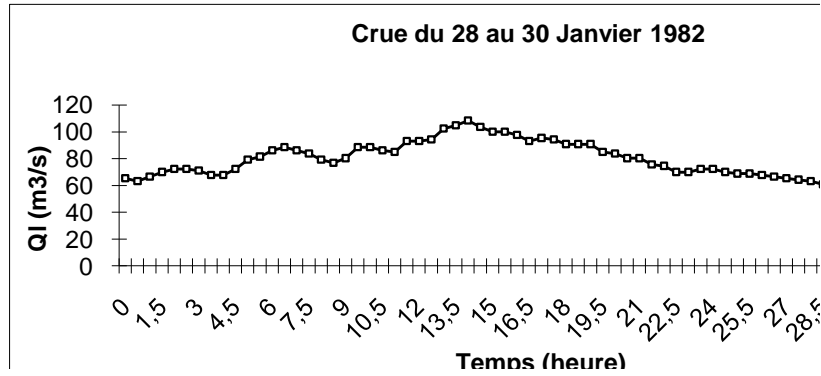


Figure (IV.47) : Cruce du 28 au 30 Janvier 1982.

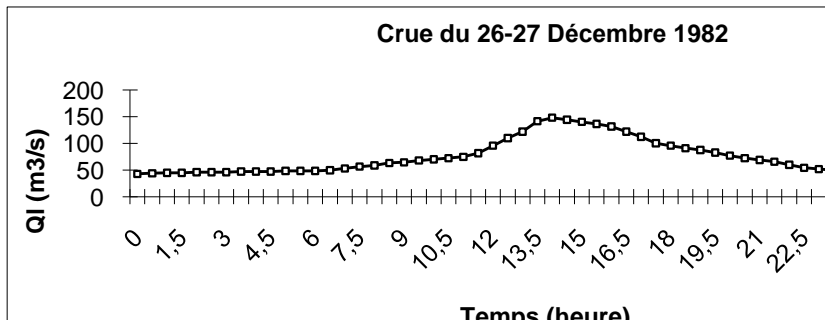


Figure (IV.48) : Cruce du 26 au 27 Décembre 1982.

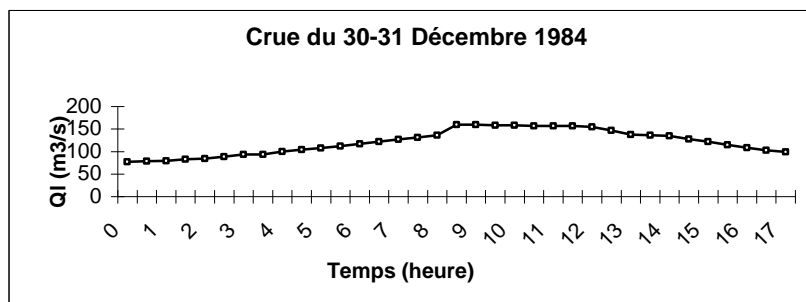


Figure (IV.49) : Cruce du 30 au 31 Décembre 1984.

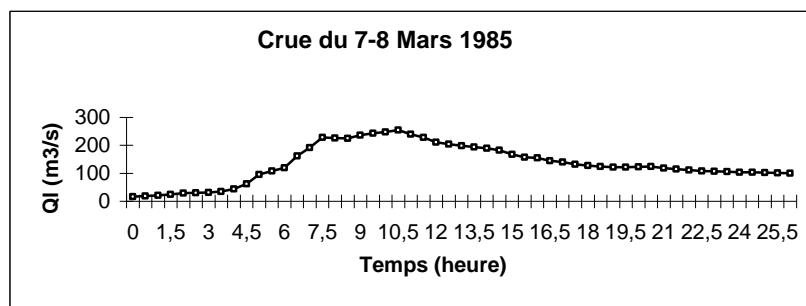
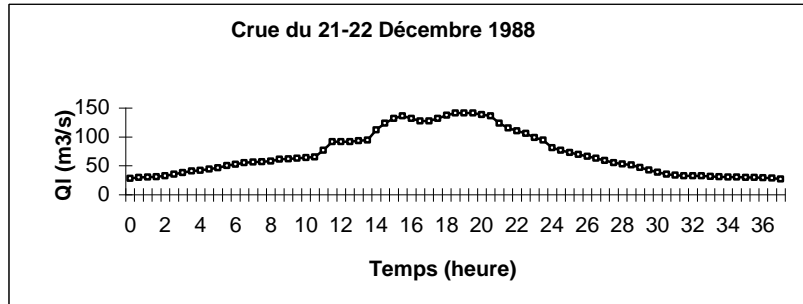
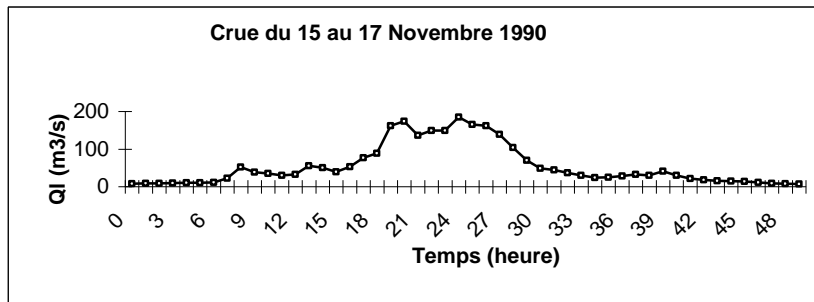


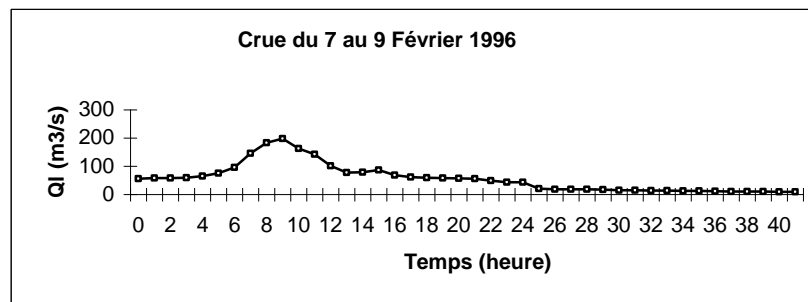
Figure (IV.50) : Cruce du 07 au 08 Mars 1985.



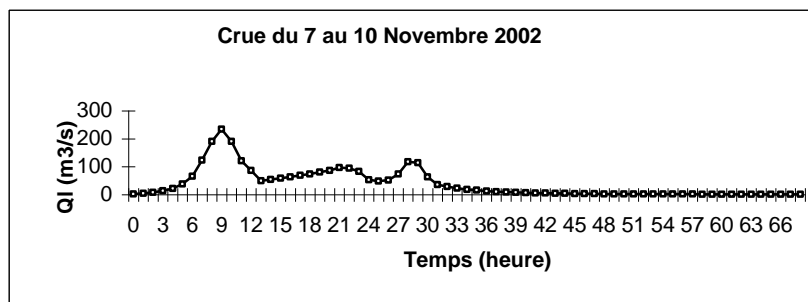
*Figure (IV.51) : Crue du 20 au 22 Décembre 1988.*



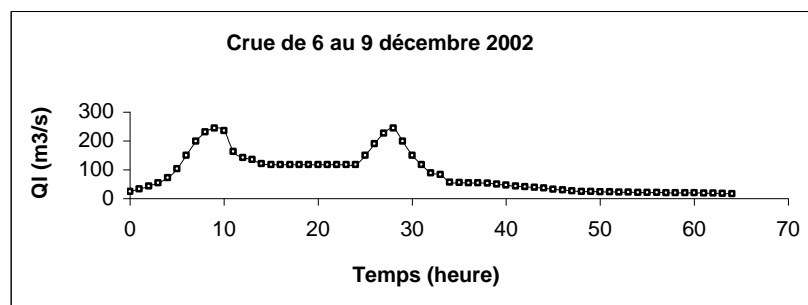
*Figure (IV.52) : Crue du 15 au 17 Novembre 1990.*



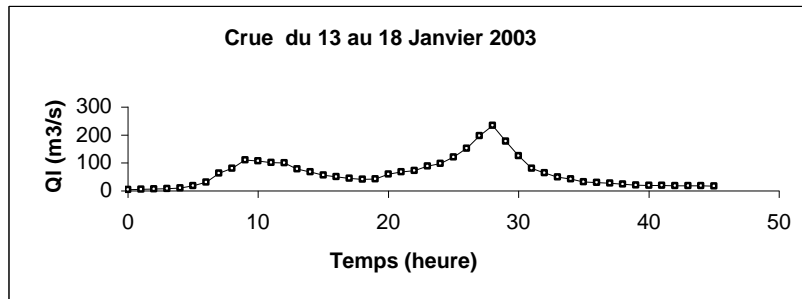
*Figure (IV.53) : Crue du 08 au 09 Février 1996.*



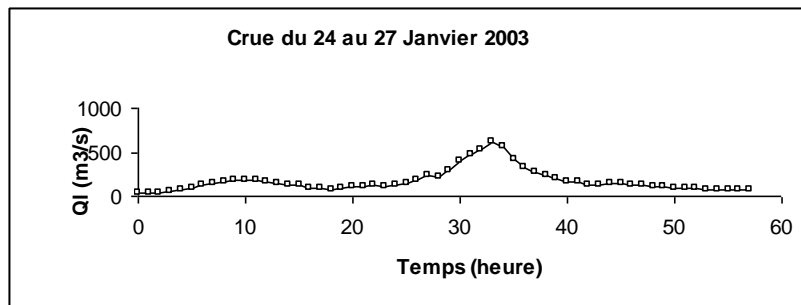
*Figure (IV.54) : Crue du 07 au 10 Novembre 2002.*



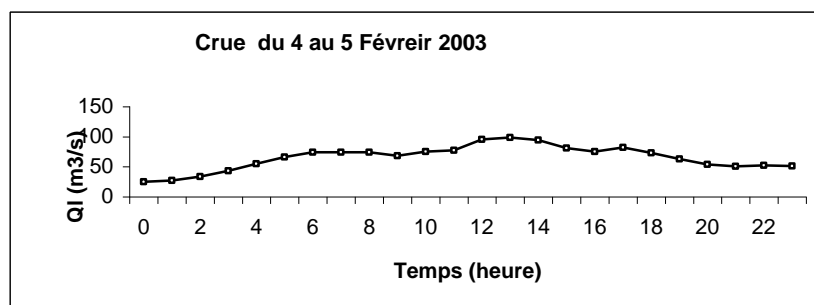
*Figure (IV.55) : Crue du 6 au 9 Décembre 2002.*



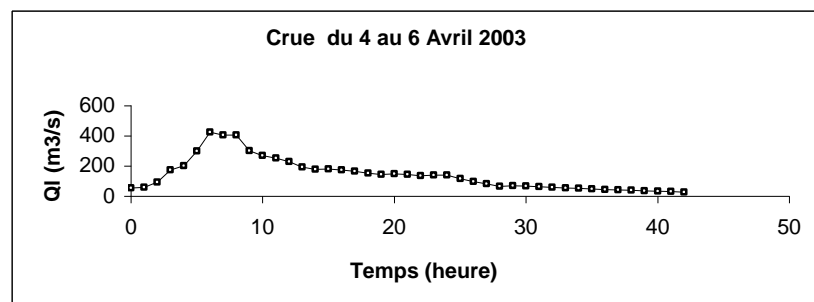
*Figure (IV.56) : Crue du 13 au 18 Janvier 2003.*



*Figure (IV.57) : Crue du 26 au 27 Janvier 2003.*

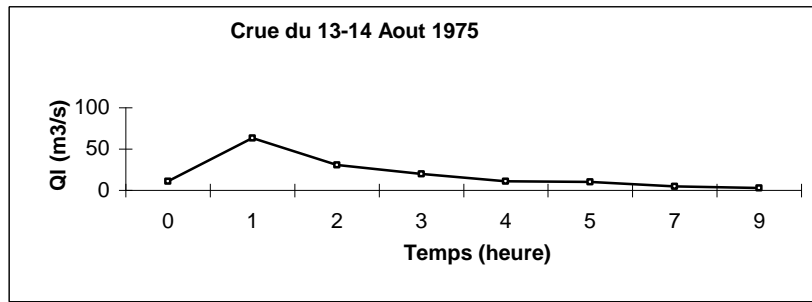


*Figure (IV.58) : Crue du 4 au 5 Février 2003.*

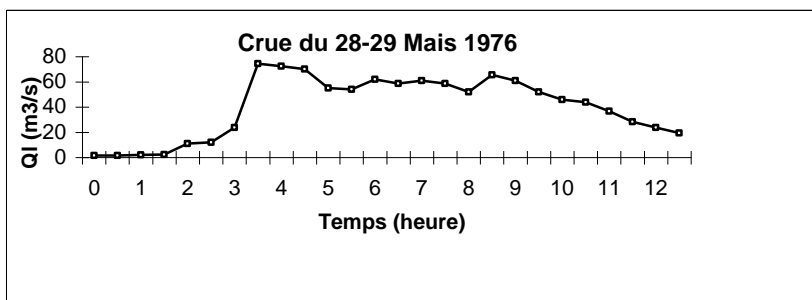


*Figure (IV.59) : Crue du 4 au 6 Avril 2003.*

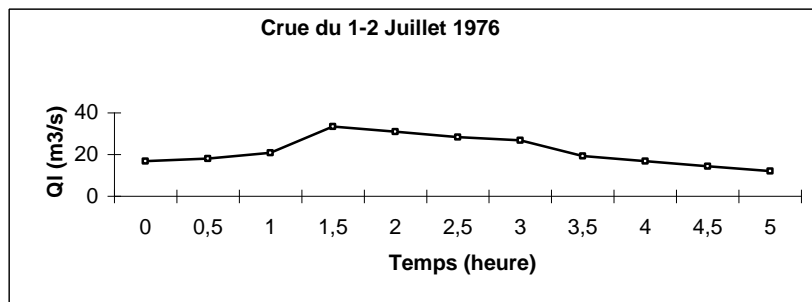
• Saison chaude



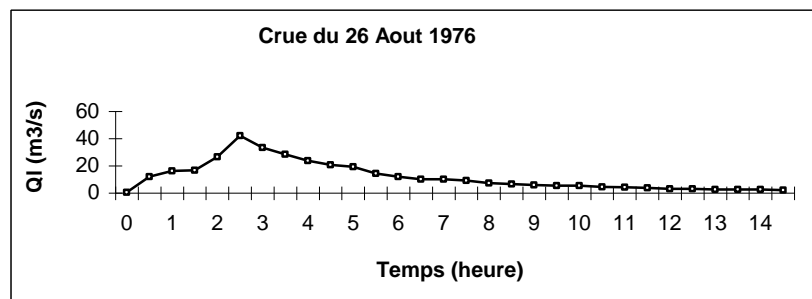
*Figure (IV.60) : Crue du 13 au 14 Aout 1975.*



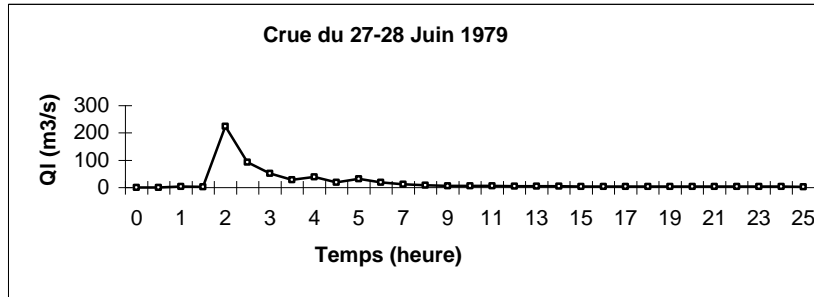
*Figure (IV.61) : Crue du 28 au 29 Mais 1976.*



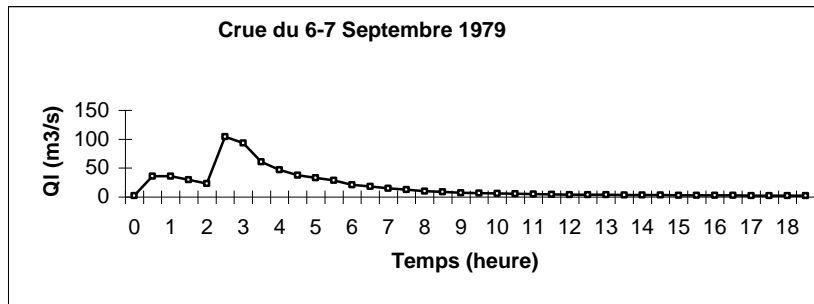
*Figure (IV.62) : Crue du 1 au 2 Juillet 1976.*



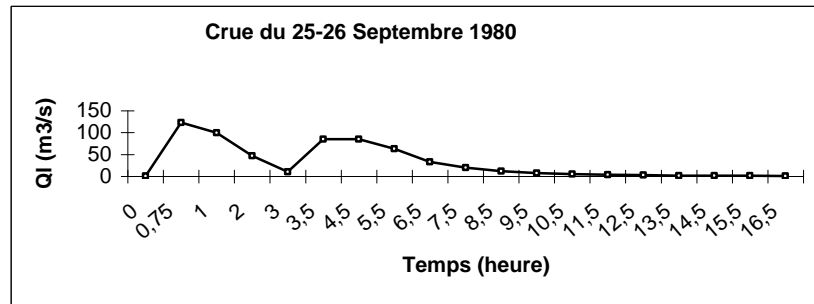
*Figure (IV.63) : Crue du 26 Aout 1976.*



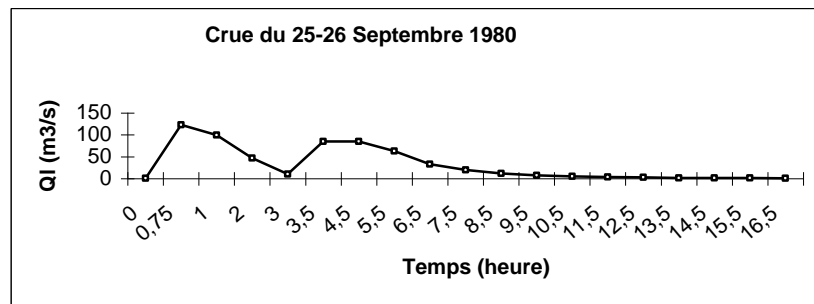
*Figure (IV.64) : Crue du 27 au 28 Juin 1979.*



*Figure (IV.65) : Crue du 6 au 7 Septembre 1979.*



*Figure (IV.66) : Crue du 25 au 26 Septembre 1980.*



*Figure (IV.67) : Crue du 29 au 30 Septembre 1980.*

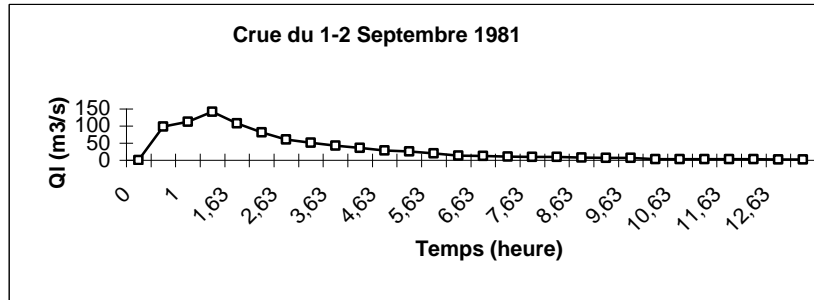


Figure (IV.68) : Crue du 1-2 Septembre 1980.

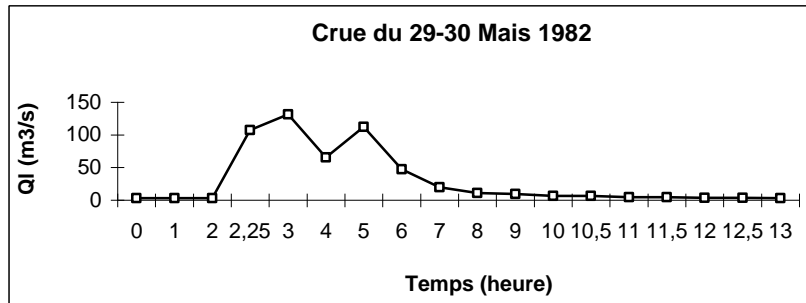


Figure (IV.69) : Crue du 29 au 30 Mai 1982.

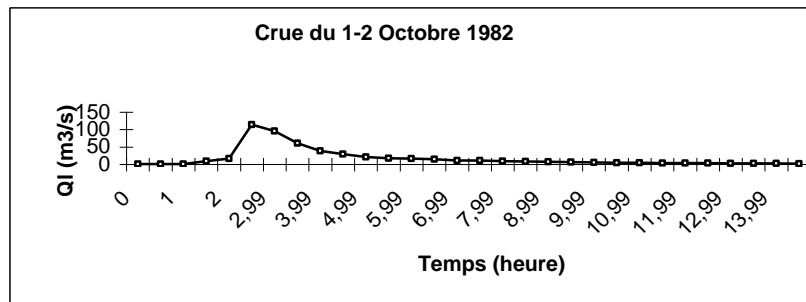


Figure (IV.70) : Crue du 01 au 02 Octobre 1982.

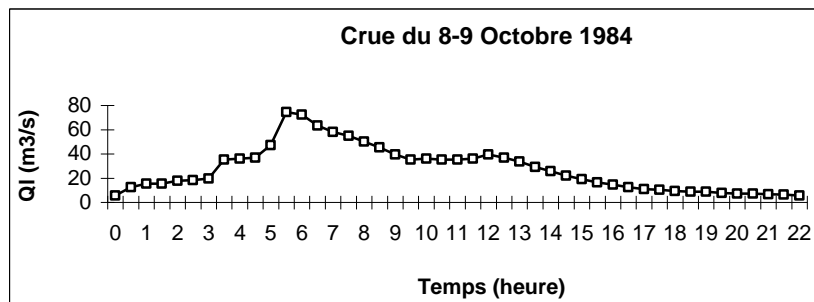


Figure (IV.71) : Crue du 08 au 09 Octobre 1984.

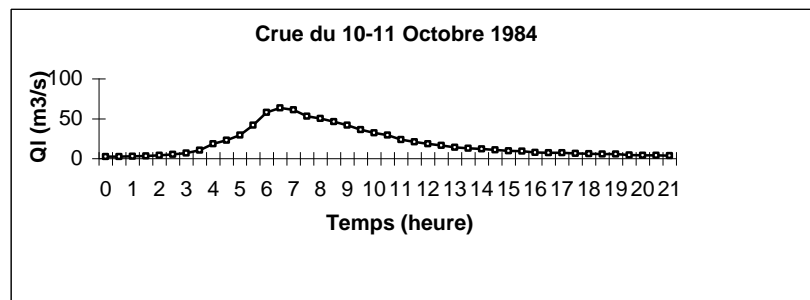
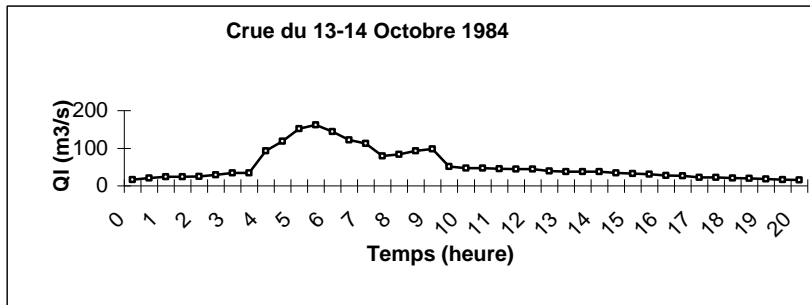
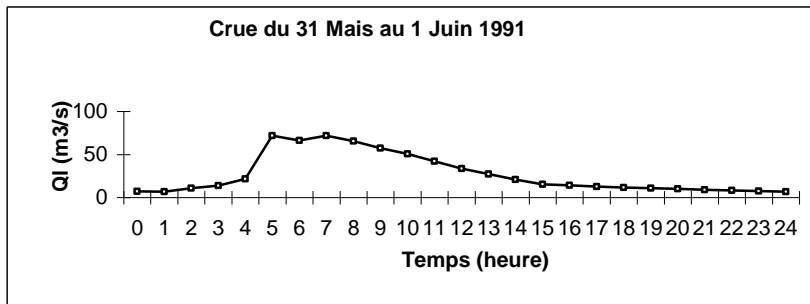


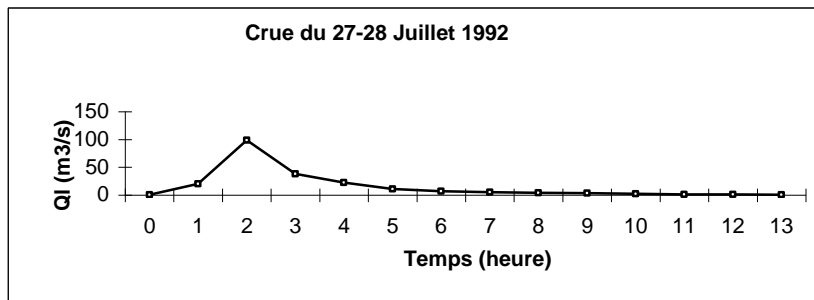
Figure (IV.72) : Crue du 10 Octobre 1984.



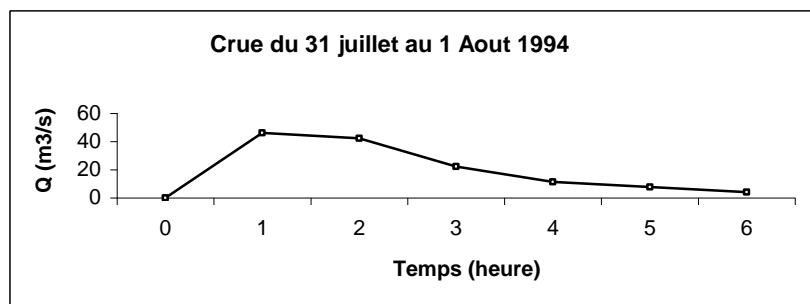
*Figure (IV.73) : Crue du 13 au 14 Octobre 1984.*



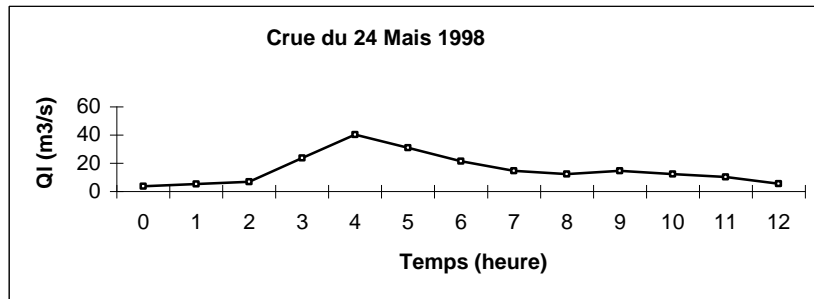
*Figure (IV.74) : Crue du 31 Mai au 01 Juin 1991.*



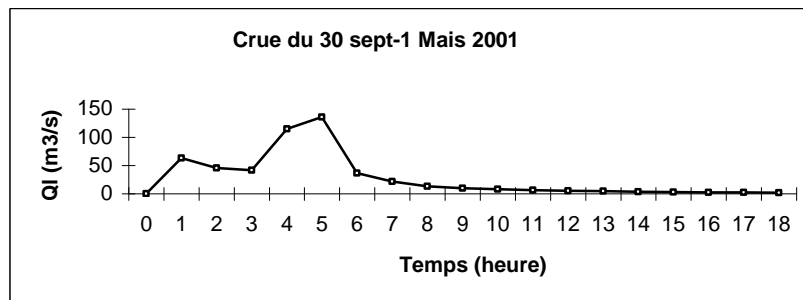
*Figure (IV.75) : Crue du 27-28 Juillet 1992.*



*Figure (IV.76) : Crue du 31 Juillet au 01 Aout 1994.*



*Figure (IV.77) : Crue du 24 Mai 1998.*



*Figure (IV.78) : Crue du 30 Septembre au 01 Octobre 2001.*

## REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUES

A.P.T : Assemblée du Pays Tarentaise Février, 2009. Vanoise analyse de l'hydrologie et du transport solide. S.A.R.L. E.T.R.M. Eaux, torrents et rivières de montagne Vincent Kouliniski chef lieu 73700 les chapelles [etrm@cegetel.net](mailto:etrm@cegetel.net).

A.S.E .F ,2010 Association santé, environnement, France pollution de l'eau origines et impact synthèse.

BARTHOLOMÄ A., VERNER B., ERNSTSEN ., BURG W., FLEMMING & BARTHOLDY J, 2004. Bedform dynamics and net sediment transport paths over a flood-ebb tidal cycle in the Grådyb channel (Denmark), determined by high-resolution multibeam echosounding

BENKHAED A., 2004. Contribution à l'étude du 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.

BENOIT C et MAGNUS L, septembre 2006, Transport solide en suspension sous une interaction houle-courant. IXèmes Journées Nationales Génie Civil – Génie Côtier, 12-14 , Brest.

BELLEUDY, P., A. VALETTE, AND B GRAFF, 2009 (in press), Passive hydrophone monitoring of bedload in river beds : first trials and exploration : USGS. Scientific Investigations Report.

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.

BOUCHELKIA H., REMINI B., 2003. Quantification du transport solide dans le bassin versant Algérien de chellif, n°33, pp 45-56.

BOULVAIN F., 2004. Une introduction aux processus sédimentaires. Cours on line Université de Liège. 63p.

BOUKHEIR 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.

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.

BOUTRAIS J., 2000. Elevage et érosion en Adamaoua (Cameroun). Bulletin Réseau Erosion 19,14 p., sous presse.

CAMNEN B., LARSON M., 2006. Transport solide en suspension sous une interaction houle-courant. IX èmes Journées Nationales Génie Civil-Génie Cotier, pp 145-156.

CHAIBI 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.

COLOMBANI J., ORSTOM .13 juin 1994. Erosion et Transport Solide Service Hydrologique, 70-74 route d'Aulnay F-93 140 – BONDY

C.R.S.E .S : Le comité de recherche et de sensibilisation d'eau secours, 2006.

De LINARES, M., 2007. Modélisation numérique bidimensionnelle du transport solide et de la dynamique fluviale. Validation sur deux sites en Loire et sur l'Arc. : Ph.D. thesis, Université Fourier.J Grenoble.

IPSON.M.K, 2006. Analysis of the Sediment transport, THESE degree of Master of Science.

GODART.H., 2009, Alimentation en eau potable besoins et ressources.

LISLE.T.E , 1989. Sediment Transport and Resulting Deposition in Spawning gravels, North Coastal California, Pacific Southwest Experiment Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture. Arcata, California.

LOUNNAS A, 2008 Amélioration des procédés de Clarification des eaux de la station Hamadi-Kroma de Skikda, Mémoire de Magister Science

MATTHIEU. F., DUFRESNE.D, 2005. Etude expérimentale du transport solide par charriage à forte pente. Mémoire de DEA en Mécanique des fluides et des solides de Strasbourg . Laboratoire d'accueil : Cemagref Grenoble, unité Etna.

Roger A. Kuhnle and Andrew.S, 2000. Evaluation of Sediment Transport Data for Clean Sediment TMDLs National Sedimentation Laboratory USDA Agricultural Research Service Oxford, Mississippi. NSL Report No. 17

CHEBANI R., BELAIDI S., 1997. Etude de la dynamique du ravinement : suivi de deux couples de ravines expérimentales près de Tlemcen.

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.

DELHOUME J-P., 1981. Etude en milieu méditerranéen semi-aride : ruissellement et érosion en zone montagne de Tunisie centrale (djebel Semmama). Campagnes 1975 à 1979. Tunis, Orstom/ DRE, 187 p.

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 physico-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.

EI 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.

JACOBSON R.B., GRAN K.B., 1999. Gravel sediment routing from widespread, low-intensity landscape disturbance, Current River basin, Missouri. Earth Surface Processes and Landform, 24, pp 897-917.

JODEAU M., 2004. Etude expérimentale des mécanismes de transport solide par charriage Torrentiel. Mémoire de DEA.

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.

HJULSTROM F., 1935. Studies of the morphological activity of rivers as illustrated by the River Fyris : Upsala. Sweden, Geological Institute of Upsala Bulletin. Vol. XXV.

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.

GARTET, EL FENGOUR, A.; GARTET, M, JAOUAD; GARCIA, C, CARMELO, 2009. Dégradation de la qualité des eaux du barrage sahla: traitement et gestion des risques de pollution. (Province de Taounate, Rif – Maroc septentrional) Papeles de Geografía, Núm. 49-50, pp. 41-54 Universidad de Murcia España.

GARCIA.S, 2001. Analyse économique des coûts d'alimentation en eau potable thèse pour le doctorat en sciences économiques.

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.

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 Fom 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.

LANDRY. C, 1997. Premiers essais québécois du modèle de pollution diffuse « agricole annagps » par caroline landry b. sc. biologie mémoire présenté pour l'obtention du grade de maître ès sciences (m.sc.) en sciences de l'eau jury d'évaluation.

LABORDE J.P., ASSABA M., MOUHOUS N., 2005. Notice d'utilisation du logiciel hydrolab (Version 2005 pour EXCEL 97 et versions suivantes).

LAHLOU A., 1994 Envasement des barrages au Maroc. Edition WALLADA, Casa-blanca, Maroc. 277 p.

LARFI B., REMINI B., 2006. Le transport solide dans le bassin versant de l'Oued Isser impact sur l'envasement du barrage de beni amrane (Algerie). Larhyss Journal, 5, pp 63-73.

LOUINA A., 1992. Recherches actuelles sur les processus d'érosion au Maroc. Bull. Réseau Erosion 12, pp 292-299.

LOUINA A., NAFAA R., CHAKER M., 2000. Gestion des eaux et des terres et dégradation dans les colines de Ksar el Kebir, Maroc. Bull. Réseau Erosion 19, 18p.

MAHMOUD H., 1987. Réservoir sédimentation. World Bank, Washington.

MALAVOI J.R., SOUCHON Y., 1996. Dynamique fluviale et dynamique écologique, la Houille Blanche, 6/7, pp 98-107.

MARWAN A. HASSAN, CHURCH M, THOMAS E. LISLE, BRARDINONI F, BENDA L, AND GORDON E. GRANT ,2005. Sediment Transport and Channel Morphology of small, forested Streams. journal of the American Water Resources Association

MAROUF N., REMINI B., 2010. Temporal Variability in Sediment Concentration and Hysteresis in the Wadi Kebir Rumel Basin of Algeria. The Hong Kong Institution of Engineers Transactions, Vol 18, No 1, pp13-21.

MATHYS N., BROCHOT S., MEUNIER M., 2000. Erosion quantification and rainfall-runoff-erosion modelling in small marly mountainous experimental catchment of Draix, Alpes, France. Int. Symp. «Gully erosion under global change»

MEDI M., 1999. Etude du transport solide dans le bassin versant de l'Oued Ebda (Algérie). Zeitschrift fur Géomorphologie, n°43, pp 167-183

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.

MEDI M., MORSLI B., 2001. Etude d'érosion et du ruissellement sur bassins versant expérimentaux dans les monts de Beni-Chougrane (Ouest d'Algérie). *Zeit schrift fur Geomorphologie*, 45, 443-452.

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 méditerranées. VIII<sup>èmes</sup> 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, pp 7-19.

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 résiduaires 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.

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.

RAPP A., 1972. Conclusion from the DUSER soil erosion project in Tanzania. *Geografiska Annaler* 54, A : 377-379.

RAYMOND., « Les traitements des eaux » : 2<sup>ème</sup> édition, revue et amélioré.

REMINE B., AVENARD J.M., 1997. Evolution de l'envasement dans le barrage de Foug El Gherza (Algérie), pp 98-105.

REMINE B. 1999. Envasement des barrages dans le Magreb. Bul. Int. De l'Eau et de l'Env., 22, pp 4-8.

REMINE B., HALLOUCHE W., 2005. L'alluvionnement des retenues, laboratoire : Eau-Roche-Plante. Centre universitaire de Khemis Miliana, Algérie.

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<sup>ème</sup> édition, Dunod, Paris.

RODIER J., « L'analyse de l'eau : eau naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer », 2009, 8<sup>ème</sup> édition, Dunod, 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.

RENE M, 2010. L'eau, sa pollution, et son traitement « Moletta Méthanisation » 1504 route des Bottières 73470 Novalaise (France) email : [rene.moletta@yahoo.fr](mailto:rene.moletta@yahoo.fr).

PROBST. J. L. & AMIOTTE SUCHET. P, 1992. fluvial suspended sediment transport and mechanical erosion in the Maghreb (North Africa). centre de géochimie de la surface (CNRS), 1 rue Blessig, 67084 Strasbourg Cedex, France.

RECKING, A., FREY, P., PAQUIER, A., BELLEUDY, P. AND CHAMPAGNE, J.Y. , 2008. Feedback between bed load and flow resistance in gravel cobble bed rivers. Water resources research, 44 (W05412 doi : 10.1029/2007WR006219).

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.

SUSZKA L., 1987. Sediment transport at steady and unsteady flow; a laboratory study. THES No 704 docteur es sciences techniques Ecole Polytechnique Federale de Lausanne.

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.

SOGREAH., 1983. Erosion et transport solide en Maghreb. Analyse bibliographique. Rapport du projet RAB/80/011/PNUD.

TCHOTSUA M., BOUNVALLOT J., 2000. L'érosion urbaine au Cameroun : processus, causes et stratégies de lutte. Bull. Réseau Erosion 19, 18p.

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., AIDAOUI 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., AIDAOUY 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 École nationale supérieure de l'hydraulique, Laboratoire d'hydrologie, BP 31, 09000 Blida, Algérie <touaibiabenina@yahoo.fr>

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 1984. The sediment yields of African rivers.I.A.H.S. Publ. 144, Harare Symp. :265-283.

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.

WASSON J.G., 2001. Les questions de recherché posées par la Directive cadre Européenne sur l'Eau: problématique pour les eaux de surface continentales. *Hydroécologie Appliquée*, 13 (1), pp 1-9.

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.

WISCHMEIR WH., SMITH DD., 1978. Predicting rainfall erosion losses. A guide to soil conservation planning. USDA-ARS, Handbook n°537, 58p.

WILLIAMS,G.P,1989.Sediment Concentration Versus Water Discharge During Single Hydrologic Events in Rivers.*J. Hydrol*,111:89-106 Elsevier Scinece Publishers B.V, Amsterdam-Printed in The Netherlends.

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..