

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



**THESE**

Présentée pour l'obtention du diplôme de **Doctorat**

**En : Hydraulique**

**Spécialité : Hydraulique**

**Par : BELARBI Fadila**

**Sujet**

**ETUDE DES PRECIPITATIONS, DU TRANSPORT SOLIDE DANS LE  
BASSIN VERSANT DE LA TAFNA ET LEUR INTERRELATION**

Soutenue publiquement, le 24 / 06 / 2018 , devant le jury composé de :

Mr. HABI Mohammed	Professeur	Univ. Tlemcen	Président
Mr. REMINI Boualem	Professeur	Univ. Blida	Directeur de thèse
Mr. BENMANSOUR Abdelhalim	Professeur	Univ. Tlemcen	Co- Directeur de thèse
Mr. BOUZIANE Mohamed Tewfik	Professeur	Univ. Biskra	Examineur
Mr. REMAOUN Mohamed	Professeur	Univ. Chlef	Examineur
Mme. ADJIM FOUZIA	Professeur	Univ. Tlemcen	Examinatrice

## ***Dédicaces***

A ma mère et mon père que dieu me les garde

A mon très cher mari Hamid et mes adorables enfants, surtout ma princesse sofi

A mes sœurs et frères

A ma belle famille

A tous mes amis (e)

***F.belarbi***

## Remerciements

Au terme de cette thèse, je tiens à remercier vivement monsieur le professeur Remini Boualem de l'université de Blida 1, directeur de cette thèse ; pour sa disponibilité je le remercie pour son intérêt et ses commentaires judicieux. J'exprime mes sincères remerciements à monsieur le professeur Ben Mensour Halim, de l'université de Tlemcen le co-directeur de thèse, qui m'a bénéficié de ses conseils et critiques pertinentes.

Ce travail n'aurait pas été achevé sans le soutien, l'aide et la patience de monsieur Hamid Bouchelkia maître de conférence A, de l'université de Tlemcen qui répondait toujours présent avec ses conseils, ses orientations pertinentes et ses réponses à toutes mes interrogations. qu'il trouve ici mes profondes gratitude.

Je tiens à remercier le professeur Habi Mohamed, université de Tlemcen qui a bien voulu présider ce jury.

Je souhaiterais remercier chaleureusement, les examinateurs qui m'ont fait l'honneur de siéger ce jury, madame Adjim Fouzia professeur à l'université de Tlemcen, monsieur le professeur Bouziane Toufik de l'université de Biskra et monsieur Remaoun M. professeur à l'université de Chlef.

Je remercie l'ensemble du personnel de l'ANRH Alger, Oran et Tlemcen d'avoir mis à notre disposition les données nécessaires pour accomplir cette thèse.

Mes sincères remerciements s'adressent à celles et ceux qui me sont chers et que j'ai délaissés ces derniers mois pour pouvoir terminer ce travail.

Je remercie mes amis(e) et collègues ainsi que le personnel administratif de la faculté de technologie et surtout ceux du département d'hydraulique.

## **Résumé**

Les précipitations sont un paramètre hydrologique clé et qui ont une influence sur le phénomène de transport solide. Au début de cette thèse nous avons traité l'évolution des précipitations dans le temps; consistant l'étude de la variabilité, la stationnarité en appliquant des test de stationnarité et l'ajustement a des lois de probabilité des séries de données pluviométriques (annuelles, mensuelles et saisonnières) de quelque stations au sein du bassin versant de la Tafna;

Afin de permettre une réponse rapide à la demande des ingénieurs pour la quantification du transport solide à l'exutoire d'un bassin versant, un outil simple, facile à mettre en œuvre a été mis au point. Ainsi une estimation du transport solide dans le bassin versant de Tafna contrôlé par la station Pierre de Chat a été effectuée à d'aide de divers modes d'estimation; une estimation à l'échelle annuelle, une estimation à l'échelle saisonnière (saisons conventionnelles et saison sèche et saison humide) et à l'échelle mensuelle ont été entrepris. Les résultats obtenus attestent que le bassin versant de la Tafna est d'une érodabilité très importante.

A terme de cette étude, nous avons essayé de lier le transport solide aux précipitations; des modèles liant le transport solide aux précipitations ont été déterminées afin de faire ressortir la relation liant les apports solides aux précipitations; un modèle directe et un modèle indirecte ont été définis.

### ***Mots clé :***

Bassin versant, précipitations, débit, transports solide, test, modèle, stationnarité, Tafna, station.

## **Abstract**

Precipitation is a key hydrologic parameter influencing the sediment transport phenomenon. At the beginning of this thesis we treated the evolution of precipitation over time; consisting of the study of variability, stationarity by applying stationarity tests and the adjustment to probability distributions of pluviometric data series (annual, monthly and seasonal) of some stations within the Tafna catchment;

In order to allow a rapid response to engineers' demand for the quantification of sediment transport at the outlet of watershed; a simple and easy-to-implement tool has been developed. Thus, an estimate of sediment transport in the Tafna watershed controlled by the Pierre de Chat station was carried out using various estimation methods; an annual scale estimate, a seasonal scale estimate (conventional and dry season and wet season) and a monthly scale estimate have been undertaken. The obtained results show then that the watershed of Tafna is of a very important erodibility.

At the end of this study, we tried to link sediment transport with precipitation; models linking sediment transport to precipitation have been identified to highlight the relationship between sediment loads and precipitation; a direct model and an indirect model have been defined.

### **Keywords:**

Watershed, Precipitation, flow, sediment transport, test, model, stationarity, Tafna, station

## المخلص

الأمطار هي عامل هيدرولوجي رئيسي مؤثر على ظاهرة النقل الصلب في الاحواض الساكنة . في بداية هذه الأطروحة ، عالجتنا تطور الأمطار بمرور الوقت ؛ تتألف من دراسة التباين والإحصاء من خلال تطبيق اختبارات الإقتران وتعديل التوزيعات الاحتمالية لسلسلة بيانات التساقطات (السنوية والشهرية والموسمية) لبعض المحطات داخل حوض التافنا ؛

من أجل استجابة السريعة لطلب المهندسين لتقدير كمية النقل الصلب في مخرج الاحواض الساكنة ، تم تطوير أداة بسيطة وسهلة التنفيذ. وبذلك ، تم إجراء تقدير لكمية النقل الصلب في الحوض الساكن للتافنا الذي تراقبه محطة "حجرة القط" باستخدام طرق تقدير مختلفة (تقدير سنوي ، وتقدير موسمي تقليدي وموسمي "جاف و رطب" ، وتقدير شهري). تظهر النتائج التي تم الحصول عليها أن حوض التافنا له قابلية عالية للنحت.

في نهاية هذه الدراسة، حاولنا ربط النقل الصلب مع الأمطار. وقد تم تحديد نماذج تربط بين النقل الصلب و الأمطار لإبراز العلاقة بين كمية النقل الصلب و الأمطار ؛ حيث تم تعريف نموذج مباشر ونموذج غير مباشر.

### مفتاح الكلمات :

الحوض الساكن ، الترسيب ، التدفق ، النقل الصلب ، الاختبار ، الموديل ، المحطة.

## NOTATIONS ET ABREVIATIONS

### *1) NOTATIONS*

D: Diamètre des grains.

T : tonne

Km : kilomètre

Kg : kilogramme

M : mètre

s : seconde

U: Vitesse moyenne d'écoulement.

J : perte de charge A : Perte de terre (T/Ha).

R : Indice - pluie caractérisant l'agressivité de la pluie en T/Ha.

K : Indice - sol mesurant la plus ou moins grande susceptibilité du sol à l'érosion.

Ls : Indice- pente, permettant de comparer les conditions topographiques locales à des conditions standards.

C : Indice- culture

P : Indice- remède de conservation

C : coefficient de Chézy

P : profondeur du cours d'eau

h : Hauteur du liquide.

V : Vitesse du courant

U\*: Vitesse de frottement

W : vitesse de chute d'une particule

$\tau$ : Tension tangentielle.

$\tau_c$  : Contrainte critique

$\tau^\circ$  : Contrainte adimensionnelle (contrainte de SHIELD)

$\tau_k^\circ$  : Contrainte critique adimensionnelle de la classe k,

$\tau_m^\circ$  : Contrainte critique adimensionnelle moyenne

Rc : Ruissèlement annuel moyen de crue

R<sub>h</sub>: Rayon hydraulique.

$\gamma$  : Poids volumique du liquide.

P<sub>m</sub> : précipitations moyennes mensuelles du mois le plus pluvieux (mm)

Pam : précipitations moyennes annuelles (mm).

Hm : dénivelée moyenne (m).

$\rho$  : Masse volumique du liquide.

$\rho_s$  : masse volumique

$e_b$ : coefficient d'efficacité du charriage

A, S': Surface du bassin versant. ( $\text{km}^2$ )

$Q_{S1}$ : apport annuel moyen.

$A_1$ : lame d'eau ruisselée.

$A_s$  : apport solide annuel

$D_s$  : dégradation spécifique

$R_c$ : Ruissellement annuel moyen de crue.

IL: Indice lithologique.

IP: Indice des précipitations érosives.

CT: Coefficient de torrencialité.

$C_m$  : La concentration moyenne dans la section

Q: Débit liquide.

$Q_s$ : Débit solide.

q: Débit liquide par unité de largeur

$q_s$  : Débit solide par unité de largeur

$Q_{sm}$  : débit solide moyen inter annuel

X: abscisse.

Y: Ordonnée.

E(t), X, Y: Moyenne.

$\sigma, S$ : Ecart type.

$\sigma^2, S^2$ : Variance.

N, n: Etendu de l'échantillon.

$\alpha$  : Niveau de confiance.

A, B: paramètres du modèle  $Y=A.X+B$ .

k: paramètre du modèle  $Q_s=k Q^A$

F: variable de FISHER-SNEDECOR

R : coefficient de corrélation

H : L'amplitude des classes (Intervalle de classe).

$Q_s=f(Q)$ ,  $C_s=f(Q)$ ,  $Q_s=f(C_s)$  : modèles.

$Q_{\text{moy}}$  : moyenne de la série des débits liquides.

$T_s$ : Apport spécifique des sédiments en suspension (dégradation spécifique).

$C_{\text{sm}}$ : Concentration solide moyenne interannuelle.

$Q_{\text{sm}}$ : Débit moyen solide interannuel.

$Q_m$ : Débit moyen liquide interannuel.

$Q_{\text{ss}}$ : Charge annuelle en sédiments en suspension.

$CV$  : coefficient de variation

$\text{Var}(t)$  : variance

$K_n$  : valeur statistique du test de Pettitt

$H_1$  : Hypothèse nulle

$H_0$  : Hypothèse alternative

$Q$  : quantité du seuil de signification

$F_i$  : fréquence théorique de la loi de répartition normale centrée et réduite

$A_{\text{crit}}$  : seuil critique

$S$  : somme

.

## **2) ABREVIATIONS**

**ANRH** : Agence nationale des ressources hydrauliques

**ABH** : Agence de bassin hydrographique

**ANB** : Agence nationale des barrages, actuellement ANBT (T : transfert)

**PNUE** : Programme national unis pour l'environnement

**OMM** : Organisation mondiale de la météo(Genève)

**ONM** : Office National de la Météo

**AAC** : Agriculture et Agroalimentaire Canada

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau II.1</b> : Caractéristiques des barrages construits dans le bassin versant de la Tafna	54
<b>Tableau III.1</b> : Liste des stations pluviométriques étudiées	64
<b>Tableau III.2</b> : Caractéristiques des totaux annuels	64
<b>Tableau.III.3</b> : Précipitations moyennes mensuelles (mm) de 07 stations du Bassin versant de Tafna	65
<b>Tableau.III.4</b> : Précipitations mensuelles stations retenues (station de Sebdou)	67
<b>Tableau III.5</b> : Répartition des mois selon les saisons	76
<b>Tableau III.6</b> : Précipitations moyennes de quelques stations du bassin versant de la Tafna	76
<b>Tableau III.7</b> : Variation des précipitations de quelques stations du bassin versant de la Tafna	77
<b>Tableau III.8</b> : Résultats du test statistique de Mann Kendall appliqué aux totaux annuels	81
<b>Tableau III.9</b> : Résultats du test de Pettitt statistique appliqué à l'échelle annuelle	84
<b>Tableau III.10</b> : Valeurs de $\alpha$ en fonction de $A_{crit}$	88
<b>Tableau IV.1</b> : Dégradation spécifique de quelques bassins versants algériens	99
<b>Tableau .IV.2</b> : résultats de calcul	110
<b>Tableau .IV.3</b> : Calcul des débits liquide et solide moyen interannuel	113
<b>Tableau .IV.4</b> : Caractéristiques des échantillons ( $q$ , $q_s$ )	114
<b>Tableau .IV.5</b> : Relations saisonnières	115
<b>Tableau .IV.6</b> : Séries saisonnières des débits liquides moyens journaliers	117
<b>Tableau .IV.7</b> : apports saisonnier en sédiments en suspension	117
<b>Tableau IV. 8</b> : Relations mensuelles $Q_s=f(Q)$ et coefficients de corrélation	120
<b>Tableau IV.9</b> : Moyenne et écart type	126
<b>Tableau IV.10</b> : Apports solide dans l'oued Tafna	127
<b>Tableau IV.11</b> : Récapitulatif des résultats	130
<b>Tableau V.1</b> : Polygone de Thiessen	134
<b>Tableau V.2</b> : Précipitations moyennes mensuelles -Tafna	134
<b>Tableau V.3</b> : Apports liquide et solide de la Tafna	135

<b>Tableau V.4 :</b> Les données mensuelles corrélées (Pmoy, Ds et As)	137
<b>Tableau V.5 :</b> Relations et coefficients de corrélation	138
<b>Tableau V.6 :</b> Relations et coefficients de corrélation	139
<b>Tableau V.7 :</b> Les données corrélées (Pmoy, At, As, et Ds)	140
<b>Tableau V.8 :</b> Seconde corrélation (apports solides-débits liquides)	142

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure I.1</b> : Le pluviomètre association	7
<b>Figure I.2</b> : Pluviographe enregistreurs à auget basculeur	8
<b>Figure. I.3.</b> Schémas représentatif des modifications des précipitations selon la forme du pluviomètre	9
<b>Figure I.4.</b> Erreurs de captation due à l'inclinaison de la pluie pour un terrain horizontal ou incliné	10
<b>Figure I.5.</b> Pourcentage d'écarts à la normale (1961-1990) des précipitations observée au niveau de chaque station durant la saison Juin-Juillet-Aout (été 2017).	18
<b>Figure I.6.</b> Mode de transport des sédiments	27
<b>Figure. I.7.</b> Bouteille de prélèvements fixée sur une perche avec système d'ajustage]	31
<b>Figure I.8.</b> Turbidisonde	33
<b>Figure I.9.</b> Schéma d'une jauge	34
<b>Figure I.10.</b> Exemples d'échantillonneurs Helley- Smith).	35
<b>Figure I.11.</b> Echantillonneurs de charge de fond (piège)	35
<b>Figure I.12.</b> Moyennes interannuelles pour chaque sous-bassin versant entre 2000 et 2013. <b>(B)</b> Taux d'érosion (t/ha/an); <b>(A)</b> les charges de ruissellement de surface simulées (mm/an).	45
<b>Figure II.1.</b> Emplacement du bassin versant de la Tafna et de ses barrages et stations hydrométriques (situé dans le cours d'eau principal).	46
<b>Figure II.2.</b> Situation géographique de la zone d'étude	47
<b>Figure.II.3</b> : Le bassin versant de la Tafna dans l'ensemble Oranie Chott Chergui	48
<b>Figure II.4.</b> les sous bassine de la Tafna	49
<b>Figure.I I.5</b> : La délimitation et la géographie du bassin	50
<b>Figure II.6.</b> Cadre géographique de la Tafna et de la wilaya de Tlemcen	53
<b>Figure II.7</b> : Réseau hydrographique de la Tafna	55
<b>Figure II.8.</b> Extrait de la carte du Nord d'Algerie 1 /500 000 (A.S.P.E.W.I.T)	57
<b>Figure II.9.</b> Moyennes interannuelles pour chaque sous-bassin versant entre 2000 et 2013. <b>(A)</b> précipitations (mm/an); <b>(B)</b> évapotranspiration potentielle (mm/an);	62
<b>Figure III.1</b> Variation des précipitations mensuelles pour chaque station étudiée.	66
<b>Figure III.2</b> Variation des précipitations mensuelles dans le bassin versant de la Tafna	67
<b>Figure III.3</b> Courbe de la pluviométrie mensuelle et sa droite de régression (station	68

Bensekrane)	
<b>Figure III.4</b> courbe de la pluviométrie mensuelle et sa droite de régression (station Beni Bahdel)	69
<b>Figure III.5</b> courbe de la pluviométrie mensuelle et sa droite de régression (Meffrouche)	70
<b>Figure III.6</b> courbe de la pluviométrie mensuelle et sa droite de régression (Sebra)	71
<b>Figure III.7</b> courbe de la pluviométrie mensuelle et sa droite de régression (Sebdou)	72
<b>Figure III.8</b> courbe de la pluviométrie mensuelle et sa droite de régression (Pierre du chat)	73
<b>Figure III.9</b> courbe de la pluviométrie mensuelle et sa droite de régression (Maghnia)	74
<b>Figure III.10</b> courbe de la pluviométrie mensuelle et sa droite de régression (Chouly)	75
<b>Figure III.11.</b> Variation des précipitations saisonnières pour chaque station	77
<b>Figure III.12.</b> Variation des précipitations saisonnières dans le bassin versant de la Tafna	78
<b>Figure III.13.</b> Variation des précipitations saisonnières dans le bassin versant de la Tafna	78
<b>Figure, III, 14</b> Etude de la tendance pluviométrique annuelle par le test de Mann Kendall	83
<b>Figure III, 15.</b> Etude de la tendance pluviométrique annuelle par le test de Pettitt	85
<b>Figure III.16 :</b> Ajustement des précipitations mensuelles a la loi racine normale (station Bensekrane)	89
<b>Figure III.17 :</b> Ajustement des précipitations mensuelles a la loi racine normale (station Béni Bahdel)	90
<b>Figure III.18 :</b> Ajustement des précipitations mensuelles a la loi racine normale (station Chouly)	91
<b>Figure III.19 :</b> Ajustement des précipitations mensuelles a la loi racine normale (station Maghnia)	92
<b>Figure III.20 :</b> Ajustement des précipitations mensuelles a la loi racine normale (station Meffrouche)	93
<b>Figure III.21 :</b> Ajustement des précipitations mensuelles a la loi racine normale (station P. du Chat)	94
<b>Figure III.22</b> Ajustement des précipitations mensuelles a la loi racine normale (station Sabra)	95

<b>Figure III.23</b> : Ajustement des précipitations mensuelles a la loi racine normale (station Sebdou)	96
<b>Figure III.24</b> : Ajustement des précipitations mensuelles du mois de février et mars (station Sabra)	97
<b>Figure. IV.1</b> : Droite de régression	102
<b>Figure.IV.2</b> : Construction géométrique de la courbe des débits classés	104
<b>Fig.IV.3</b> : courbes des débits classés relative à N années	105
<b>Figure.IV.4</b> : Histogramme des fréquences	106
<b>Figure IV.5</b> : Bassin de la Tafna	108
<b>Figure.IV.6</b> : Droite de régression débit solide – débit liquide (échelle annuel)	111
<b>Figure IV.7</b> : Courbe des débits classés (échelle annuelle)	112
<b>Figure IV.8.</b> Diagramme Ombrothermique – Station de ZENATA- Période : 1980-2010	114
<b>Figure.IV.9</b> .corrélation saisonnière (débit solide - débit liquide	116
<b>Figure.IV.10</b> : Courbes des débits classés à l'échelle saisonnière	118
<b>Figure.IV.11.</b> Corrélation mensuelle entre débit solide et débit liquide.	122
<b>Figure IV.12.</b> Courbe des fréquences cumulées des débits liquides moyens journaliers à l'échelle mensuelle.	125
<b>Figure IV.12.</b> Variation mensuelle des apports liquides de la Tafna	128
<b>Figure IV.14.</b> Variation mensuelle des apports solides de la Tafna	128
<b>Figure IV.15.</b> Variation mensuelle des concentrations solides de la Tafna	129
<b>Figure .V.1.</b> Méthode des polygones de Thiessen	132
<b>Figures V.2.</b> Polygones de Thiessen, bassin versant de la Tafna	133
<b>Figure V.3.</b> Evolution des précipitations moyennes mensuelles bassin versant Tafna	135
<b>Figure V.4.</b> Evolutions des apports liquides et apports solides bassin Versant Tafna	136
<b>Figure V.5.</b> Ajustement à une loi puissance	137
<b>Figure V.6.</b> Courbe exprimant la relation entre les données ajustées (Pmoy,Ds et As)	139
<b>Figure V.7.</b> Corrélation apport liquide-précipitation moyenne	141
<b>Figure V.8.</b> Seconde corrélation (apport solide-débit liquide)	142
<b>Figure V.9.</b> Seconde corrélation (dégradation spécifique-débit liquide)	143

# Sommaire

---

<b>INTRODUCTION</b>	1
<b>CHAPITRE I :</b>	5
<b>GENERALITES SUR LES PRECIPITATIONS ET LE TRANSPORT SOLIDE</b>	
<b>I.1. LES PRECIPITATIONS</b>	5
II.1.1. CLASSIFICATION DE PRECIPITATIONS	5
II.1.2. MESURE DE PRECIPITATIONS EN UN POINT	6
II.1.3 PRESENTATION DU RESEAU METEOROLOGIQUE	12
I.1.4. EVALUATION DES PRECIPITATIONS SUR UN BASSIN VERSANT	13
I.1.5. QUELQUES TRAVAUX EFFECTUES EN ALGERIE SUR LES PRECIPITATIONS	14
<b>I.2. EROSION DANS UN BASSIN VERSANT</b>	18
II.2.1. TYPES D'EROSIONS	18
II.2.2. PARAMETRES INFLUENÇANT L'EROSION	21
II.2.3. QUANTIFICATION DE L'EROSION	22
II.2.4. METHODES DE DEFENSE CONTRE L'EROSION ET LA SEDIMENTATION	24
<b>I.3. LE TRANSPORT SOLIDE</b>	26
I.3.1. LE TRANSPORT PAR CHARRIAGE	27
I.3.2. TRANSPORT PAR SUSPENSION	29
I.3.3. MESURE DU TRANSPORT SOLIDE DANS LES COURS D'EAU	30
I.3.3.1 Mesure du transport en suspension	30
I.3.3.2 .Mesure du transport de fond	34
I.3.4. QUANTIFICATION DU TRANSPORT SOLIDE EN ALGERIE	36
I.3.4.1. Model de TIXERONT	36

---

## Sommaire

---

I.3.4.2. Model de SOGREAH	37
I.3.4.3. Model de DAMAK	37
I.3.5. QUELQUES TRAVAUX EFFECTUES EN ALGERIE SUR LE TRANSPORT SOLIDE	37
<b>CHAPITRE II :</b>	46
<b>PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE</b>	
II.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE	46
II.1.1. Les zones montagneuses	51
II.1.2. Les zones des plaines et des plateaux	52
II.2. HYDROGRAPHIE DU BASSIN	53
II.3.GEOLOGIE DU BASSIN DE LA TAFNA	56
II.4. SOLS, VEGETATION ET AGRICULTURE	58
II.5. CLIMAT DE BASSIN VERSANT DE LA TAFNA	59
<b>CHAPITRE III :</b>	66
<b>ETUDE DES PRECIPITATIONS</b>	
III.1. SELECTION DES STATIONS PLUVIOMETRIQUES	63
III.2. ETUDE DE LA VARIABILITE DES PRECIPITATIONS MENSUELLE ET SAISONNIERES	64
III.2.1. Etude de la variabilité des précipitations mensuelles	64
III.2.2. Etude de la tendance mensuelle	67
III.2.3 Variabilité des précipitations saisonnières	76
III.3.ETUDE DE LA STATIONARITE DE LA PLUVIOMETRIE	78
III.3.1 Résultats et analyse :	81
III.4.AJUSTEMENT A DES LOIS DE PROBABILITES:	86

---

<b>CHAPITRE VI :</b>	98
<b>ESTIMATION DES APPORTS SOLIDES A L'EXUTOIRE DU BASSIN VERSANT DE LA TAFNA</b>	
IV.1. NOTIONS IMPORTANTES POUR LA MODELISATION STATISTIQUE	100
IV.1.1. Estimation des paramètres d'un modèle	100
IV.1.2. Régime des débits liquides	103
IV.1.2.1. Courbe des débits classés	103
IV.2. PRESENTATION DE LA METHODE D'ESTIMATION DES APPORTS SOLIDES ET COLLECTE DES DONNEES	106
IV.2.1. Démarche générale	106
IV.2.2. Collecte et dépouillement des données	108
IV.3. ESTIMATION DES APPORTS SOLIDES EN SUSPENSIONS PAR MODELISATION STATISTIQUE	109
IV.3.1. Estimation du transport solide en suspension l'échelle annuelle	109
IV.3.1.1. Données sur les sédiments	110
IV.3.1.2. Données sur les débits liquides du cours d'eau	110
IV.2.1.3. Recherche de relation entre débits solides en suspension et débits liquides:	110
IV.3.1.4. Courbe des débits classes (courbe. des fréquences cumulées)	111
IV.3.1.5. Estimation de l'apport solide en suspension	112
IV.3.2. Estimation du transport solide en suspension l'échelle saisonnière	113
IV.3.3. Estimation du transport solide en suspension à l'échelle mensuelle	119
IV.3. Discussion des résultats	129

---

## Sommaire

---

<b>CHAPITRE V :</b>	
<b>INTERRELATION PRECIPITATION-TRANSPORT SOLIDE</b>	131
V.1. DONNEES SUR LES PRECIPITATIONS	131
V.2. EVALUATION REGIONALE DES PRECIPITATIONS	131
V.2.1. Calcul de la moyenne pondérée - méthode des polygones de Thiessen	132
V.2.2. Polygones de Thiessen, Bassin de la Tafna	133
V.2. DONNEES SUR LE TRANSPORT SOLIDE	135
V.3. INTERRELATION PRECIPITATION-DEBIT SOLIDE	137
V.3.1. Corrélation directe	137
V.3.1. Corrélation indirecte	139
V.3. DISCUSSION DES RESULTATS	143
<b>CONCLUSION</b>	144

---

# INTRODUCTION

## **INTRODUCTION**

Dans le monde, la conséquence la plus dramatique du transport solide dans les cours d'eau des bassins versants est sans aucun doute l'envasement des barrages qui pose aux opérateurs d'énormes problèmes, dont la résolution ne peut être si chère. Ce phénomène se produit souvent pendant les inondations. Dépôts boueux causés par la sédimentation des matières particulières drainées par ces courants, réduisant ainsi la capacité utile des barrages. Au Maroc, la dégradation moyenne du bassin versant Nekor se rapproche de la valeur de  $5900 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{an}^{-1}$ , l'une des plus élevées au monde (Lahlou, 1990), sur le bassin versant de l'Isère (France), le taux d'érosion spécifique a atteint  $652 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{an}^{-1}$  (Dumas 2008). Même dans d'autres parties du monde, le taux d'érosion peut atteindre des valeurs élevées telles que le taux d'érosion du bassin versant du fleuve Jaune en Chine qui est de  $2650 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{an}^{-1}$  in (Remini et al, 2015). En Roumanie, le taux d'érosion spécifique est proche de la valeur de  $500 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{an}^{-1}$  (Radoane, 2005), (BAK et al 2013), ont étudié la distribution spatiale des sédiments dans le réservoir Suchedniow, sur une période de 33 ans, plus de 32% des sédiments se sont déposés dans la partie supérieure du réservoir. (Walling, 2008) a montré que les barrages sont des structures de piégeage des sédiments.

Malheureusement l'Algérie n'échappe pas à ce problème, la mauvaise estimation de la quantité des matériaux solides transportés par le cours d'eau particulièrement la fraction entrante dans les retenues d'une part et la non maîtrise du mécanisme de l'envasement d'autre part, rendent l'estimation des apports solides en suspension assez compliqué à réaliser..

Les dépôts de limon au fond d'un réservoir proviennent principalement de l'érosion des bassins versants, réduisant progressivement la capacité effective du barrage. Très bien répondu dans le bassin méditerranéen, notamment dans l'érosion nordique algérienne, est un facteur indispensable dans l'évaluation de la vie d'un barrage. Contrairement à la partie Nord de la méditerranée, les valeurs les plus élevées du taux d'abrasion sont enregistrées dans la partie Sud de la méditerranée.

L'Algérie est parmi les pays les plus touchés par le phénomène de l'érosion et du transport des sédiments dans les cours d'eau en particulier dans les zones arides et semi arides, causé par la saisonnalité des processus hydrologiques et la forte variation interannuelle des taux de précipitation qui renforcent le rôle des inondations peu fréquentes (Soler et al, 2007). Dans ces zones, le transport de sédiments en suspension pose des problèmes pour la gestion des ressources en eau, lorsque des taux élevés de sédimentation se produisent dans les réservoirs. Pour comprendre et maîtriser ce phénomène, plusieurs chercheurs ont étudiés ce phénomène au cours des années précédentes; Selon DEMMAK (1982), la quantité annuelle moyenne de sol érodé en Algérie est de 180 millions de tonnes, dont une partie est déposée dans les rivières et les barrages et que les taux d'érosion spécifiques atteignent  $4000 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{an}^{-1}$  sur la chaîne de Dahra côtière, (Bouchelkia et al. 2014) ont montré que l'érodabilité du bassin versant Chellif (Algérie) dépasse la valeur de 4 millions de  $\text{t} \cdot \text{an}^{-1}$ . L'érosion est très importante dans le bassin versant de Tafna (Algérie), car elle fournit un débit solide supérieur à la valeur de 6 millions tonnes par an.

Il est nécessaire et essentielle de bien quantifier et d'estimer la quantité d'érosion et de sédiments à l'exutoire du bassin versant et de mettre en œuvre d'énormes efforts de conservation.

D'autre part, ce phénomène est directement influencé par les précipitations, la pluie est essentiellement à l'origine de l'érosion par son impact sur les particules de sol qu'elle détache, ce qui implique, que les précipitations sont un paramètre hydrologique clé, permettant de déterminer la quantité de sédiments arrachés au sol et transporter par les cours d'eau. Cette hypothèse a été prouvée par plusieurs chercheurs, qui ont démontré que les particules du sol sont délogées par le choc des gouttes de pluie, l'impact de ces gouttes fournit une intense force hydrodynamique sur le sol, et l'énergie développée par la pluie est plus importante que le ruissèlement (Wischmeir, 1960, 1962 ; Roose, 1980).

Devant l'importance que revêt le phénomène d'érosion et du transport solide, et afin de permettre une réponse rapide à la demande des ingénieurs pour la quantification du transport solide en suspension à l'exutoire d'un bassin versant, un outil simple, facile à mettre en œuvre a été mis au point au cours de notre étude. Le principe adopté, est basé sur des données hydrométriques des stations de jaugeages, et des analyses saisonnières et annuelles, ont permis de définir une méthode appropriée d'estimation des apports solides .

Nous avons choisi le bassin versant de la Tafna comme exemple d'application, ce choix a été motivé par le fait que ce dernier est l'un des plus importants du Nord-Ouest Algérien et le plus

arrosé, de plus, il comporte un nombre important d'ouvrages de mobilisation des eaux de surface .

Le bassin de la Tafna est situé à l'extrême Nord-Ouest d'Algérie, d'une superficie de 6900 km<sup>2</sup>, il est sillonné par l'un des plus importants Oued de l'Ouest du pays : la Tafna, qui coule de l'Ouest à l'Est, depuis le Maroc jusqu'à la mer méditerranée (à côté de Beni Saf), la longueur de son talweg principal est de 160 Km

Le bassin versant de la Tafna est classé dans le climat semi-aride, qui subit l'influence des perturbations complexes du régime méditerranéen. Les précipitations y sont irrégulières, la pluviométrie moyenne annuelle est de 350mm, c'est une région qui est caractérisée par des saisons pluvieuse et sèche, la période pluvieuse s'étend de septembre à mai.

Nous avons organisés notre étude en cinq chapitres

Dans le premier chapitre nous donnons quelques notions essentielles sur la précipitation (formation, types de précipitations, mesures des précipitations.....) et nous présentons une description du phénomène d'érosion et de ses mécanismes et les méthodes de quantification, à la fin de ce chapitre nous avons donné un résumé de quelques travaux réalisés en Algérie sur les précipitations et le transport solide.

Le deuxième chapitre est réservé à la présentation de la région (le bassin versant de la Tafna) ; la situation géographique, la structure géologique, sol et végétation, le climat...).

Le troisième chapitre de cette thèse consiste à l'étude de des précipitations, ou nous sommes intéressés à la variabilité des précipitations mensuelle et saisonnière, la stationnarité des précipitations annuelles, pour ce faire nous avons sélectionnées huit stations pluviométriques implantées dans le bassin versant de la Tafna ; Beni Behdel, Maghnia, Maffrouche, Sabra, Chouly, Bensekrane , Sebdou et Pierre du Chat , nous allons procéder ensuite à un ajustement des précipitations mensuelles de nos données aux lois de normalité à savoir : la loi normale, la loi log normale et la loi racine normale .

Le quatrième chapitre de cette thèse est consacré à l'évaluation du transport solide en suspension dans le bassin de la Tafna ; en étudiant la production annuelle, saisonnière et mensuelle en sédiments de ce dernier. Dans cette partie de l'étude on s'intéressera à l'estimation des apports solides en suspension transitant par les stations de jaugeages, car il est le plus important en quantité que le transport par charriage et c'est lui qui affecte les ouvrages hydrotechniques.

Pour mener à bien ce chapitre, nous avons choisis la station de Pierre du Chat comme exemple d'application, notre choix est justifié par la position stratégique de cette station au sein de ce bassin versant (exutoire du bassin versant); elle contrôle la quasi-totalité du bassin versant de la Tafna.

Les données utilisées dans notre thèse proviennent de l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH).

L'estimation de l'apport solide en suspension a été effectuée par modélisation statistique en effectuant des analyses annuelles, saisonnières et mensuelles et qui ont permis de définir une méthode appropriée d'estimation des apports solides.

Le dernier chapitre sera consacré à la contribution et à déterminer une relation liant les précipitations aux apports solides produits dans le bassin versant de la Tafna.

# CHAPITRE I:

## GENERALITES SUR LES PRECIPITATIONS ET LE TRANSPORT SOLIDE

## CHAPITRE I: GENERALITES SUR LES PRECIPITATIONS ET LE TRANSPORT SOLIDE

### I.1. LES PRECIPITATIONS

On appelle précipitations, toutes les eaux météoriques, ou hydrométéores, qui tombent à la surface de la terre, tant sous forme liquide (pluie) que solide (neige, grêle, grésil).

(L'HOTE 1993)

Les précipitations d'une région sont intimement liées au climat. Les précipitations varient dans le temps et dans l'espace. Des régions sont plus arrosées que d'autres et des mois qui sont plus pluvieux que d'autres.

Les précipitations sont considérées comme données principales de base qui sert de point de départ pour le dimensionnement, la réhabilitation et la gestion en temps réel d'un système hydrique aussi bien en milieu urbain ou rural (Bennis, 2014)

#### I.1.1. CLASSIFICATION DES PRECIPITATIONS:

D'après le mode et la période de formation les précipitations sont classées en trois classes :

**a. les précipitations de convection:** Ces précipitation dites précipitations d'été ; leurs formation se fait par le contact de l'air humide avec le sol qui est chauffé par les radiations solaires s'élève verticalement. Etant refroidie au cours d'une détente adiabatique, il se condense et donne lieu des précipitations intense et de courte durée. C'est des précipitations qui sont fréquentes dans les régions équatoriales et sur les régions tempérées. (Bennis, 2014)

**b. Précipitations orographiques:** Ce sont des précipitations qui résultent lorsque des masses d'air chaudes et humides provenant des océans rencontre un sol montagneux froid, elles se condensent.

**c. Précipitations cycloniques:** On assiste à des précipitations cycloniques quand deux fronts de masse d'air de température et degrés d'humidité différents se rencontre, la masse d'air la plus chaude poussée vers le haut, elle se refroidit au cours d'une détente adiabatique et se condense, provoquant ainsi des précipitations intenses et prolongées.

**I.1.2. MESURE DE PRECIPITATIONS EN UN POINT :**

La mesure des précipitations est simple à réaliser localement, mais une des plus complexe en météorologie, vue la forte hétérogénéité spatiale des précipitations, celles-ci sont exprimées en mm de hauteur d'eau et en intensité, mm/h. La quantité totale de précipitations atteignant le sol est représentée par l'épaisseur équivalente qu'aurait une lame d'eau uniforme sur un plan horizontal. La hauteur des précipitations est exprimée en mm et indique la quantité en litre sur une surface de un mètre carré.

Il existe une grande variété d'appareils de mesure de précipitations qui peuvent être classées en pluviomètres et pluviographe :

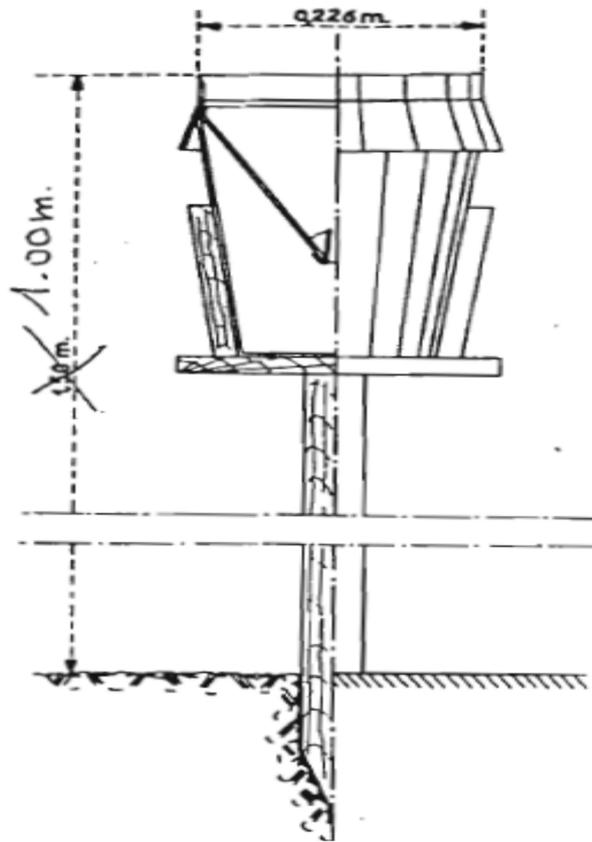
- les pluviomètres, sont dit journaliers, car ils donnent la pluie globale a une station pendant un temps donné, voir 1 à 2 fois par jour. le modèle le plus utilisé est :

*Le pluviomètre association* ; cet appareil es couramment utilisé en Algérie et en France est représenté par la figure I.1.3; il a été très rependu par les soins de l'association scientifique de France d'où le nom de pluviomètre association (Morel, 1999) Ce pluviomètre correspond aux principales normes fixées par l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM, créée en 1878), en particulier la surface de la bague est comprise entre les 200 et 500 cm<sup>2</sup> recommandés. Une autre norme de l'OMM est que le pluviomètre doit être situé à une distance d' égale ou supérieure à 4 fois la hauteur H de l'obstacle le plus .proche ( $0 > = 4H$ ).

En réalité, il est préférable de situer l'appareil le plus loin possible de tout obstacle (Bâtiment, arbres) surtout si celui-ci est Situé du côté d'où viennent les pluies (L'Hote, 1993). Il est composé de trois parties :

- 1- un seau en zinc ou en polyester où s'accumule la pluie recueillie,
- 2- un entonnoir en métal formant la surface réceptrice et comportant un trou assez petit pour diminuer les pertes par évaporation protégé par une tôle métallique fine.
- 3- une bague circulaire a bords presque tranchants de 226mm de diamètre limitant la surface de réception de 400cm<sup>2</sup>.

Ce pluviomètre est installé sur un support de telle façon que le niveau de la bague soit à une hauteur de 1.5m au-dessus d'un sol. Pour mesurer la hauteur d'eau tombée, on verse le contenu du seau dans une éprouvette graduée en millimètres et en dixièmes de millimètres. (Harrang, 1970).



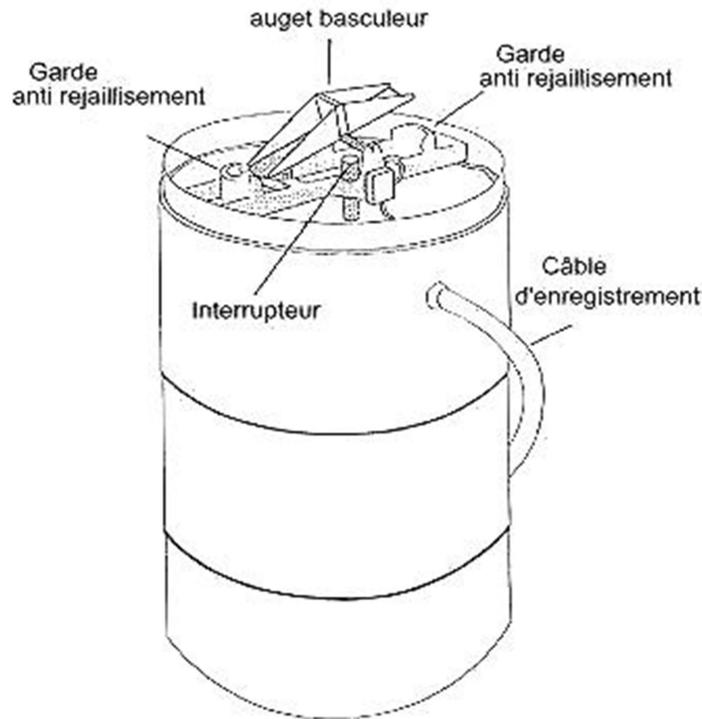
**Figure I.1 :** Le pluviomètre association (L'HOTE, 1993)

On peut citer d'autre type de pluviomètres à savoir les pluviomètres péculateur, le pluviomètre SPIEA

- Le pluviographe, cet appareil enregistreur qui permet de faire l'analyse et la répartition des pluies dans le temps. Le plus utilisé dans le réseau de l'ONM est le pluviographe à auget basculeur. figure I.2; cet appareil comporte en dessous de son entonnoir de collecte d'eau, une pièce pivotante dont les deux compartiments peuvent recevoir l'eau tour a tour.

Il existe d'autres modèles de pluviographes :

- le pluviographe à siphon, l'eau collectée est stockée jusqu'à un seuil critique où un dispositif de siphonage s'amorce, évacuant l'eau recueillie.
- le pluviographe a pesé, le poids du récipient collecteur est enregistré en continu



**Figure I.2 :** Pluviographe enregistreurs à auget basculeur (Harrang , 1970) .

La mesure de précipitation entraîne de nombreuses erreurs et de caractères hétérogènes. Ces erreurs sont représentées essentiellement par deux types ; les erreurs instrumentales et les erreurs dues à l'environnement ;

***a- les erreurs instrumentales :***

L'erreur instrumentale se différencie par deux points principaux ; l'appareil de mesure lui-même et la méthode d'exploitation. En conséquence, chaque type d'appareil ou pour chaque méthode de mesure est relié à des imperfections que l'on essaye de contrôler ou diminuer et de corriger. Ces imperfections sont de caractères divers :

▪ ***Profondeur de la bague du pluviomètre :***

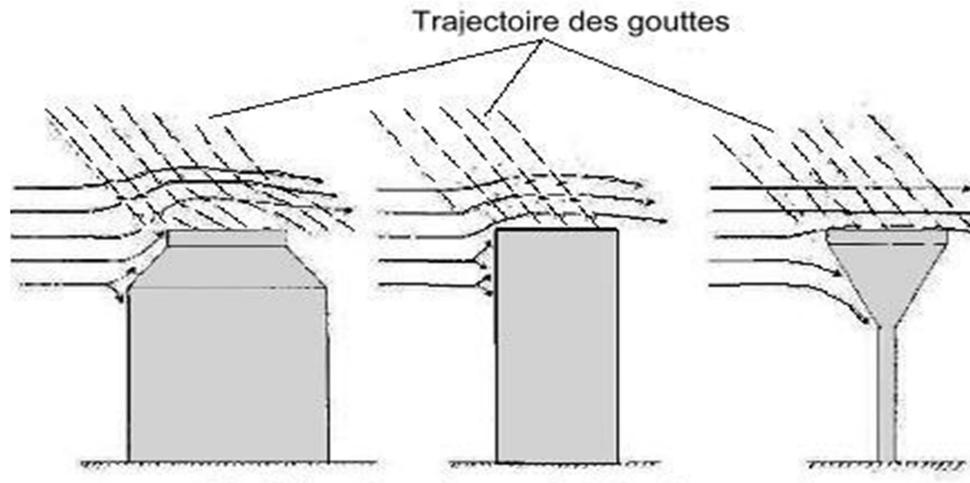
Plusieurs comparaisons ont été effectuées en utilisant de nombreux pluviomètres possédant une hauteur de bague différente.

Ces comparaisons furent effectuées en mesurant parallèlement le vent et les précipitations. Les résultats constatés sont :

- ✓ par vent fort, la bague la plus profonde soit mieux adaptée que la petite.
- ✓ Par vent modéré, la profondeur de la bague ne semble pas établie.
- ✓ Par vent faible, la bague la moins profonde indique les meilleurs résultats

- ***Influence de la forme du collecteur :***

La forme du pluviomètre a une influence déterminante sur la captation de l'eau. Des essais en soufflerie sur des pluviomètres de forme cylindrique à épaulement tronconique cylindrique pure et sur des pluviomètres association, ont démontrés que le troisième type de pluviomètre modifie le moins le champ aérodynamique autour du capteur cette modification est illustrée sur la figure I.3 (Harrang, 1970)



**Figure. I.3.** Schémas représentatif des modifications des précipitations selon la forme du pluviomètre (Harrang, 1970)

- ***Influence de la rugosité de la paroi interne des pluviomètres :***

Le coefficient de rugosité de l'entonnoir qui dépend du matériau utilisé à sa fabrication, de sa pente et de sa propreté. Les principaux matériaux utilisés dans la fabrication des entonnoirs sont le zinc, le laiton, le cuivre et le polyester armé de fibres de verre. Les entonnoirs métalliques possèdent une rugosité qui permet une bonne rétention de l'eau, celle-ci est plus faible pour les entonnoirs en polyester.

**b- les erreurs dues aux méthodes de mesures :**

Elles incombent essentiellement à l'observateur, ces erreurs sont dues à :

- Une pose défectueuse du diagramme sur le tambour d'enregistrement, ce qui causera la modification des coordonnées, cela engendre la difficulté de mesure à fine échelle.
- Le mauvais entretien de la plume d'inscription pouvant provoquer des défauts d'enregistrement et des erreurs d'interprétation.
- Une amplification incorrecte du stylet, modifie les valeurs extrêmes de la courbe d'enregistrement.

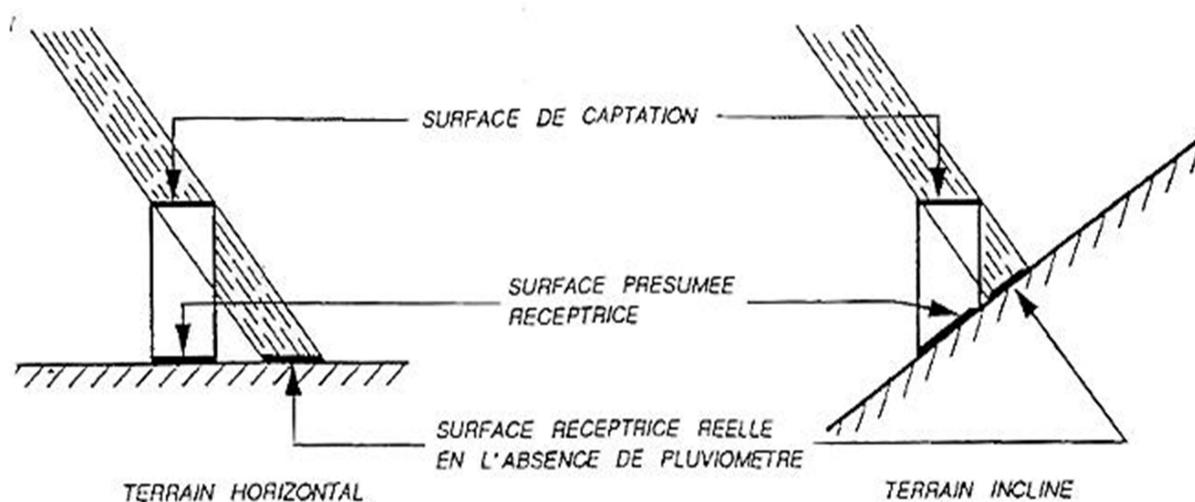
- Des pertes par erreur de manœuvre au moment de lecture manuelle, renversement ou débordement des éprouvettes.

### c- les erreurs dues à l'environnement :

La mesure des paramètres climatiques dépend généralement des conditions d'installation de l'appareillage, la localisation de l'instrument lui-même par rapport au site, à l'environnement et à des facteurs climatiques régionaux :

- *Installation de l'appareillage :*

Le pluviomètre est généralement installé sur un pied support ou un socle qui est fixé solidement au sol. Si cette opération n'est pas réalisée convenablement, on risque d'introduire des erreurs pendant le fonctionnement de l'appareillage, ces erreurs sont dues dans ce cas à la mauvaise horizontalité du socle, ce qui pourra modifier le calibrage du capteur. L'instabilité du support engendre des vibrations de l'appareillage, un revêtement du sol, non adéquat provoque une augmentation de l'évaporation due à l'intensification du rayonnement solaire. On peut citer comme autres paramètres provoquant des erreurs, les obstacles avoisinants qui influent tant par leurs dimensions que par leur proximité, donc, le pluviomètre doit être placé au lieu découvert, le plus loin possible des obstacles, il est conseillé de le mettre à une distance de moins 02 à 03 fois leur hauteur pour éviter les remous ou une simple turbulence figure I.4. (Summer, 1988).



**Figure I.4.** Erreurs de captation due à l'inclinaison de la pluie pour un terrain horizontal ou incliné ((Summer, 1988).

*La hauteur d'exposition des capteurs :*

Le capteur d'un pluviomètre est situé à des hauteurs comprises suivant le sol et a 1.5 mètre au-dessus du sol. Si une exposition est trop élevée, elle ne correspond pas à la définition pluviométrique, si elle est trop basse elle provoque des erreurs par suite d'un rejaillissement intensif sur les bords de la cuve de réception.

- *Les erreurs du au vent :*

Le vent est le facteur le plus important et le plus difficile a contrôlé. La déviation des filets d'air provoque un excédent ou un déficit dans la quantité d'eau réellement tombée. Il a une interaction simultanée entre le vent et le pluviomètre. Le vent provoque des arrachements et de rejaillissement des gouttes de pluie sur le capteur. Ces conséquences sont d'autant plus accusées que la vitesse du vent est forte et que la vitesse de chute de précipitation est faible. Une des principales causes d'erreur dans la mesure des précipitations avec un pluviomètre est la variation de son coefficient de captation avec la vitesse du vent. La quantité d'eau captée peut ainsi être sous-estimée de 3% à 30%.

- *Les erreurs dues à l'évaporation :*

Une précipitation qui survient après une longue période d'ensoleillement ; les premières gouttes qui tombent s'évaporent a la surface du métal par ce que la température de celui-ci est supérieur a celle de l'air. Si la précipitation est faible et de courte durée elle risque d'être totalement ignorée, un équilibre sera rétabli au bout d'une période mais en contrepartie une quantité non négligeable est déjà perdue, d'où une perte qui risque d'entacher, particulièrement dans les zone aride.

Les pluviomètres métalliques provoquent beaucoup plus d'erreurs, dues à l'évaporation. Ceux en verre ou en plastiques semblent avoir un coefficient d'évaporation relativement faible et parfois négligeable, cela sont conseillés dans les zones chaudes.

Pour éviter les pertes par évaporation, le seau récepteur est rempli d'une quantité d'huile suffisante pour former une couche de 5 mm au-dessus de l'eau (Summer, 1988).

**I.1.3. PRESENTATION DU RESEAU METEOROLOGIQUE :****A) Organisation des données :**

L'observation est la base de la climatologie, c'est sur sa qualité et quantité que reposent les résultats de chaque analyse statistique et les conclusions qui en découlent. Le relevé météorologique au sol est le seul moyen dont dispose le météorologue pour mesurer les paramètres climatiques. Les observations effectuées en altitude ont apporté de nouvelles données, une nouvelle étape a été franchie avec l'utilisation du ballon sonde, du radar et du satellite météorologique (Thillet, 1997). Malgré les progrès, la mesure au sol est restée le moyen fondamental pour la précision météorologique. Dans les paragraphes qui suivent nous allons rappeler les principes de l'organisation des observations et les conditions requises pour obtenir de bonnes données.

**a) Choix des emplacements :**

L'emplacement de la station dépend de sa position en altitude, sa distance par rapport à la mer et de la topographie des lieux. A une échelle plus fine les obstacles voisins ont également une influence, l'emplacement des stations doit être à l'abri de toute influence extrême.

**b) Fréquence d'observation :**

D'après l'OMM les stations peuvent être classées comme suit :

\* Stations météorologiques principales (SMP) : stations tenue par un personnel spécialisé qui effectue de nombreuses observations selon une périodicité horaire. Elle donne les mesures de la température, la précipitation, l'insolation, le vent, la nébulosité, l'humidité et la pression.

\* Stations météorologiques auxiliaires (SMA) : ce sont des stations tenues par un personnel autre que professionnel, qui prélève au moins trois observations par jour elle donne des données de précipitation et de température

\* Poste pluviométrique (PP): qui donne uniquement des mesures de précipitations.

**c) Choix des instruments de mesure et les conditions d'installation :**

Les conditions d'installation des instruments et le type de matériel d'observation doivent être aussi proches que possible de l'installation standard de l'OMM.

Les instruments de mesure doivent présenter les caractéristiques suivantes:

- la fidélité : la faculté pour l'appareil de mesure, d'indiquer toujours les mêmes valeurs;
- la justesse : indication de valeurs justes et exactes;
- la sensibilité : de faibles variations de la grandeur à mesurer doivent apparaître nettement sur l'instrument de mesure;

- la robustesse, la simplicité et la fiabilité : il est indispensable d'ajouter ses qualités vue les conditions particulières de fonctionnement et de manipulation (fonctionnement en plein air, manipulation fréquentes, mesures rapides, etc.)

D'après le règlement de l'OMM, les stations principales doivent être contrôlées aux moins une fois tous les deux ans, les auxiliaires et pluviométriques une fois tous les quatre ans.

#### **d) Degré de précision des mesures :**

Les mesures météorologiques peuvent être affectées d'erreurs systématiques et accidentelles. Les premières proviennent de l'instrument lui-même ou de la méthode de mesure, par contre les accidentelles sont d'origine multiple et souvent inconnue (Riverain, 1997).

#### **I.1.4. EVALUATION DES PRECIPITATIONS SUR UN BASSIN VERSANT :**

Le but de la mesure des précipitations en un point est d'obtenir un "prélèvement" qui représente les précipitations de toute une région. Cette région représentée par une seule mesure aura une superficie variable selon la densité du réseau de postes d'observations repartis sur un bassin versant.

Le calcul de la pluie moyenne sur un bassin versant effectué essentiellement par les trois méthodes si après :

- Méthode de la moyenne arithmétique : c'est la plus simple, cette méthode est appliquée si la topographie n'est pas trop accidentée et si la répartition des postes est suffisamment homogène sur le bassin, cette méthode n'est pas très rigoureuse car elle ne tient pas compte de la répartition spatiale des stations sur le bassin, elle est représenté par la forme suivante :

$$P_{moy} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i \dots\dots\dots I.1$$

- Méthode de Thiessen : cette méthode consiste à attribué à chaque station un poids (pourcentage) cette méthode permet d'estimer des valeurs pondérées en prenant en considération chaque station pluviométrique. Elle convient notamment quand le réseau pluviométrique n'est pas homogène spatialement (pluviomètres distribués irrégulièrement). Elle affecte à chaque pluviomètre une zone d'influence dont l'aire, exprimée en %, représente le facteur de pondération de la valeur locale. Les différentes zones d'influence sont déterminées par découpage géométrique du bassin sur une carte topographique. La précipitation moyenne pondérée  $P_{moy}$  pour le bassin, se calcule alors en effectuant la somme des précipitations  $P_i$  de chaque station, multipliées par leur facteur de pondération (aire  $A_i$ ), le tout divisé par la surface totale  $A$  du bassin. La précipitation moyenne sur le bassin s'écrit :

$$P_{moy} = \frac{\sum_{i=1}^n PA_i \cdot P_i}{A} \dots\dots\dots I.2$$

Avec :

$P_{moy}$  : précipitation moyenne sur le bassin,

$A$  : aire totale du bassin ( $=\sum A_i$ ),

$P_i$  : précipitation enregistrée à la station  $i$ ,

$A_i$  : superficie du polygone associée à la station  $i$ .

$n$  : nombre de stations

(Roux, 2010)

o *Calcul de la moyenne par la méthode des isohyètes*

Cette méthode nécessite la connaissance des isohyètes tracées dans le bassin étudié (Une courbe isohyète est le lieu géométrique des points sur lesquels il est tombé la même quantité de pluie, pendant une période donnée). Ces courbes représentent des lignes joignant les lieux où tombe la même quantité de précipitation. Le réseau des isohyètes étant connu, les superficies internes au bassin comprises entre des isohyètes successives doivent être mesurées. Le calcul de la précipitation moyenne dans le bassin se fait selon la formule suivante :

$$P_{moy} = \frac{\sum_{i=1}^k PA_i \cdot P_i}{A} \dots\dots\dots I.3$$

$P_{moy}$  : précipitation moyenne sur le bassin,

$A$  : aire totale du bassin

$P_i$  : précipitation enregistrée à la station  $i$ ,

$A_i$  : superficie comprise entre les isohyètes  $i$  et  $i+1$ .

$k$  : nombre d'intervalles

**I.1.5. QUELQUES TRAVAUX EFFECTUES EN ALGERIE SUR LES PRECIPITATIONS :**

En Algérie, plusieurs chercheurs se sont consacrés à l'étude de ce phénomène hydrologique (Précipitation) Seltzer P. (1913-1938),(1946) ; H.GAUSSEN (1913-1947) ; MEDINGER (1913-1953) , (1956) ; CHAUMONT et PAQUIN (1913-1963), (1971) ...

Plusieurs chercheurs ont confirmé que l'Algérie connaît une chute de précipitation (Meddi et al, 2002), ( Assaba et al, 2013).

**TOUAZ (2001) :**

Les résultats obtenus par cet auteur montrent que les précipitations en Algérie sont caractérisées par leur irrégularité dans le temps et dans l'espace.

**MEDDI (2002, 2005) :**

L'étude du changement du régime pluviométrique dans le Nord-Ouest Algérien a montré une rupture dans la décennie 70 (réduction de la pluviométrie) pour la quasi-totalité des postes étudiés. La variabilité inter-annuelle des pluies augmente lorsque l'on se rapproche des régions arides. L'augmentation de la variabilité suit l'accroissement de la longitude et la diminution de la latitudinale. L'altitude atténue cet accroissement. Cet auteur confirme que 40% de la diminution de la pluviométrie se situe en hiver et au printemps

**DEKKICHE (2006) :**

D'après l'étude effectuée par cet auteur, les précipitations en Algérie varient du Nord au Sud, et sont réparties sur cinq zones :

- 1- zone septentrionale caractérisée par une pluviométrie moyenne qui varie entre 300 à 1500mm voir 1700mm sur le littoral par an, cette précipitation croît d'Ouest en Est.
- 2- Zone de l'Atlas Tellien dont les chaînes montagneuses (900-1000m d'altitude) sont les plus arrosées de l'Algérie, les précipitations tombent sous forme de neige.  
La pluviométrie est abondante, favorisée par le développement des perturbations orageuses, les précipitations moyennes annuelles peuvent atteindre les 1000mm.
- 3- la zone des hautes plaines, la pluviométrie dans cette zone décroît brusquement, et varie d'une façon irrégulière selon le relief de 200 à 300mm par an.
- 4- Zone de l'Atlas Saharien, dans cette région la pluie est importante irrégularité dans le temps et dans l'espace, elle varie entre 80 et 150mm par an.
- 5- Zone Saharienne, cette partie du pays est caractérisée par une pluviométrie rare et insignifiante, dont le total annuel est de moins de 50mm.

**OUIS (2008) :**

Les résultats de cette étude dans la région Sud-Ouest de l'Algérie montrent que le régime pluviométrique de cette zone a connu une rupture et un changement à partir des années soixante-dix, cette brutale diminution est observée pour les totaux annuels et saisonniers.

**MEDDI et Al (2009) :**

L'Algérie du Nord, durant les dernières décennies, a connu une succession de périodes à déficits et à excédents pluviométriques. Il apparaît d'une façon générale une tendance à la hausse couvrant

les années 1930 et 1950. La baisse de la pluviométrie était en revanche marquée pendant le début des années 1940 et le milieu des années 1970.

**BELARBI (2010):**

L'analyse des précipitations maximale journalière de la région de la Tafna de plusieurs stations pluviométriques, montre une réduction significative de la moyenne d'une valeur de 17 à 20%, cette réduction est observées au début des années soixante-dix.

**ASSABA et Al (2013):**

Ces auteurs ont mis en évidence l'effet d'une baisse de la pluviométrie sur les volumes régularisable des barrages de quelques bassins versants; en effet, les résultats de cette étude ont montré qu'une baisse de l'ordre de 15% de la pluviométrie peut engendrer une importante diminution des volumes d'eau écoulée, qui peut atteindre les 40% pour les zones sèches et d'une valeur de 28% pour les zones humides; ce qui se reportera intégralement sur les volumes régularisés. Ce qui influencera directement les conditions de remplissage des ouvrages hydrauliques.

**YLES (2014):**

L'étude de la variation mensuelle des précipitations du bassin versant de l'oued Saida, durant la période (1980-2010), traduit la distribution des précipitations à l'échelle annuelle. Et font apparaître deux périodes distinctes; une période sèche qui correspond à la saison d'été, caractérisée par un déficit pluviométrique apparent. Une période pluvieuse qui correspond au reste de l'année. Au sein de ce bassin versant les précipitations moyennes mensuelles diminuent de l'amont vers l'aval.

**ELOUISSI (2016) :**

L'estimation des précipitations mensuelles des périodes de retour 10, 100 et 1000 ans, de la région du Nord-Ouest de l'Algérie (bassin versant de la Macta) pour les périodes (1970-1991 et 1992-2011) démontre que les précipitations mensuelles diminuent durant la deuxième période, pour les mois de février, mars et juin.

Selon le même chercheur, Les résultats de l'étude de la variation des précipitations futures pour les périodes (2010-2035), (2010-2100) et (2045-2100) montre une faible augmentation estimée à moins de 40mm qui est de l'ordre de 27%.

D'autre part, des mois secs sont de plus en plus nombreux, les mois de janvier, février, mars, avril et novembre seront les plus touchés par cette sécheresse

**ONM (2017):**

Selon le bilan réalisé par l'office nationale de la météorologie, concernant la variabilité des précipitations durant la saison d'été de l'année 2017 par rapport à la période 1961-1990 en Algérie :

**➤ Précipitations durant la saison d'été en région Ouest**

Des écarts négatifs de l'ordre de **-15 à -60%** par rapport à la normale 1961-1990 ont été enregistrés sur les stations du littoral Ouest. Ce déficit a atteint les **-60 à -90%** sur les stations des plaines et bassins intérieurs.

Un écart positif de l'ordre de **+66%** a été enregistré à la station de Saïda. Plus au sud, sur les stations de l'Atlas saharien les écarts étaient variables. On a en outre enregistré des déficits pluviométriques allant de **-40% à -80%**, notamment à El Bayadh et Mechria et des excédents pluviométriques allant de **+25% à +50%** à Ain Sefra et Naâma.

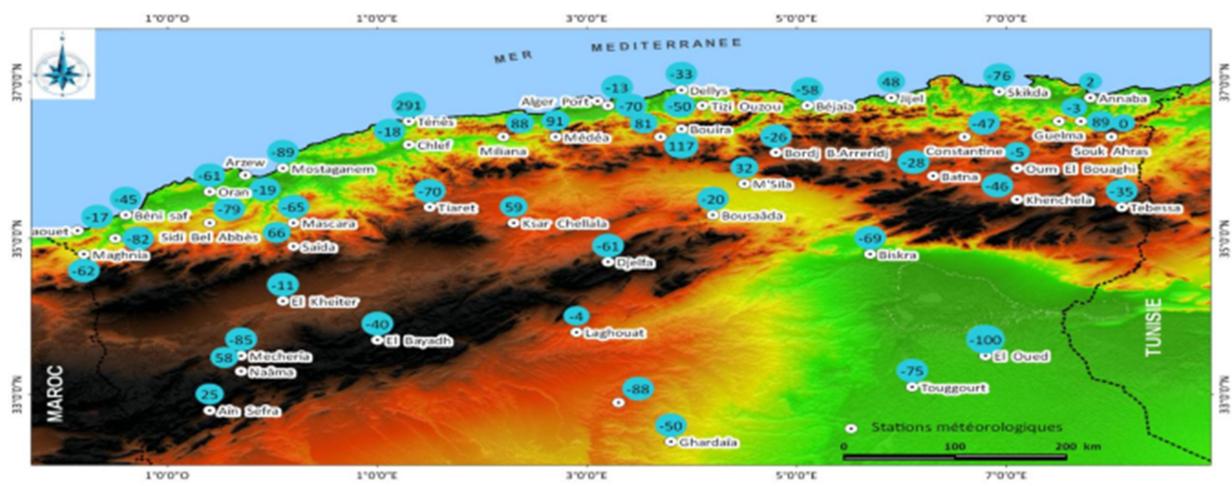
**➤ Précipitations durant la saison d'été en région Centre**

Des anomalies négatives de l'ordre de **-10 à -30%** par rapport à la normale climatologique 1961-1990 ont été enregistrées sur les stations littorales, à l'exception de la zone de Ténès qui a enregistré un excédent pluviométrique assez important. Vers les régions de l'intérieur, des écarts positifs allant de **+80% à plus de +100%** sont enregistrés sur l'axe reliant les Monts de Miliana, en passant par Médéa jusqu'à Bouira et Ain Bessam. Sur les stations des hauts plateaux du Centre, des excédents pluviométriques de l'ordre de **+30 à +60%** sont observés. Sur les stations de l'Atlas saharien, le déficit a varié de **-20% et -60%**.

**➤ Précipitations durant la saison d'été en région Est**

Sur la région Est, les pluies étaient très variables. Des écarts négatifs de l'ordre de **-50% à -70%** par rapport à la normale climatologique sont enregistrés au niveau des stations littorales, plus exactement à Bejaïa et Skikda, exceptée la station de Jijel où l'on a enregistré un écart positif de **+48%**. Vers les régions de l'intérieur, ce déficit a varié entre **-25% et -50%**, plus particulièrement sur les stations de l'Atlas tellien qui relie les Monts des Bibans jusqu'au Monts de Constantine, ainsi que sur les stations de l'Atlas saharien qui relie les Aurès aux Monts de Tébessa.

Dans l'extrême Est, nous avons enregistré des pluies normales à Annaba et Guelma, à l'exception de la station de Bouchegouf, où l'on a enregistré un écart positif de **+89%**



**Figure I.5.** Pourcentage d'écart à la normale (1961-1990) des précipitations observées au niveau de chaque station durant la saison Juin-Juillet-Aout. (ONM ,2017)

## I.2. EROSION DANS UN BASSINS VERSANT :

D'une manière générale, l'érosion des sols correspond au "détachement" et au "transport" des particules de sol, par différents agents (gravité, eau, vent, glace), de leur emplacement d'origine à un endroit de "dépôt" à l'aval. (Houbib, 2013).

L'érosion est un processus naturel qui abaisse toutes les montagnes, mais en même temps, engraisse les vallées, forme les riches plaines qui nourrissent une bonne partie de l'humanité. Il n'est donc pas souhaitable d'arrêter au complet L'érosion, mais de la réduire à un niveau acceptable et tolérable (Graf, 2000).

Les causes de l'érosion sont multiples, la susceptibilité des sols(le relief, nature géologique, le couvert végétal...) l'intensité et l'agressivité des pluies qui constitue principaux facteurs permettant l'estimation des volumes érodés lors d'un événement pluvieux (Remaoun, 1996)

### I.2.1. Types d'érosions:

Deux éléments sont à l'origine des phénomènes d'érosion : l'eau (érosion hydrique), et le vent (érosion éolienne). Sous leurs actions, des particules de terre ou des matières organiques se déplacent, emportées d'une petite partie à l'autre vers le bas des pentes et les cours d'eau.

#### ➤ Erosion hydrique :

Le volume et l'intensité des précipitations jouent tous deux un rôle important dans les processus d'érosion par suite de leur effet dans la dynamique du détachement des particules des sols sans protection et du maintien en mouvement des particules par l'écoulement

L'érosion hydrique peut se manifester par plusieurs formes :

**a) Erosion en nappe :**

Elle est caractérisée par une eau de ruissellement sans griffes ou rigoles visibles. Sous l'effet de l'impact des gouttes de pluies (effet splash), les particules sont arrachées et transportées. Ce phénomène est observé sur les pentes faibles où l'eau ne peut pas se concentrer. Dans un premier temps, c'est l'impact des gouttes qui va arracher les particules. La battance des gouttes de pluie va envoyer des gouttelettes dans toutes les directions. Seulement, sous l'effet de la gravité les gouttelettes auront une vitesse plus importante vers l'aval que vers l'amont (Lagacé, 2011).

Ce type d'érosion s'effectue sur toute la surface du sol. A la surface des terres agricoles, forestières ou à pâturages, les particules de sol sont détachées par la pluie et emportées par le ruissellement. Quantitativement, l'érosion en nappe est très modeste en Algérie, les pertes en terres estimées par ce type d'érosion sont de 0,10 à 20 t/ha/an (Lagacé, 2011).

**b) Erosion linéaire :**

Cette forme d'érosion se manifeste dès que les filets d'eau diffus se concentrent sur des lignes de plus forte pente et exercent ainsi sur le sol une force de cisaillement permettant de creuser des formes de plus en plus profondes dans le sol en arrachant des particules de plus en plus grosses: graviers, cailloux voir des blocs, de petits canaux naissent que l'on peut diviser en trois types : griffes (quelques centimètres de profondeur), rigoles (la profondeur dépasse 10 cm ) , ravines (quelques mètres ) (Lagacé, 2011).

✓ **Erosion en griffes et rigoles :**

L'écoulement se concentre davantage pour créer son passage sous forme de griffes d'abord ensuite l'eau de ruissellement vient renforcer l'agrandissement de cette forme par des incisions bien définies faisant apparaître des rigoles quoique petite à la surface de la terre.

✓ **Erosion en ravine :**

L'érosion en ravine c'est la dissection de la surface du sol par un chenal profondément découpé dans les terres se formant à l'aval d'un bief non incisé et créant ainsi une rupture de pente brutal.

Lors d'averses exceptionnelles le ruissellement de sols limoneux encroutés en permanence peut augmenter de 15 à 60-90 %. Les ravines acquiert des tailles de l'ordre du mètre lors d'événements exceptionnels, les mouvements de masse sont importants lorsque les roches argileuses affleurent (Lagacé, 2011).

**c) L'érosion pluviale :**

L'érosion pluviale est l'aspect le plus important de l'érosion au Nord de l'Algérie et précisément l'érosion par ruissellement dû aux eaux de pluie et surtout à la suite des averses torrentielles.

Ce type d'érosion découpe les horizons supérieurs du sol progressivement et sa force augmente avec l'intensité de la pluie et la longueur du bassin versant. Cette force d'érosion diminue avec l'importance des obstacles rencontrés (Lagacé, 2011).

**d) Erosion des Berges :**

Ce type d'érosion se manifeste au niveau des talwegs principaux ainsi, dite verticale, résultant de l'attaque des matériaux du sol au niveau des berges et du lit d'Oued (AAC et al, 2008).

Lorsque les matériaux composant la berge ne peuvent plus résister aux forces gravitationnelles il provoque le glissement des talus. Ce mécanisme survient plutôt dans des sols cohésifs qui sont capables de retenir de grandes quantités d'eau, ce qui ajoute du poids à la berge et réduit les forces de cohésion entre les particules. Donc le talus devient encore plus sensible au décrochement (CUMPS, 2008)

**➤ Erosion éolienne**

Le pouvoir érosif du vent, comme celui de l'eau, croît de façon exponentielle avec la vitesse, mais contrairement à l'eau, le vent n'est pas affecté par la gravité. En revanche, la course du vent - l'espace qu'il peut parcourir sans rencontrer d'obstacles détermine sa vitesse et donc son pouvoir érosif. Le vent n'est en effet «efficace», c'est-à-dire capable d'arracher et d'emporter des particules solides, qu'à partir d'une certaine vitesse.

Au-dessous de 12 à 19 km/h à 1 m au-dessus du sol, il est rare que l'énergie éolienne soit suffisante en surface pour emporter des particules de la taille des grains de sable. Lorsque la vitesse du vent dépasse 15 à 25 km/heure, trois phénomènes sont provoqués

**a. la *saltation*** : La compétence du vent, c'est-à-dire sa capacité à soulever et à transporter des débris, se limite aux particules fines : argile, limon, sable, cendre, poussières. Les sables grossiers (0,5 mm à 1 mm) sont déplacés par roulage. Les sables moyens (0,1 mm à 0,5 mm) effectuent des bonds successifs jusqu'à 2 m de hauteur (saltation).

**b. La *déflation*** : C'est l'arrachement de particules par le vent, est un processus efficace susceptible d'évider des cuvettes dans les roches meubles ; elle concerne Les particules inférieures à 0,08 mm qui sont emportées en suspension. Ces poussières sont aspirées par les

tourbillons jusqu'à plusieurs milliers de mètres d'altitude pour être ensuite dispersées sous forme de brume sèche ou pour circuler sous forme de nuage sur plusieurs milliers de kilomètres.

**c. La reptation :** Les grains de sable (0,5 à 2 mm), trop lourds pour être aspirés en altitude, sont déséquilibrés par les bourrasques du vent, roulés et traînés à la surface du sol jusqu'en haut des dunes qui progressent ainsi de quelques mètres par heure de vent violent.

### **I.2.2. PARAMETRES INFLUENÇANT L'ÉROSION:**

Plusieurs agents influent directement ou indirectement sur le processus de l'érosion du bassin versant. La pluie torrentielle est l'agent principal du phénomène.

La multiplicité des facteurs qui causent l'érosion exige une prise de connaissances de leurs effets directs sur le processus de l'érosion. Le climat, les facteurs géologiques et pédologiques, les facteurs topographiques et autres ont tous leur influence sur ce processus.

- **Le climat :**

Les changements de température, la hauteur de précipitation et le vent ont des effets prépondérants sur l'altération mécanique, la pluie est essentiellement à l'origine de l'érosion par son impact sur les particules du sol qu'elle détache ainsi que des matériaux de surface. Il s'ensuit par conséquence que l'intensité de la pluie est un facteur clé pour déterminer la quantité des sédiments arrachés au sol. Une fois les particules détachées, la quantité de pluie qui ruisselle détermine le mouvement des sédiments des interfluves vers le réseau hydrographique. Les autres facteurs climatiques exerçant une influence sur l'érosion des sols par la pluie et les ruissellements sont, la température, les variations saisonnières des orages, leur localisation, leur fréquence et le régime des vents. L'influence du climat sur l'érosion est difficile à évaluer à cause des variations des paramètres climatiques, aussi bien que de celle des autres caractéristiques des bassins versants.

- **La topographie :**

Les facteurs topographiques essentiels sont la pente du bassin versant, le relief, la densité de drainage, l'importance des vallées et des plaines d'inondation, l'orientation et la taille du bassin. Les fortes pentes avec un écoulement rapide sont généralement à l'origine d'une érosion excessive dont l'importance dépend de la géologie des sols et de la protection de la couverture végétale. Le relief d'un interfluve est défini comme étant la dénivelée entre point haut et point bas divisée par la distance en ligne droite entre ces deux points. L'orientation du bassin influence l'érosion car dans

l'hémisphère Nord, les pentes exposées au sud s'érodent plus rapidement que celles exposées au Nord (Henensal, 1986) et (UNESCO 1989). (Lagacé ., 2011).

La taille du bassin versant est le facteur le plus communément utilisé pour l'estimation de l'érosion spécifique.

- **La Géologie et pédologie :**

Ce sont les facteurs géologiques relatifs aux roches de surface qui sont importants en matière d'érosion. Si les roches sont exposées à la pluie, au vent et aux forces de gravités, il peut y avoir désagrégation. La répartition granulométrique des sols, leur perméabilité, la présence de certains éléments chimiques et matières organiques, conditionnent l'érodabilité des sols et tous les chercheurs ont mis en évidence les trois propriétés essentielles pour déterminer l'érodabilité (Henensal, 1986).

- 1) La teneur en argile et limon.
- 2) La matière organique qui assure la cohésion.
- 3) Les caractéristiques minéralogiques et chimiques des sols qui ont un rapport avec la cohésion du sol.

- **Le couvert végétal :**

Un bon couvert végétal limite l'érosion en dissipant l'énergie de pluie, favorise l'infiltration et s'oppose à toutes les formes d'érosion. Le couvert végétal peut être classé en trois types généraux : végétation arbustive des zones désertiques, prairies et forêts. (Lagace ., 2011).

- **L'occupation du sol :**

L'occupation des terres, sauf en des lieux éloignés et inhabités est en rapport direct avec les activités humaines qui sont : l'agriculture, l'élevage, les exploitations minières, l'abattage du bois, la construction de routes et l'urbanisation, vu la suppression de la végétation; entraînent une modification de la densité du couvert végétal qui agira sur les phénomènes d'érosion. Certaines modifications de l'occupation des terres peuvent ne pas modifier l'érosion ou même la réduire comme l'aplatissement d'une zone fortement ravinée.

### **I.2.3. QUANTIFICATION DE L'EROSION :**

Plusieurs formules et méthodes qui impliquent tous les paramètres physiques sont utilisées pour la quantification de l'érosion hydrique.

#### **a) Formule de Wischmeier et Smith (1978) :**

La moyenne annuelle des pertes de terres par hectare (A) est déterminée à partir de plusieurs facteurs. La formule : (I.2)

$$A = R \cdot K \cdot Ls \cdot C \cdot P \dots\dots\dots (I.4)$$

A : Perte de terre (T/Ha).

R : Indice - pluie caractérisant l'agressivité de la pluie en T/Ha.

K : Indice - sol mesurant la plus ou moins grande susceptibilité du sol à l'érosion.

Ls : Indice- pente, permettant de comparer les conditions topographiques locales à des conditions standards.

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

P : Indice- remède de conservation du sol. (Lagacé, 2011)

Cette équation a été appliquée dans l'Est de l'Algérie et a montré la gravité du problème de l'érosion et a déterminé les périodes où l'érosion est intense. Les dégâts graves et intenses causés par l'érosion hydrique au fil des siècles ont poussé l'homme par le biais de différentes formules empiriques à quantifier les pertes en sols, ces formules restent toujours à utiliser avec précaution du fait de leurs limites d'application (Bouguera, 2014).

**b) Formule de Fournier (1960) :**

Cette formule est représentée sous la forme :

$$Ass = \frac{1}{36} \left[ \frac{P_m^2}{P_{am}} \right]^{2,65} \cdot \left[ \frac{H_m^2}{S} \right]^{0,46} \dots (I.5).$$

Avec :

Ass : apport solide spécifique (t/km<sup>2</sup>/an)

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

Pam : précipitations moyennes annuelles (mm).

Hm : dénivelée moyenne (m).

S : superficie du bassin versant (km<sup>2</sup>).

Il existe d'autres formules citées en (Benaïcha, 2011) permettant de quantifier l'érosion

**La Formule de Henin (1950), Formule de Gavrilovic (1960), Formule de Tixeront (1960), Formule de Poliakov.**

**I.2.4. METHODES DE DEFENSE CONTRE L'EROSION ET LA SEDIMENTATION :****• au niveau du bassin :**

Les procédés de lutte contre l'érosion peuvent être classés comme suivante : (procédés agrotechniques, restauration des forêts, et procédés hydrotechniques) (UNESCO, 1986).

**a) Procédés agrotechniques :**

Les procédés agricoles sont de deux sortes : procédés généraux et procédés spéciaux.

Un des procédés agrotechniques les plus efficaces est le choix de cultures adaptées, en tenant compte de leur capacité à protéger le sol. Les herbes forment une couche fixant le sol, restaurant sa structure, améliorant la capacité d'absorption et réduisant l'érodibilité. Une autre méthode de protection consiste à cultiver selon des directions perpendiculaires à l'écoulement, parallèles aux courbes de niveau.

Une technique qui se répand largement dans le monde et l'utilisation de techniques culturales conservatives. Cette méthode, consistant à réduire les perturbations du sol ou à ne pas le retourner du tout, en retenant ainsi en surface les débris végétaux, aide à réduire l'érosion du sol.

L'usage rationnel des engrais sur les sols érodables stimule la croissance des plantes, y compris de leur système racinaire, ce qui contribue aussi bien à protéger le sol qu'à obtenir de forts rendements (UNESCO, 1986)

***Restauration des forêts :***

Lorsque la reforestation est possible, c'est un moyen efficace de conservation des sols.

Les différents types de plantation ci-après sont particulièrement importants :

- Ceintures forestières sur les terres agricoles pour régulariser le ruissellement, améliorer l'infiltration et protéger de l'érosion éolienne. Elles réduisent la vitesse du vent et améliore le micro-climat ; elles contribuent à la rétention de la neige, réduisent l'écoulement accroissent l'humidité du sol. Les forêts réduisent ainsi les effets des facteurs de l'érosion.

Les ceintures forestières sont très efficaces lorsqu'elles sont plantées en lignes perpendiculaires au ruissellement (le long des courbes de niveau). L'écoulement peut alors être dispersé et l'infiltration favorisée.

Bande de forêt et bouquets d'arbres à l'intérieur du réseau hydrographique (dessin des chenaux d'écoulement) le long des ravines pentues et des vallées soumises à une forte érosion (UNESCO, 1986)

**b) Procédés hydrotechniques :**

Les procédés hydrotechniques de protection comportent certains types de structures et ne sont utilisés que si cela se justifie économiquement, ou si d'autre procédé se sont révélés inefficaces. Ces procédés comprennent les fossés d'infiltration avec banquettes, les barrages de rétention avec de grandes surfaces de retenue, des terrasses le long des courbes de niveau, des ouvrages de retenue et de diversion au sommet des ravines, différents types d'épandeurs de crue, des terrasses et des dispositifs de stabilisation de l'écoulement.

Diversion et épandage de l'écoulement sont des techniques efficaces pour empêcher la formation et le développement des ravines ; un épandeur peut comporter un talus de 0,4 à 0,6 (m) de haut et un sillon de diversion. (UNESCO, 1986).

- **au niveau de cours d'eau :**

Erosion, transport solide et dépôts sont des phénomènes naturels permanents dans les cours d'eau. Dans le haut des bassins, les cours d'eau sont pentus et les vitesses sont élevées.

**a) Revêtement de surface des berges :**

Le mode de protection des berges le plus courant et la mise en place d'un revêtement de protection fait d'un matériau résistant à l'érosion comme les enrochements, le béton, etc... et déposé directement sur le talus de la berge, nécessitant en général une protection au pied de la berge sous l'eau. On peut subdiviser ces revêtements en plusieurs types : rigide, flexible et auto-ajustable (UNESCO, 1986).

**b) Freinage de l'écoulement :**

On peut obtenir un freinage de l'écoulement en mettant en place des structures perméables parallèlement à la base des berges. La diminution, localement de la vitesse réduit les risques d'érosion et facilite, lorsque les conditions sont favorables, le dépôt des sédiments et la croissance de la végétation le long des berges. Les ouvrages de ce genre comprennent les dispositifs suivants : (Tétraèdres d'acier, tétraèdres de béton, chevalets en bois, chevalets en acier, palissades, alignement de poteaux) (UNESCO, 1986).

**c) Aménagements hydrauliques :**

Les barrages modernes et autres ouvrages hydrauliques sont souvent de très grande taille, nécessitant la maîtrise de débits très élevés sous une forte charge. On doit mettre en place des dispositifs efficaces pour dissiper l'énergie des écoulements à grande vitesse pour empêcher des affouillements indésirables du lit à l'aval de l'ouvrage. Les dispositifs de dissipation de l'énergie

utilisent les frictions externes entre eau et lit ou entre eau et air, ou les frictions internes et la turbulence. L'énergie cinétique est transformée en turbulence et finalement en chaleur (UNESCO, 1986).pour assurer l'aménagement dans ce cas nous utilisons les procédés suivants :

○ **Bassin de tranquillisation :**

Ce sont des ouvrages où l'on dissipe l'énergie. Ils sont disposés au pied des chutes ou déversements afin de dissiper l'énergie avant que l'eau rejoigne à l'aval le lit naturel du cours d'eau. Les bassins peuvent avoir une forme rectangulaire simple ou bien conique et sont éventuellement munis de redans, de déflecteurs et autres dispositifs annexes.

○ **Sauts de ski et dissipateurs des barrages-voûtes:**

Ces ouvrages l'air pour dissiper l'énergie. L'eau est projetée en l'air soit à travers un orifice du barrage voute ou par l'extrémité profilée d'un déversoir. Dispersion de l'eau et dissipation de l'énergie se produisent avant que l'eau projetée n'atteigne le lit non protégé du cours d'eau. Dans certains cas il peut être nécessaire de placer de gros rochers anguleux ou d'autres dispositifs pour empêcher l'érosion du lit (UNESCO, 1986).

### **I.3. TRANSPORT SOLIDE :**

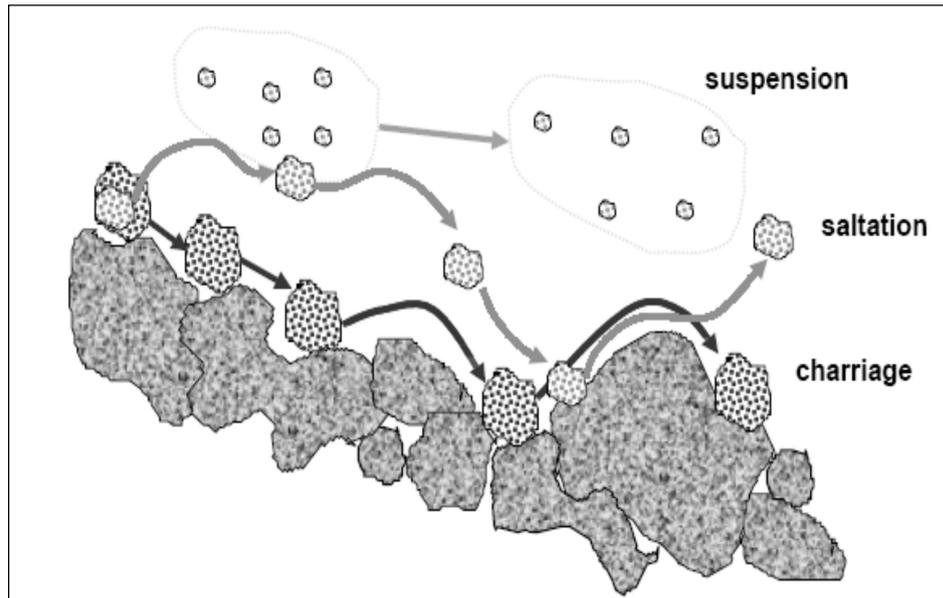
Le transport solide dans un cours d'eau représente la seconde phase de l'érosion. L'eau trouve la puissance nécessaire pour ce transport dans la perte de charge qu'elle subit, ensuite, elle met en jeu deux types de mécanismes : le charriage et la suspension, qui sont les deux types principaux du transport solide (figure I.6).

La répartition entre ces deux mécanismes dépend essentiellement de la dimension des matériaux, rapportés à la vitesse de l'eau et la turbulence de l'écoulement. En tout point d'une rivière, l'alimentation en débit solide est définie par les caractéristiques hydrologiques de son bassin versant (Bouvard, 1984).

Le rapport entre la vitesse d'écoulement sur le lit du cours d'eau  $V$  et la vitesse de chute des particules  $W$  est une valeur indicative permettant de délimiter les deux modes de transport, (Henensal, 1986).

$$\frac{V}{W} > 0.1 \quad \dots\dots\dots \text{Début du transport par charriage,}$$

$$\frac{V}{W} > 0.4 \quad \dots\dots\dots \text{Début du transport en suspension.}$$



**Figure I.6.** Mode de transport des sédiments (Bouvard, 1984)

### I.3.1. TRANSPORT PAR CHARRIAGE (BED LOAD):

Le transport par charriage est l'un des principaux types de transport solide dans un cours d'eau, il concerne les plus gros éléments qui contribuent à formation et à l'équilibre du lit, principalement la pente.

Ces éléments sont transportés sur le fond par roulement, glissement et par saltation, la direction du mouvement est en gros parallèle au fond et les accélérations verticales sont faibles

Il est difficile de donner une définition universelle acceptable de la charge de fond, mais EINSTEIN a dressé une liste de caractéristiques qui y sont généralement associées (Machane, 1996), (Bouvard, 1984):

- 1) A l'échange de particules, permanent et intense entre la charge de fond en mouvement et le lit.
- 2) 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
- 3) 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.

4) Les vitesses de déplacement des différentes particules varient selon qu'elles se déplacent plus ou moins souvent. (Merle, 1989), (Bijillon, 2001), (Bouvard, 1984).

- **Description du phénomène :**

Sur le lit des matériaux sans cohésion, les grains isolés sont soumis aux forces de pesanteur et aux forces hydrauliques (Bouvard, 1984), (Bijillon, 2001).

- Les forces de pesanteur sont des forces stabilisatrices.
- Les forces hydrauliques sont des forces déstabilisatrices (traînée et portance) dues à l'écoulement.

La grandeur physique explicative de ce mode de transport (charriage) est la contrainte hydrodynamique critique «  $\tau_c$  ». Donc les grains constituant l'interface solide – liquide, ayant un poids et un coefficient de frottement fini ; il ne peuvent être mis en mouvement par l'action du fluide que si la contrainte sur le fond «  $\tau$  » dépasse la valeur de la contrainte critique «  $\tau_c$  ». Ce mouvement de granulats se traduira par un transport sur le fond dans le sens de l'écoulement.

La contrainte (composante longitudinale du poids de l'eau) sur le fond de la rivière (Bouvard, 1984), (Bijillon, 2001), (Chikita, 1996), (Keller, 1993), est exprimé par:

$$\tau = \rho \cdot g \cdot R_h \cdot J \dots \dots \dots (I.6)$$

$J$  : perte de charge régulière de l'écoulement.

$R_h$  : Rayon hydraulique.

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

Des critères ont été émis à ce sujet, nous citons parmi eux celui de Meyer-Peter et Muller (1948) et celui de Parker (1982) cités par (Terfous, 2002).

- $\tau < 0,03$  Pas de mouvement
- $0,03 < \tau < 0,047$  apparition des premiers mouvements sans avoir de débit solide

**I.3.2. TRANSPORT PAR SUSPENSION (SUSPENDED LOAD) :**

Le transport par suspension est le deuxième type de transport solide dans un cours d'eau. Il concerne les éléments fins, qui progressent dans le sens du courant au sein même du liquide.

Ces éléments fins du transport solide sont maintenus en suspensions par la turbulence et la quantité de ces matériaux dépend essentiellement des éléments fins; qui proviennent de l'érosion du bassin versant, suite au ruissellement des eaux de pluies (Olivero et al, 1989).

- **Description du phénomène :**

Au fur et à mesure que la vitesse du courant s'accroît dans le cours d'eau, l'intensité de la turbulence et l'épaisseur de la couche limite turbulente s'accroissent également. On arrive finalement à un stade où les particules en saltation atteignent une hauteur au-dessus du fond où les forces ascensionnelles fluctuantes dues à la turbulence dépassent le poids des particules.

A partir de ce moment, les particules ne suivent plus une trajectoire définie ; mais elles suivent des trajectoires aléatoires dans l'épaisseur du fluide.

La formule de W. KRESSER cité en (Bouchelkia, 2000), (Benhaddji et al, 1994), (Terfous, 2002) et (Boukarta et al, 1995), définit le critère d'apparition des phénomènes de suspensions qui consiste à définir la vitesse « U » d'écoulement du liquide, par laquelle la poussée de ce dernier sur les grains de diamètre « D » permet la mise en suspension des grains quartzeux de 0.2 à 0.85 millimètres de diamètre dans des écoulements naturels de rivières.

$$U^2 = 360 \cdot g \cdot D \dots\dots\dots(I.7)$$

Puisque :  $U = c \cdot \sqrt{h \cdot J} \dots\dots\dots(I.8)$  et  $\tau = \gamma \cdot J \cdot h \dots\dots\dots(I.9)$

On pourra la mettre sous la forme :

$$\tau = 360 \cdot (\gamma \cdot g / c^2) \cdot D \dots\dots\dots(I.10)$$

$\tau$  : Tension tangentielle de l'écoulement correspondant à l'apparition de la suspension.

$\gamma$  : Poids volumique du liquide.

$c$  : Coefficient de CHEZY.

$h$  : Hauteur du liquide.

$J$  : perte de charge régulière (pente de la ligne d'énergie).

**I.3.3. MESURE DU TRANSPORT SOLIDE DANS LES COURS D'EAU :**

La quantité du débit solide transportée par un cours d'eau sur une section donnée pendant un temps  $\Delta t$  est partagée en deux composantes : la charge en suspension (suspended load) et du transport de fond (glissement ou roulement sur le fond et saltation). La mesure de la quantité du transport solide peut se faire suivant les étapes ci-après :

- **Collectes d'échantillons à hauteur d'une section de mesure** pour suivre dans le temps les variations du transport solide, puis mesures par filtration au laboratoire.
- **Levers topographiques et bathymétriques** de lacs ou de retenues artificielles pour évaluer l'apport global de sédiments pendant une période déterminée (entre deux instants connus).
- Utilisation de traceurs de sédiment ou d'éléments dont les signatures permettent d'étudier surtout les taux de sédimentation. (Balayn, 2001), (Fournier 1967), (Musy, 2005)

**I.3.3.1. Mesure du transport en suspension :**

En pratique, on mesure une concentration en Matières En Suspension (MES) qui correspond à la quantité de matériaux en suspension recueillie à travers une membrane poreuse (la taille moyenne des pores est en général de  $0,2 \mu\text{m}$ ). Elle s'exprime en milligrammes par litre d'eau brute.

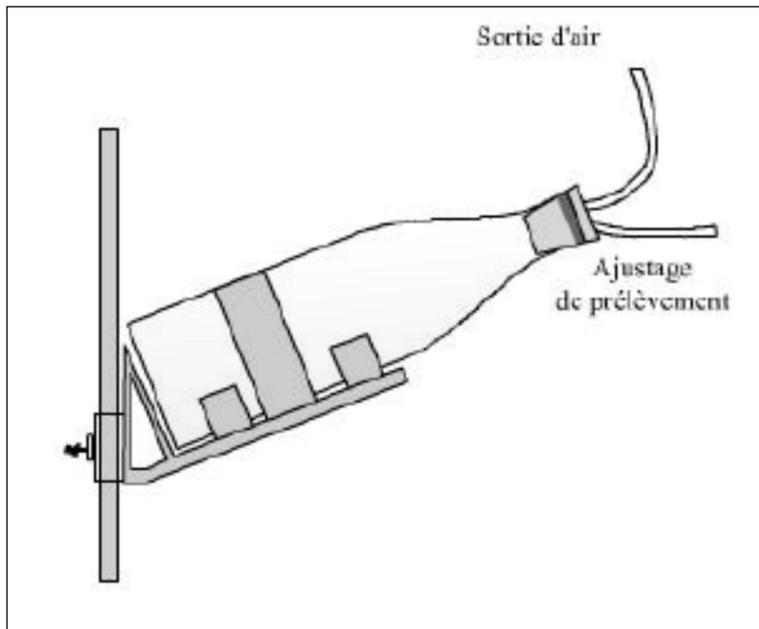
Cette opération nécessite un matériel de prélèvement adapté aux caractéristiques de la section de mesure. L'échantillonnage intensif avec des pompes automatiques ou, de manière indirecte, avec l'installation de turbidimètres, permet le contrôle en continu de la charge solide (Malavoi, 2005), (PNUE, 1998)

**a. Matériel de prélèvements :**

Outre les prélèvements manuels réalisés dans des récipients généralement en polypropylène, il existe du matériel de prélèvements plus ou moins automatisé qui peut être classé en trois catégories principales :

- ✓ **Les préleveurs instantanés**: Ils sont constitués d'un récipient largement ouvert qui peut se refermer, de façon quasi instantanée, au moyen d'une commande appropriée.
- ✓ **Les préleveurs à pompe**: Un embout formé d'un tube métallique faiblement coudé, fixé sur un lest ou une perche, permet d'effectuer, à l'aide d'un tuyau flexible et d'une pompe, des prélèvements en divers points de la section de mesures.

✓ **Les préleveurs par intégration** - Ils prélèvent des échantillons durant un intervalle de temps suffisamment long pour atténuer les fluctuations de concentrations. Ils peuvent selon les modèles, fonctionner point par point ou par intégration le long d'une verticale. Dans ce dernier cas l'échantillon recueilli permet de mesurer la concentration moyenne pondérée par les débits sur toute une verticale. Le plus simple d'entre eux est constitué d'une bouteille à large col fixée à une perche (figure I.7) (Musy et al, 2004).



**Figure. I.7.** Bouteille de prélèvements fixée sur une perche avec système d’ajustage (Musy, 2005).

**b. Calcul du débit solide en suspension**

En considérant la section "s" d'un cours d'eau de largeur L, chaque verticale peut être définie par son abscisse (distance à l'une des 2 rives), et sa profondeur totale P. Si en un point d'une verticale, situé à la profondeur p, sont mesurées à la fois la vitesse du courant V et la concentration C de matériaux en suspension, le débit solide sur la surface "ds" de la section "s" s'écrit :  $q_s=C.V.ds$ . Le débit solide total sur l'ensemble de la section S s'obtient par intégration (in Bouchelkia, 2009). :

$$Q_s = \iint_S q_s = \iint_S C \cdot V \cdot ds = \int_S C \cdot V \cdot dl \cdot dp \dots\dots\dots(I.11)$$

Avec :  $Q_s$  : débit solide du cours d'eau [kg/s] ;

La concentration moyenne dans la section est définie par le rapport :

$$C_m = Q_s / Q_L \dots\dots\dots(I.12)$$

$$Q_L \text{ Le débit liquide total sur la section } s : Q_L = \iint_s V \cdot ds \dots\dots\dots(I.13).$$

Cette méthode de mesure de la quantité de sédiments transportés par un cours d'eau est évidemment très coûteuse. Les mesures sont donc généralement simplifiées. Elles sont surtout utiles pour valider les protocoles d'échantillonnages des réseaux de surveillance du transport en suspension.

### *c. Mesures en continu*

L'échantillonnage en continu est en fait basé sur deux types de mesures :

- **Mesure des matières en suspension** : à l'aide de préleveur d'échantillon automatique réglé pour un certain pas de temps. Ce type d'instrument comprend un dispositif de programmation, une pompe, un tuyau d'aspiration et de transfert entre la crépine (au bout) et la série de flacons. Pour être significatifs, les prélèvements doivent être proportionnels au débit ou effectués à des intervalles de temps prédéterminés lorsque le débit est constant. Si le débit est variable, on peut coupler le préleveur à un débitmètre. Dans ce cas, le préleveur peut être programmé pour fonctionner selon un volume prédéterminé.
- **Mesure de la turbidité** : à l'aide de turbidimètres. La turbidité correspond à la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de particules en suspension. Elle se mesure en faisant passer un faisceau lumineux à travers l'échantillon à tester et en déterminant la lumière qui est diffusée par les particules en suspension. Cette mesure nécessite en générale un calibrage préalable. Les appareils de mesure de turbidité (turbidimètres) sont très nombreux sur le marché tel que :

**La Turbidisonde** (figure I.8) se compose d'un corps métallique de forme aérodynamique doté d'ailettes de queue pour s'orienter selon le courant. Un tuyau collecteur de diamètre approprié émerge de la tête du moulinet. Un tuyau d'échappement orienté vers l'aval permet d'évacuer l'air du récipient qui se trouve dans le corps métallique. L'opérateur commande

électriquement des soupapes placées en tête pour déclencher et interrompre l'échantillonnage (PNUE, 1998)

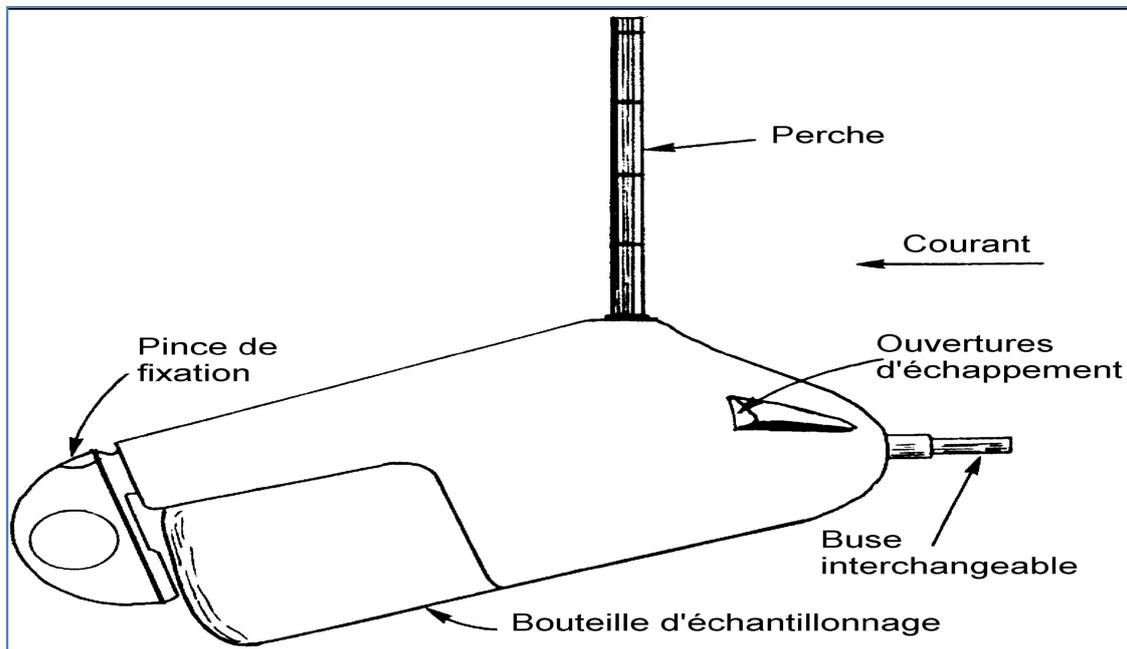


Figure I.8. Turbidisonde (PNUE ,1998)

*La Jauges optiques, à ultrasons ou nucléaires* (figure I.9) constitue une méthode de détermination sur place de la concentration de sédiments en suspension. Le faisceau de rayons lumineux, de rayons-X, d'ultra-sons ou de radiations nucléaires émis par une source d'intensité constante est dispersé et/ou absorbé par les particules en suspension. La diminution de l'intensité du faisceau mesurée par un détecteur ou capteur approprié situé à une distance constante de la source est proportionnelle à la concentration des sédiments à condition que les autres caractéristiques de l'eau et des sédiments (composition chimique, minérale), restent inchangées.

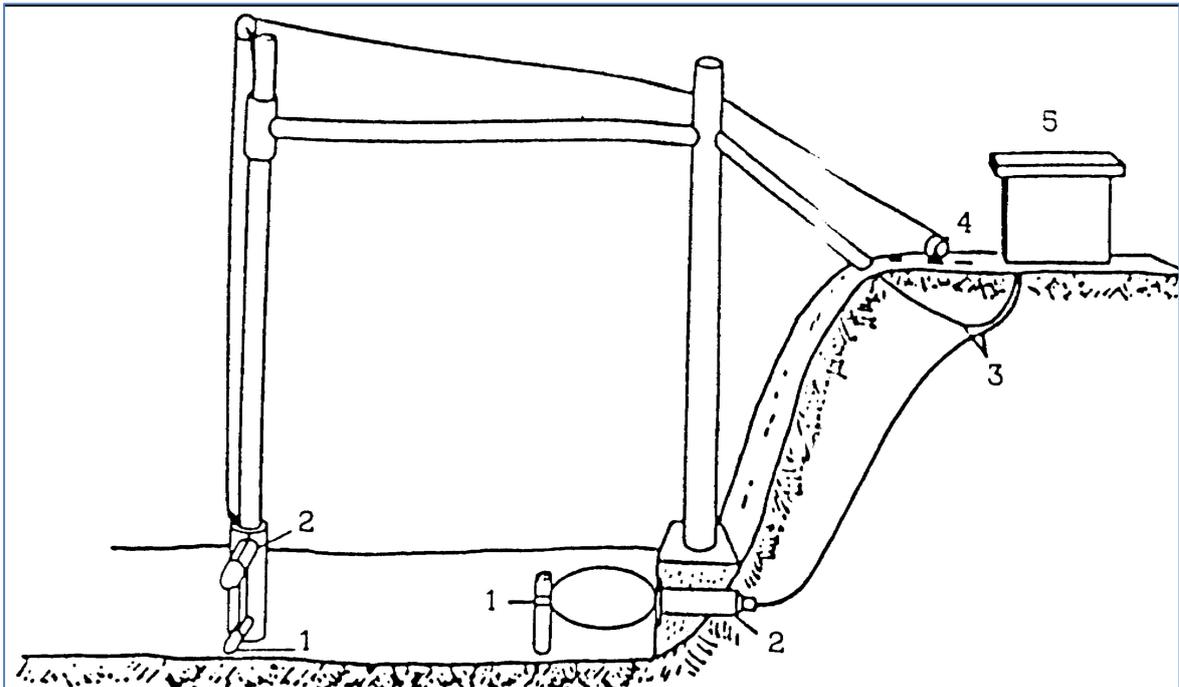


Figure I.9. Schéma d'une jauge (PNUE ,1998)

### I.3.3.2 .Mesure du transport de fond :

Depuis près de 50 ans, de nombreux chercheurs ont tenté de mettre au point des échantillonneurs de charge alluviale de fond (charriage). Il en existe aujourd'hui de nombreux types Parmi les équipements de mesures actuellement disponibles on peut décrire très sommairement :

- **Les nasses** : constituées d'une poche de grillage montée sur un cadre métallique qui laisse passer les matières en suspension, mais retiennent les matériaux grossiers. Le plus connu et le plus utilisé dans le monde est le préleveur Helley-Smith (Figure I.10) dont il existe de nombreux modèles, fonction notamment de la granulométrie des sédiments à prélever et des vitesses d'écoulement (Malavoi, 2005).

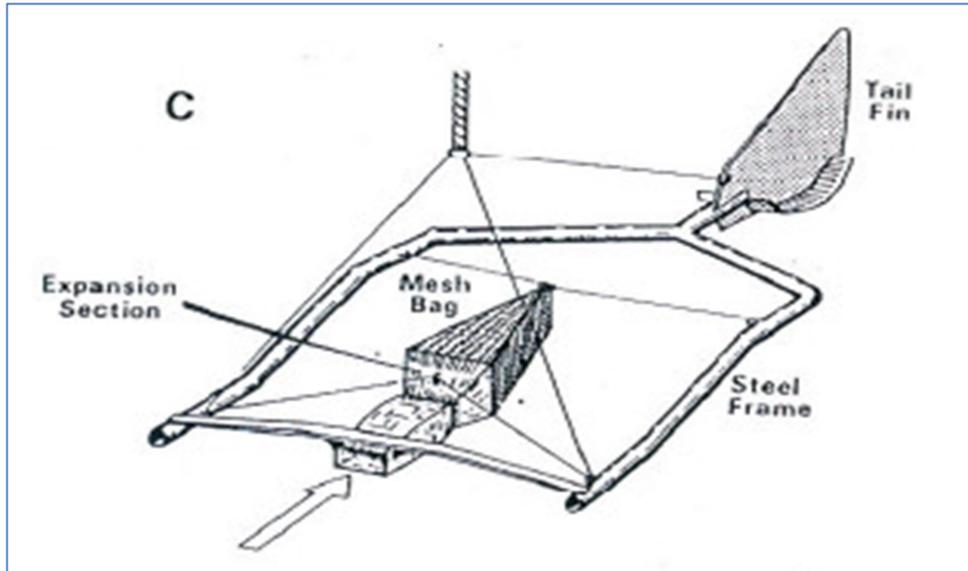


Figure I.10. Exemples d'échantillonneurs Helley- Smith (Malavoi, 2005)

- **Les pièges** : constitués de récipients très aplatis de section longitudinale triangulaire dont le bord correspondant au sommet du triangle est dirigé vers l'amont. A l'opposé dans la partie supérieure aval du récipient, une série de petites cloisons inclinées vers l'aval constitue le piège (Figure I.11) où viennent se prendre les matériaux (sable essentiellement) (Malavoi, 2005) .

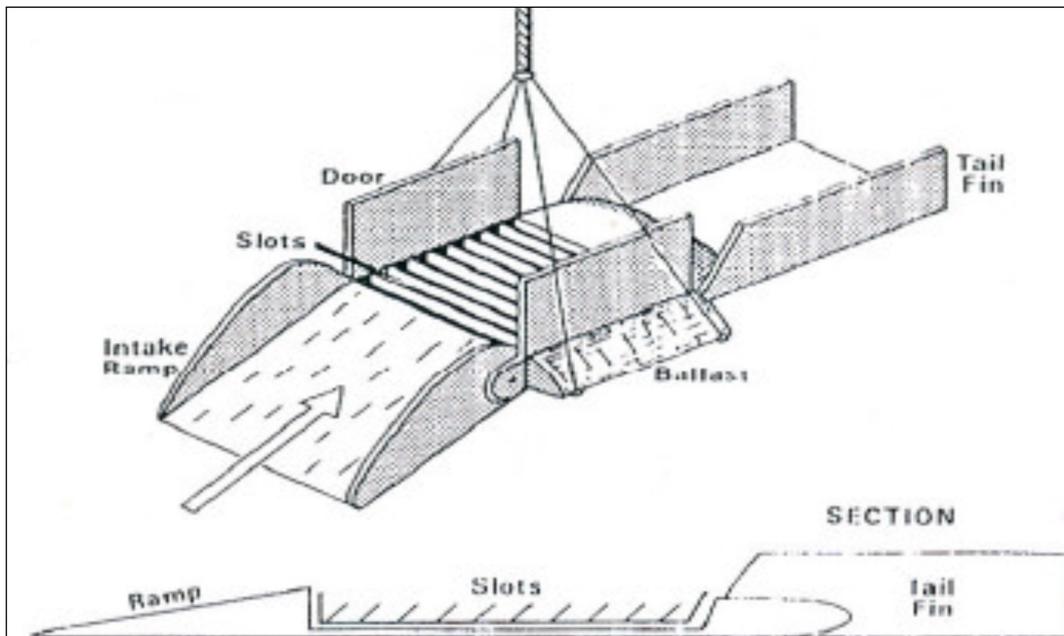


Figure I.11. Echantillonneurs de charge de fond (piège) (Malavoi,2005).

- **Les sondeurs à ultrasons** permettent de suivre le déplacement des dunes dans les fonds sableux à faibles pentes.

Hors des parcelles et des petits bassins versants dont les exutoires peuvent être équipés de pièges ou de fosses à sédiments, la mesure du transport de fond reste imprécise. Les dispositifs communément utilisés perturbent en effet de manière non négligeable le régime du transport de fond.

Quel que soit le type d'échantillonneur utilisé, ce principe de mesure de la charge de fond en transit pose de nombreux problèmes). (Malavoi, 2005) .

Suivant le lieu de mesure (généralement un transect perpendiculaire à l'écoulement général), on peut ne rien mesurer ou mesurer un transport énorme (si l'on est dans la zone de propagation journalière de la dune).

⇒ Une bonne stratégie d'échantillonnage est donc fondamentale

- Il est inadapté aux grands cours d'eau car les échantillons sont très petits (quelques litres alors que le débit solide journalier peut être de plusieurs centaines voire milliers de m<sup>3</sup>)

#### **I.3.4. QUANTIFICATION DU TRANSPORT SOLIDE EN ALGERIE :**

Plusieurs modèles sont utilisées pour estimer la quantité du transport solide en Algérie, nous citerons les plus appliqués :

##### **I.3.4.1. Model de TIXERONT (1960):**

Des corrélations sont établies entre l'apport moyen annuel liquide et l'apport moyen solide ; qui a été établi à partir de données d'observation de 32 bassins versants Algérien et .09 bassins Tunisien dont les superficies varient entre 90 a 22300 Km<sup>2</sup> . cité en Khentouche, (2005)

$$Q_{S1} = a \cdot A^b \quad ((\text{Tonne/ Km}^2/\text{an})\dots\dots\dots\text{I.14})$$

#### **AVEC:**

$$b = 0.15$$

A: lame d'eau ruisselée en mm/an

a : coefficient empirique qui varie en fonction de la perméabilité

a= 805 a 74 dans le cas d'une perméabilité élevée

a= 75 à 349 pour une perméabilité moyenne a faible

a= 1400 a 3119 pour une faible perméabilité

à supérieur a 3200 quand c'est imperméable

**1.3.4.2. Model de SOGREAH (1969)**

Ce modèle est inspiré de celui de TIXERONT, dont l'apport moyen est remplacé par le ruissèlement de crues « Rc »

$$Q_{S1} = a \cdot Rc \quad (\text{Tonne/ Km}^2/\text{an}) \dots \dots \dots \text{I.15}$$

Rc: Ruissèlement annuel moyen de crue (mm)

a : coefficient empirique qui varie de 3.3 a 3200 selon la perméabilité du bassin. cité en Bouchelkia (2009):

**1.3.4.3. Model de DEMMAK :**

Ce model établi a la base de données de 30 bassin versants, concernant le transport solide en fonction de la lithologie, le pourcentage et la fréquence des précipitations journalières et la densité de drainage du réseau hydrographique. (Demmak, 1982) .

$$QS1 = 26,62 \cdot IL + 5,07 \cdot IP + 9,77 \cdot CT - 593,56 \dots \dots \dots \text{I.16}$$

$Q_{S1}$  : Transport solide spécifique moyen annuel en Tonne/ Km<sup>2</sup>/an

IL : indice lithologique qui est égale au produit des pourcentages des précipitations annuelles tombées sous forme de pluies supérieur a un seuil donné par la fréquence de ces précipitation (les seuil considérés sont de 20 mm a 30mm) et cela selon la perméabilité du bassin versant considéré.

CT : le coefficient de torrentialité qui dépend de la densité de drainage et le nombre de talwegs du réseau hydrographique ainsi que de la surface du bassin versant.

**I.3.5. QUELQUES TRAVAUX EFFECTUES EN ALGERIE SUR LE TRANSPORT SOLIDE**

Plusieurs travaux ont été effectués sur l'érosion et le transport solide. Nous nous limitons à quelques travaux importants :

**MEDIDGER (1960):**

En 1960, il fait une synthèse de ses travaux effectués sur les méthodes de mesure et présente les données de mesures recueillis sur une trentaine de bassins versants durant la période 1946-1957.

L'auteur discute les méthodes de mesures et présente les données mensuelles des écoulements solides spécifiques des 30 stations observées ainsi que les caractéristiques physiques et climatiques principales des bassins contrôlés. Dans un tableau récapitulatif de ses travaux, l'auteur donne les estimations des précipitations et écoulements liquides et solides ainsi que les concentrations

.moyennes et maximales. Les premiers essais qu'il tente alors en vue d'établir les relations entre débits et concentrations instantanées ne donnent pas de résultats satisfaisants. (in Demmak,1982)

**TIXERONT (1960):**

Ses travaux sont basés sur les données de 32 bassins d'Algérie et six bassins de Tunisie, dont la superficie varie de 90 à 22300 Km<sup>2</sup>.

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

Il a trouvé que :

- Les teneurs en suspension des trois groupes de bassin augmentent d'une façon générale lorsque le débit liquide diminue ;
  - Le substratum joue un rôle considérable
  - Le crétaé inférieur, jurassique, les terrains primaires cristallins, cristallophylliens, manifestant un taux d'abrasion négligeable.
  - Les bassins à plus forte abrasion se situent dans les régions sismiquement actives.
  - La répartition régulière des pluies avec un maximum en saison végétative est favorable aux faibles teneurs.
  - Une zone de 300 à 700mm où l'érosion est très active (1200 tonne/ km<sup>2</sup>/an)
- (in Bouanani, 2004)

**CAPOLINI (1965-1969) :**

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

Il a basé son étude sur l'analyse morphométrique des réseaux (densité de drainage, coefficient de turbidité) mises au point par les géographes américains SCHWENM et HORTON. L'application a permis de trouver des résultats encourageant sur les bassins de Oued Rhiou et de Fodda. A partir de ces résultats l'auteur a généralisé la méthode à l'ensemble du bassin de l'oued Cheliff.

Les résultats ont permis à CAPOLINI de :

- proposer une quantification des débits solides en associant à chaque formation lithologique un débit spécifique.

- d'établir une relation statistique entre l'érosion spécifique des bassins et le coefficient de torrentialité.

- de suggérer la cartographie des zones susceptibles à l'érosion à partir de la carte du coefficient de torrentialité (in Remaoun, 2007 et in Touahir, 2007).

**SOGREAH (1969)** « société générale de la recherche et études des aménagements hydrauliques » :

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

Sur un bassin de nature géomorphologique donnée, le transport solide apporté par les crues croît avec le volume ruisselé. (in Bouanani, 2004)

**JACCON (1974):**

En 1974 dans une note technique, l'auteur a entamé une étude de quantifications du transport solide à l'exutoire du grand bassin versant de Chellif en utilisant les données de la station hydrométrique de SIDI BEL ATAR à base d'observation, s'étalant sur la période de 1947 à 1960, il retiendra en définitive un apport solide moyen interannuel de 40 millions de tonnes. Il conclue que les valeurs citées dans cette note (données d'observations ou résultats) peuvent paraître énormes et il pense que dans le domaine des transports solides en Afrique du Nord, la tendance a toujours été vers une sous-estimation (quelquefois énorme) de leur importance et souhaite que la valeur de 40 Millions de tonne retenue dans cette note ne soit pas elle aussi sous-estimée pour d'éventuelle existence de retenues. (in Jacob, 1974)

**DEMMAK (1982) :**

En se basant sur les données observées, durant la période 1972/1979, sur 30 bassins versants de l'Algérie du Nord, particulièrement touchée par 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 marnes et d'argiles affleurantes, le pourcentage des précipitations journalières supérieures à un certain seuil (20 ou 30 mm) et le coefficient de torrentialité, sont déterminant 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

**TOUIBIA (1986) :**

Son travail consiste à quantifier des apports en sel et en sédiments avec des différents modèles en se basant sur des données hydrométriques observées sur une période de 1971-1979 afin de prévenir la salinisation et l'envasement du barrage EI-IBTISSAM sur l'oued DEURDEUR.

**ARABI (1991) :**

ARABI confirme la faiblesse de l'érosion pluviale et par conséquent, le fait que le ruissellement constitue un facteur essentiel pour la détermination du transport solide dans les bassins versants. Il propose les mesures de protection suivantes :

- stocker les eaux d'écoulement,
- Favoriser l'infiltration au maximum, limité la concentration des eaux de ruissellement,
- travailler le sol chaque fois que possible,
- améliorer la structure du sol,
- corriger les ravins. (in Remaoun, 2007)

**PROBST et AMIOTTE SUCHET (1992) :**

L'examen des données disponibles sur les transports fluviaux de sédiments de 130 bassins versants au Maghreb a permis aux auteurs de proposer une nouvelle estimation de l'apport en sédiments du Maghreb à l'océan Atlantique et à la mer méditerranée. Ils analysèrent l'influence de plusieurs facteurs de l'environnement (précipitation, drainage, taille des bassins et lithologie) sur l'érosion mécanique et les transports solides fluviaux. Ils proposent enfin un modèle de régression multiple pour estimer les transports fluviaux spécifiques de matières en suspension au Maghreb. Au terme de leur étude il trouve l'apport spécifique au Maghreb est de l'ordre de 420 à 504 t/Km<sup>2</sup>/an.

**BOUROUBA (1997, 1998) :**

1160 t/km<sup>2</sup> /an pour l'oued Mazafran (côtiers algérois), 2300 t/km<sup>2</sup> /an pour l'Isser à Lakhdaria, 490 t/km<sup>2</sup> /an pour oued Soummam à Sidi Aïch, 680 t/km<sup>2</sup> /an pour oued Medjerda à Souk Ahras et 150 t/km<sup>2</sup> /an pour la Macta au barrage Cheurfa Certaines données ont confirmées que Les crues de l'automne et du printemps sont les principales responsables du pourcentage le plus important du transport solide. Une augmentation assez importante du volume ruisselé et de la turbidité ont été observées. (in Remaoun, 2007)

**ACHITE et TOUIBIA (2000):**

Ils montrent que étude de l'érosion et le transport solides dans les zones semi-arides permet de prédire les apports solides pour différentes périodes de retour, afin de pouvoir protéger la cuvette du barrage de Sidi M'hamed ben Aouda.

**LARFI et REMINI (2002) :**

Elle montre que la quantification du transport solide dans le bassin versant de l'oued ISSER, dont les résultats semblent très cohérents avec les mesures directes de l'envasement dans la retenue de BENI AMRANE, (par les essais bathymétriques de février 1995 et l'estimation de l'envasement supposé juste, de mars 2000), nous incite à laisser les portes de la recherche et de l'expérimentation grande ouvertes sur : « la définition des diverses formes d'érosion et une stratégie de lutte anti-érosive en vue de l'accroissement de la durée de vie des aménagement hydrauliques».

**GHENIM (2001) :**

Il effectua une analyse de comportement de trois sous-bassins (haute Tafna, oued Isser et oued Mouilah) vis-à-vis de l'écoulement et du transport solide, ainsi que la détermination des volumes solide et liquide apportés par les réseaux hydrographiques de ces trois sous-bassins. Les résultats obtenus montre que la haute Tafna connaît la dégradation la plus importante que oued Isser et oued Mouilah et que le transport solide étant très actif en automne et en printemps.

**TERFOUS et al (2001):**

Les auteurs ont analysé graphiquement les valeurs instantanées des débits solides en suspension de Oued Mouilah et leurs relations avec les débits liquides sur la périodes d'observation allant de 1977 à 1993 soit 16 ans ce qui leurs à permis de montrer l'existence de deux périodes d'érosion actives, .une première période en automne et la seconde à plus faible ampleur, au printemps.

La dégradation spécifique moyenne annuelle sur les 16 années est de 126 tonnes par Km<sup>2</sup>, Les auteurs estiment que cette valeur est relativement faible par rapport à celles retrouvées pour d'autres régions à régime hydrologique similaires.

**BENKHALED et REMINI (2003) :**

Qui ont étudié la variabilité et les caractéristiques des différentes relations qui existent entre la concentration et le débit, de oued Ouahran et ils ont montré que La dispersion des points de C et Q est une caractéristique très importante qui, avec d'autres aspects liés à l'allure du graphe, permet d'effectuer des combinaisons, en liaison avec le phénomène d'hystérésis.

**MEGNOUNIF et al (2003):**

Les auteurs se sont intéressés dans leur travail aux sédiments transportés en suspension par oued Tafna à Beni-Bahdel. Pour la période allant de septembre 1988 à août 1993, l'analyse de la variabilité de la charge en suspension monte une production très forte en automne mais d'une faible ampleur au printemps. En automne le flux des matières solides en suspension représente 44% de flux

annuel estimé à 28600 tonnes, au printemps malgré l'augmentation des débits (60% de l'apport annuel) la charge en suspension diminue considérablement. La production du ruissellement superficiel en matières solides représente 62% du flux annuel alors que l'érosion du cours d'eau contribue par 38%.

**CHENAOUI (2004) :**

D'après l'étude réalisée par concernant la quantification du transport solide en suspension dans le bassin versant de Oued El Ardjem situé à Sidi -Yacoub au Sud de Chlef l'apport moyen calculé est de 18087.66 tonnes /an d'où une érosion spécifique de 0.15tonnes/Km<sup>2</sup>/an.

**BOUANANI (2004):**

Son travail constituait une première contribution dans l'analyse des phénomènes hydrologiques, du transport solide et de la modélisation du bassin versant de la Tafna (N-W Algérien). Il apporte beaucoup d'éléments de base à une recherche de modèles hydrologiques, régissant l'écoulement superficiel et le transport solide en suspension dans ce bassin.

Les valeurs du transport solide varient d'un bassin versant à un autre et d'une région à une autre ces valeurs sont fonction du climat, du type du sol, de la topographie du site ; cette variation a été conclue en observant quelques données obtenues dans certaines régions d'Algérie.

**ACHIT et MEDDI (2004):**

Les auteurs ont adopté une méthodologie qui consiste à rechercher un modèle régressif pouvant expliquer le débit solide par le débit liquide mesuré au niveau de la station de Sidi Abdelakader El Djillali, à différentes échelles : annuelles, saisonnières, mensuelles et journalières pour trouver la meilleure relation représentative du phénomène. L'ensemble des données disponibles couvre les années 1973/1974 à 1994/1995, soit 22 années. Les résultats montrent que le modèle puissance explique la plus grande partie de la variance (plus de 70 % de la variance). Les modèles obtenus à l'échelle journalière et instantanée (regroupés par mois) ont donné le meilleur coefficient de corrélation. Le débit liquide explique, à ces échelles, la variation du débit solide dans le temps. Aussi, compte tenu de la disponibilité des données à l'échelle journalière, le transport solide a été évalué en utilisant le modèle ainsi obtenu à cette échelle.

Leur résultat confirme ceux trouvés par différents chercheurs en Algérie et au Maroc.

**ACHIT et MEDDI (2005) :**

Les données de cinq sous bassins du bassin versant de Oued Mina sur une période de 22ans (1973à 1995) ont été utilisées pour développer une approche statistique de quantification des apports solides. Les valeurs du transport solide retrouvées en automne sont les plus élevées suite à la pauvreté du

couvert végétal et l'agressivité des pluies d'automne. Les résultats des charges spécifiques obtenus pour les différents bassins sont comme suite :

- 212 t/Km<sup>2</sup>/an pour le bassin versant de Oued Haddad
- 191 t/Km<sup>2</sup>/an pour le bassin versant de Oued Taht
- 117 t/Km<sup>2</sup>/an pour le bassin versant de Oued El abd à Ain al Hamra
- 65 t/Km<sup>2</sup>/an pour le bassin versant de Oued El abd à Takhmaret
- 187 t/Km<sup>2</sup>/an pour le bassin versant de Oued Mina

En fin des modèles mathématiques liants l'apport solide au coefficient d'écoulement ont été proposés pour ces cinq sous-bassins.

#### **TOUAHIR (2007) :**

Elle a entamé une étude comparative du transport solide en suspension entre deux sous bassin à savoir le bassin de Oued ZEDDINE et le bassin de Oued TIKAZALE (CHELLIF), pour délimiter le nombre de facteurs qui régissent le transport solide. Au terme de son étude, l'auteur trouve que l'action érosive est très différente entre les bassins étudiés. Elle est plus accentuée au niveau du bassin de Zeddine (1368 t/km<sup>2</sup>/an) malgré qu'il ne soit pas beaucoup plus grand (1,5 fois environ) que celui de Tikazale (227 t/km<sup>2</sup>/an).

#### **MEGNOUNIF (2007) :**

Son étude consistée à fournir aux gestionnaires les éléments de réflexion nécessaire à la conception et l'innovation de solutions alternative dans la gestion des phénomènes de l'érosion, de transport et les dépôts de sédiments. Il s'est intéressé à deux bassins versant très affecté par l'érosion hydrique de caractéristiques physiographiques différentes à savoir le bassin versant de Oued SEBDOU et le bassin versant de oued MOUILAH, ou il s'est intéressé à l'identification des principaux processus qui opèrent dans les bassins versants et conditionne l'intensité du système. L'étude aborde aussi la quantification des la charge solide en suspension et un model empirique fut proposé. Afin d'amélioré l'outil de gestion environnementale, l'approche proposé par l'auteur est basé sur deux aspects; le première aborde une méthodologie dans la recherche et la compilation de l'information (appuyée par l'analyse systémique) définissant les étapes à entreprendre dans l'élaboration d'une base de données permettant de comprendre la nature et la distribution des processus du système "érosion-transport-dépôt" et le second aborde la conception et l'innovation de solution de gestion. Le bassin versant de oued SEBDOU produit 1120 t/Km<sup>2</sup>/an valeur nettement supérieure à 126 t/Km<sup>2</sup>/an produite par le bassin de oued MOUILAH qui d'une superficie plus grande. L'auteur souligne que le potentiel érosif est plus intense en automne et en fin de printemps.

**GHENIM et al (2007):**

Pour essayer de comprendre l'influence de ces facteurs sur la genèse et le cheminement des Particules en suspension dans les cours d'eau des zones semi-arides méditerranéennes, les auteurs se sont intéressés à l'Oued Mouilah, considéré comme le plus important affluent de la Tafna. Pour ce faire et ils ont étudié les différents épisodes de crue, leur rôle dans l'amplification du transport solide ainsi que le comportement du bassin lors de ces évènements exceptionnels. Au terme de leurs étude ils affirment que ces crues sont source d'apports liquides non négligeables aux barrages qui souffrent parfois d'un taux de remplissage insignifiant et malheureusement, la plus grande part des sédiments qui atterrissent dans les cuvettes de barrages est amenée par les crues.

**BOUCHELKIA (2009) :**

Selon les résultats obtenus, la quantité du transport solide en suspension retrouvée se situe entre 2,35 et 37,73 million de tonnes par an pour la station de Sidi Bel-Atar située à l'exutoire du bassin versant de Cheliff. C'est des valeurs sont énormes qui reflètent la vulnérabilité de ce bassin face à l'érosion suite à sa grande superficie et l'importance des apports liquide de l'Oued Cheliff.

**BOUCHELKIA et al (2013) :**

Une approche a été appliquée pour quantifier le transport solide en suspension à la station de pierre du chat située à l'exutoire du bassin versant de la Tafna durant la période 1990-2006. Les résultats obtenus montrent que les apports solides en hiver sont les plus abondants et les plus réguliers. Ils attestent bien que le bassin versant de la Tafna est d'une érodabilité très importante, puisque la valeur maximale des apports solide trouvée est de  $6,21 \cdot 10^6$  t/an.

**YLES (2012- 2014) :**

D'après les résultats obtenu, le transport solide en suspension dans le bassin versant de l'oued Saïda, se font essentiellement durant l trois périodes ; la première est l'automne ou la quantité du transport solide est intense, les deux autres périodes l'hiver et le printemps à plus faible ampleur ; la dégradation spécifique dans ce bassin versant est de l'ordre de  $2 \text{ t/km}^2/\text{an}$  durant l'année 1998/1999 et une dégradation spécifique de  $276 \text{ t/km}^2/\text{an}$  durant l'année 2007/2008, soit un rapport de 1/139.

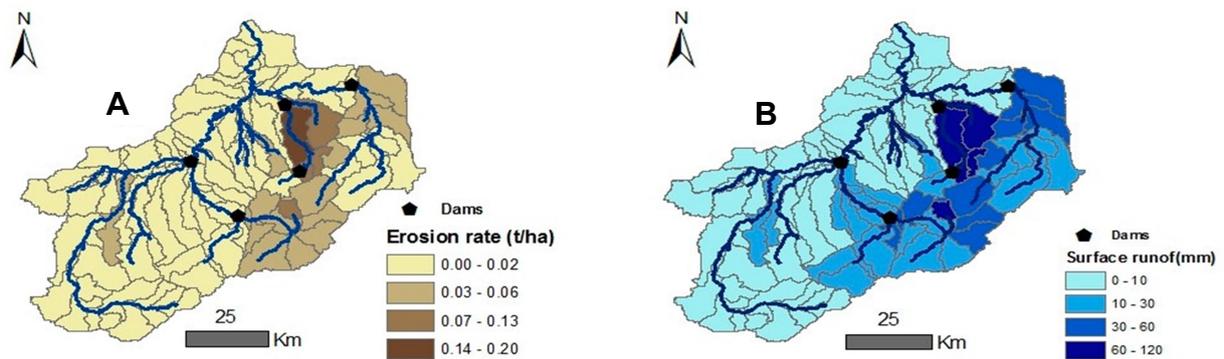
**YLES et BOUANANI (2016) :**

ce travail est consacré à l'étude de la relation entre la concentration de sédiment en suspension et le d débit liquide pour un évènement hydrologique, l'auteur à prouver que l'évolution de la concentration des sédiments a l'échelle d'une crue est très grande et que le modèle horaire observé pour des crues d'automne, révèle un accroissement rapide des concentration par rapport au débits

liquides ce qui est due en grande partie d'après l'auteur, à la remise en suspension des dépôts fins dans le lit fluviale.

**ZETTAM AMIN et al, (2017) :**

Le ruissellement, (figure I.12. **(B)**) variait entre 0 et 120 mm par an (bassin versant semi-aride). Les valeurs les plus élevées étaient situés dans le sous bassin amont (entre 10 et 30 mm), tandis que les plus bas étaient en aval (entre 0 et 10 mm). Le taux d'érosion du sol variait de 0 à 0,2 t/ ha / an, figure I.10. **(A)**), et les bassins vers l'Est ont été identifiés comme des zones à forte érosion des sols dans le Tafna.



**Figure I.12.** Moyennes interannuelles pour chaque sous-bassin versant entre 2000 et 2013.

(Zettam et al 2017).

**(A)** Taux d'érosion (t/ha/an).

**(B)** les charges de ruissellement de surface simulées (mm/an);

# CHAPITRE II :

## PRESENTATION DU BASSIN VERSANT

### DE LA TAFNA

## CHAPITRE II : PRESENTATION DU BASSIN VERSANT DE LA TAFNA

### II.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE :

Le bassin versant du Tafna couvre une grande partie de l'Ouest de l'Algérie (Figure II.1) il porte le numéro 16 (Figure II.2 et II.3). Tafna est le principal Oued avec une zone de drainage de 7245 km<sup>2</sup> et une altitude variant du niveau de la mer à 1100 m.a.s.l. Après un parcours de 170 km, la rivière atteint la mer méditerranée près de la ville de Beni-Saf. Il est situé entre 34° 11 'N, 35°19' de latitude Nord et 0°50 'de longitude Ouest, 2° 20' de longitude Ouest.

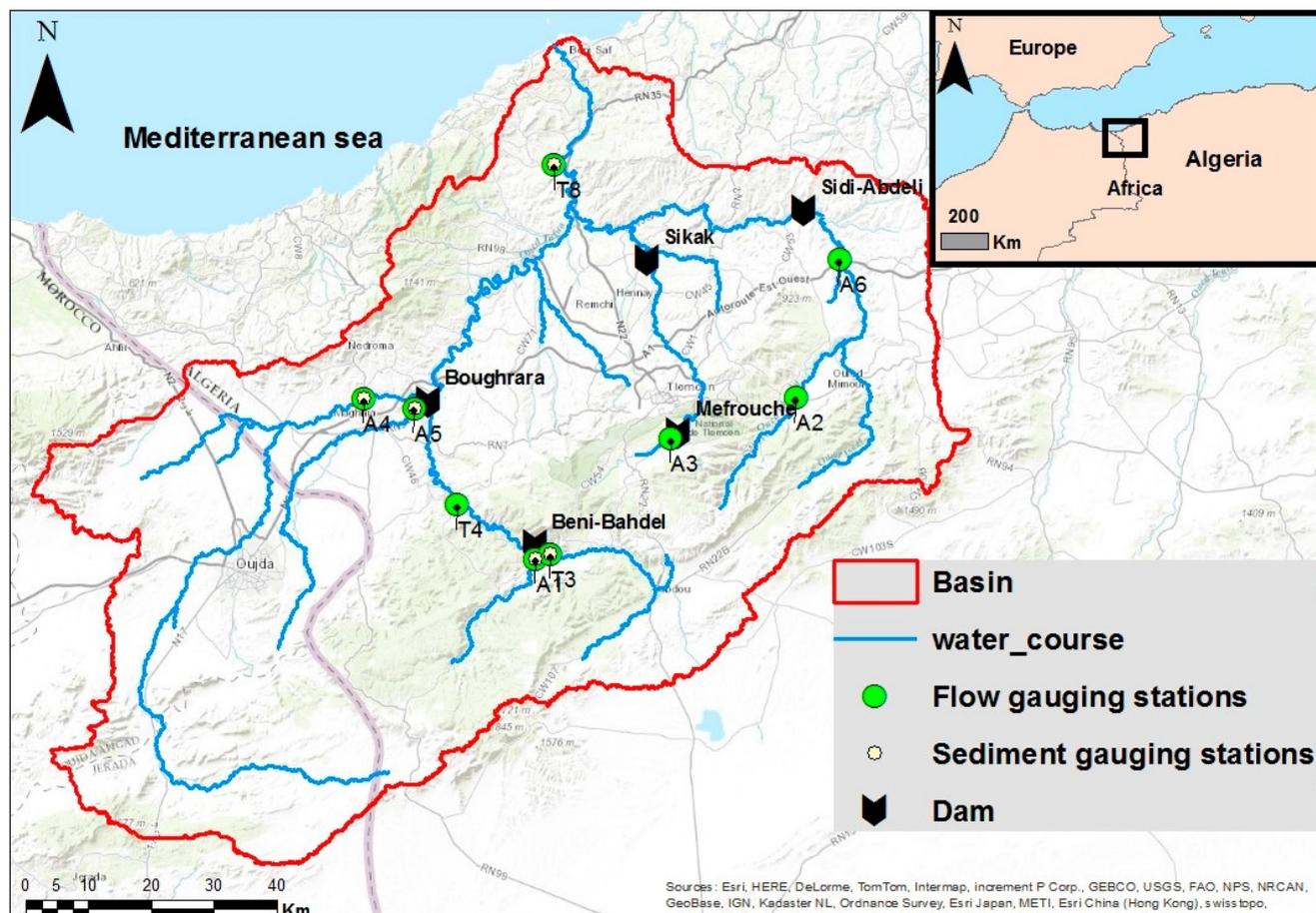


Figure II.1. Emplacement du bassin versant de la Tafna et de ses barrages et stations hydrométriques (situé dans le cours d'eau principal). (Zettam et al, 2017)

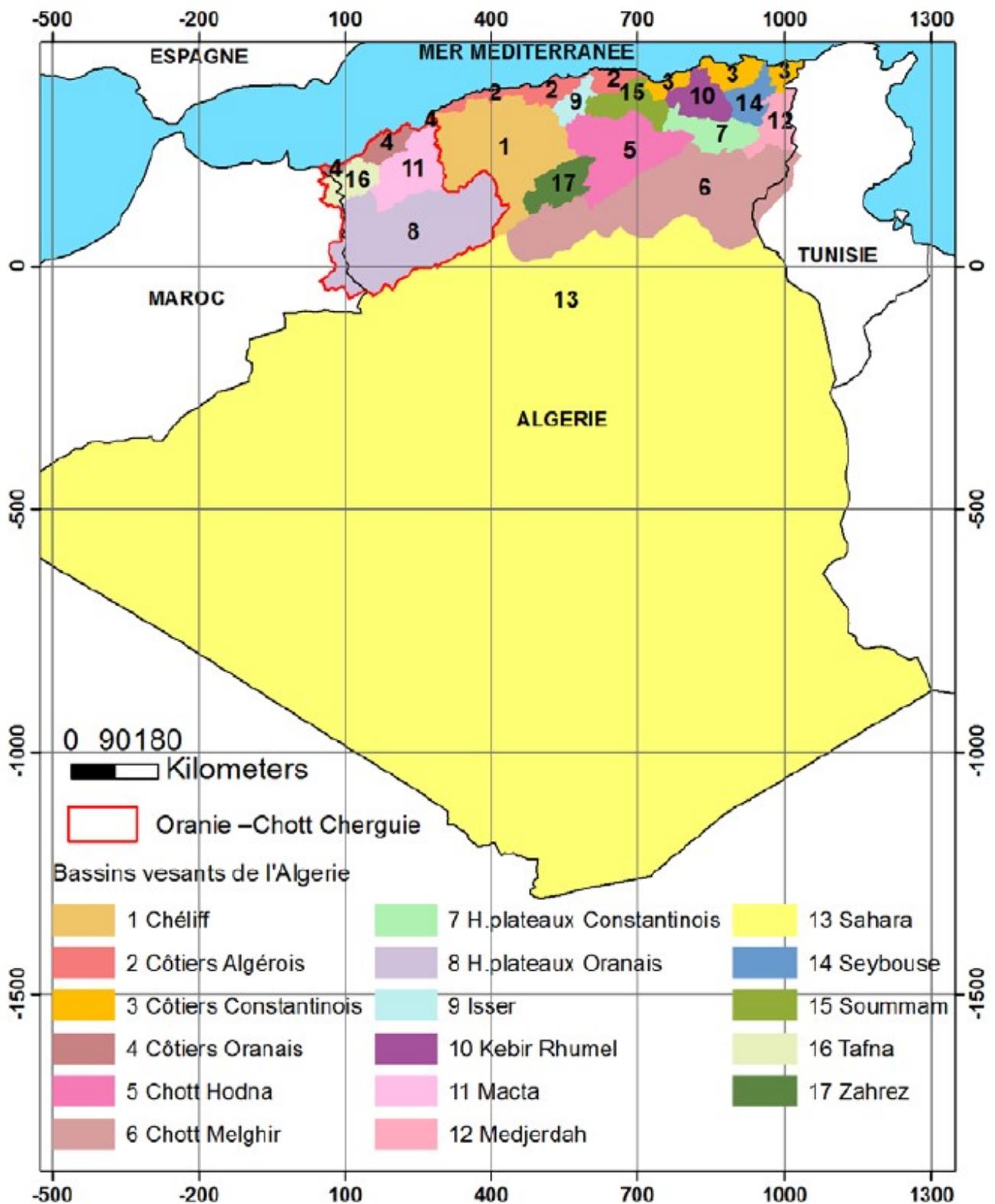


Figure II.2. Situation géographique de la zone d'étude (ANRH)

Selon la nouvelle structuration des unités Hydrologiques en Algérie, le bassin versant de la Tafna appartient à l'ensemble de l'Oranie –Chott Chergui (figure. II.3).



**Figure. II.3** : Le bassin versant de la Tafna dans l'ensemble Oranie Chott Chergui  
(ABH ORANIE-CHOTT CHERGUI, 2006).

Le bassin versant du Tafna, constitué de huit (08) sous bassins, dont deux se trouvent en amont dans le territoire marocain englobant une superficie de 1950 km<sup>2</sup>, soit 27 % de la superficie totale du bassin versant ( figure II.4).

- Sous bassin de Oued Isser (Bensekrane)
- Sous bassin de Oued Isser (Remchi)
- Sous bassin de Oued Lakhdar (Chouly)
- Sous bassin de Oued Sikkak
- Sous bassin de Oued Enachef
- Sous bassin de Oued Ouarde fou
- Sous bassin de Oued Boukiou
- Sous bassin d'Oued Mouillah

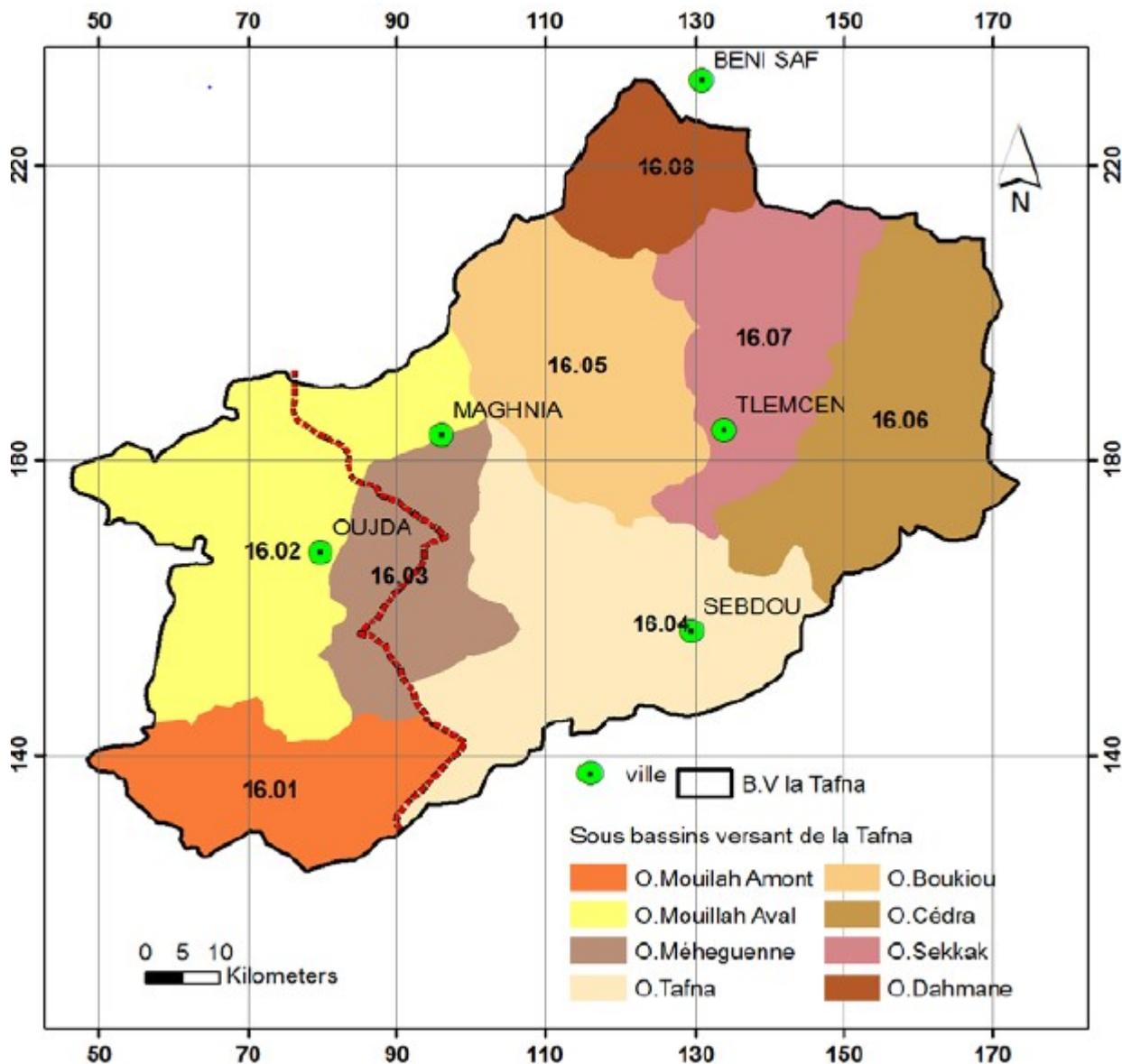


Figure .II.4. les sous bassin de la Tafna (in Benmossat,2012 )

Le bassin de la Tafna est délimité comme suite :

- Au Nord-Ouest : les communes Bab el Assa, Souani, Djebala, Nedroma, Beni Ouarsous, Honaine, et Beni khelad.
- Au Nord : la mer méditerranée.
- Au Nord-Est : Wilaya Ain Témouchent, Sebaa Chioukh, El Fehoul, Bensekrane, Sidi Abdelli.
- Au Sud : les 04 communes steppiques (Bouihi, Sidi Djillali, El Aricha, Sebdu, El Gor, Beni Smiel).
- A l'Ouest : le Maroc.
- A l'Est : Wilaya de Sidi Bel Abbes, la commune d'Ain Tellout, et Ain Nahala

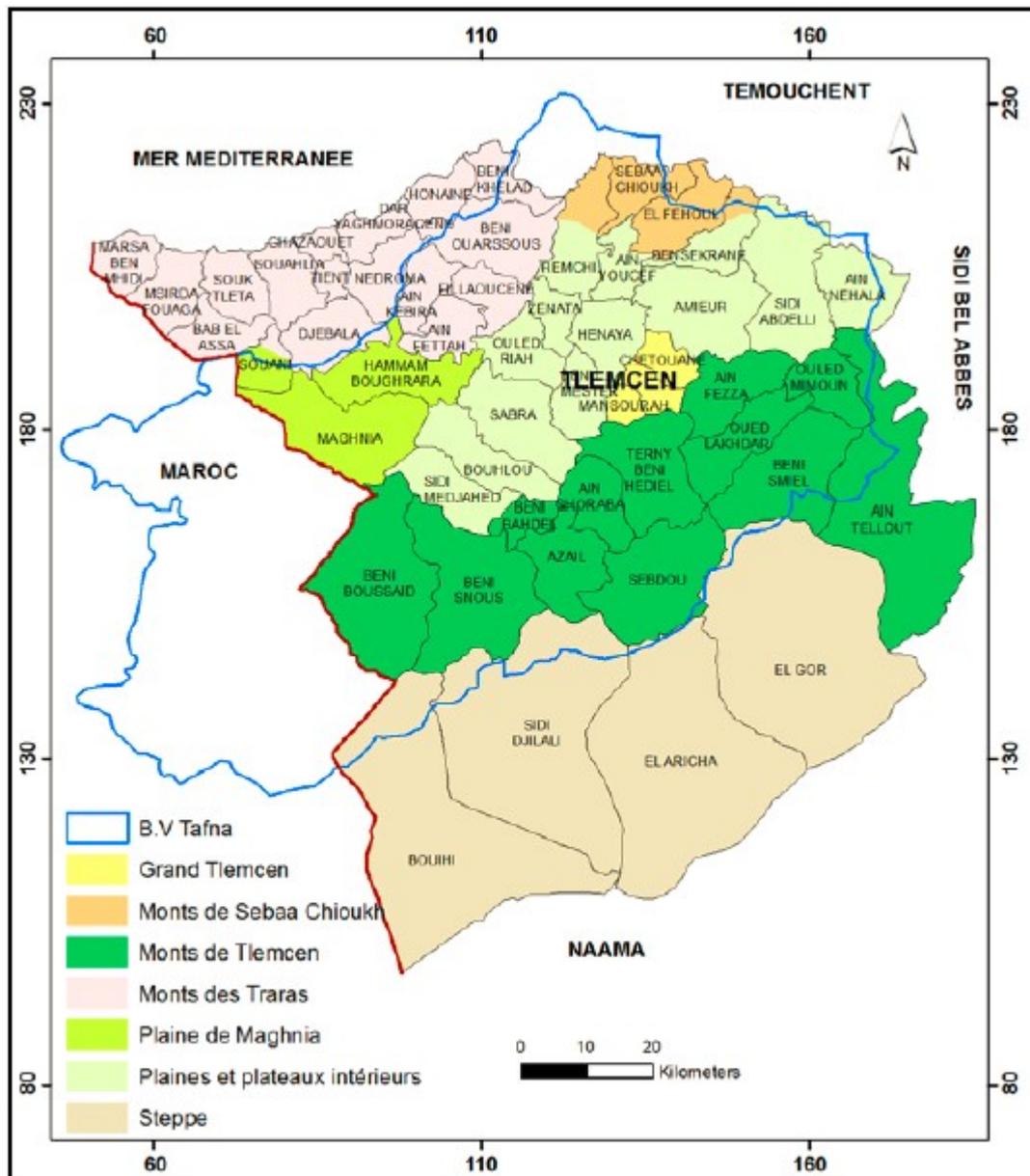


Figure.II.5 : La délimitation et la géographie du bassin (in Benmossat,2012 )

Culminant à 1843 m, djebel Tenoucheffi, le bassin est délimité par le principal relief mont de Tlemcen entre la méditerranée et les hautes plaines oranaises et relayé à l’Ouest par le moyen atlas marocain et à l’Est par les monts de DAIA (SAIDA).

Le bassin est constitué principalement au Sud par une barre de montagne (800-1400 m d’altitude) axée WSW-ENE, dominant largement au Nord les régions de plaines de Maghnia, Hennaya et SIDI Abdelli. Cette structure orographique est dominée au Nord par les monts de

Traras (1081 m) de faible largeur entraîne une barrière pour les précipitations ; ceci explique l'aridité de la plaine de Maghnia.

Le bassin de la Tafna a une géographie diversifiée. On distingue principalement trois domaines (Voir la figure II.6 ci-dessous).

- Au Nord, une chaîne montagneuse qui dresse une barrière entre le bassin versant et la mer : Ce sont les massifs des Traras et de Sebaa Chioukh.
- Au centre, on trouve une zone de plaine et de plateaux intérieurs : la plaine de Maghnia à l'Ouest qui se prolonge par les plaines d'Angad au Maroc et les plaines des Ghossels à l'Est.
- Au Sud se dressent les monts de Tlemcen formant la bordure Sud du bassin. L'altitude maximale dépasse les 1500m.

La plaine des Ghossels est parcourue par l'Oued Tafna et ses affluents. Ce dernier prend ses sources dans les monts de Tlemcen. C'est un cours d'eau de 170 km de long et reçoit deux affluents importants : Oued Mouillah et Oued Isser.

### **II.1.1. Les zones montagneuses**

Les zones montagneuses entourent en quelque sorte le bassin de la Tafna du côté Nord-Ouest, du côté Sud et du côté Nord pour laisser au centre une zone de plaine et de dépressions. Ces zones sont:

- **Les monts des Traras** : C'est une chaîne montagneuse côtière de 1250km<sup>2</sup> qui occupe le Nord-Ouest de la wilaya de Tlemcen. C'est une zone qui se caractérise par de fortes pentes, l'érosion est donc intense. Le couvert forestier est localisé essentiellement dans la partie centrale aux alentours des monts les plus culminants (Djebel Fellaoucène).
- **Les monts de Sebaa Chioukh** : C'est une chaîne montagneuse de 250km<sup>2</sup> située au Nord-Est de la wilaya de Tlemcen. Elle forme le prolongement du côté est des monts des Traras. Ces terrains ont des pentes qui dépassent les 25%.
- **Les monts de Tlemcen** : Les monts de Tlemcen se situent au Sud de la wilaya de Tlemcen formant la frontière Sud du bassin versant. Ils occupent une superficie de 3000km<sup>2</sup> et s'étendent à l'Ouest jusqu'au royaume du Maroc et à l'Est jusqu'à la wilaya de Sidi Bel Abbés. Ils ont un relief très accidenté avec de fortes pentes et des altitudes moyennes entre 1200m et 1500m avec comme point culminant Djebel Tenouchéfi à 1843m.

**I.1.2. Les zones des plaines et des plateaux**

Les plaines et les plateaux occupent la partie centrale du bassin enfermée entre les zones montagneuses. La population se concentre principalement dans cette région. On distingue :

- **La plaine de Maghnia** : Elle est limitée au Nord et Nord-Est par les piémonts Sud des Traras, au Sud par les piémonts Nord des monts de Tlemcen et à l'Ouest par un prolongement naturel formé par la plaine des Angad (Maroc). Cette plaine a une grande partie recouverte de limons très fertiles sauf dans sa partie centrale où on note la présence de sols salés. Les sols de la plaine sont limités en profondeur par des croûtes calcaires.

- **La plaine de Hennaya** : Elle est limitée au Sud par les piémonts Nord des monts de Tlemcen, au Nord par le plateau de Zenata. Ces sols sont formés par des dépôts d'alluvions récents. Par la position géographique et la structure granuleuse des sols, la plaine profite de la proximité des points d'eau (cours d'eau, nappe phréatique) pour développer une agriculture irriguée traditionnelle.

**Plateau de Zenata Ouled Riah** : Le plateau de Zenata Ouled Riah est situé au Nord-Ouest de la plaine de Hennaya, il est constitué de sols rouges méditerranéens reposant sur des encroûtements où parfois sur la carapace calcaire, la texture du sol est argilo limoneuse.

- **Plateau Sidi Abdelli-Aïn Nahala** : Le plateau est formé des sols bruns calcaires, leur teneur en argile est de l'ordre de 45%. A la suite de la variation de l'humidité de ces sols, la structure se dilate en été donnant naissance à de larges fentes. La teneur en calcaire dans ces formations est élevée en profondeur. (In Adjim 2003)

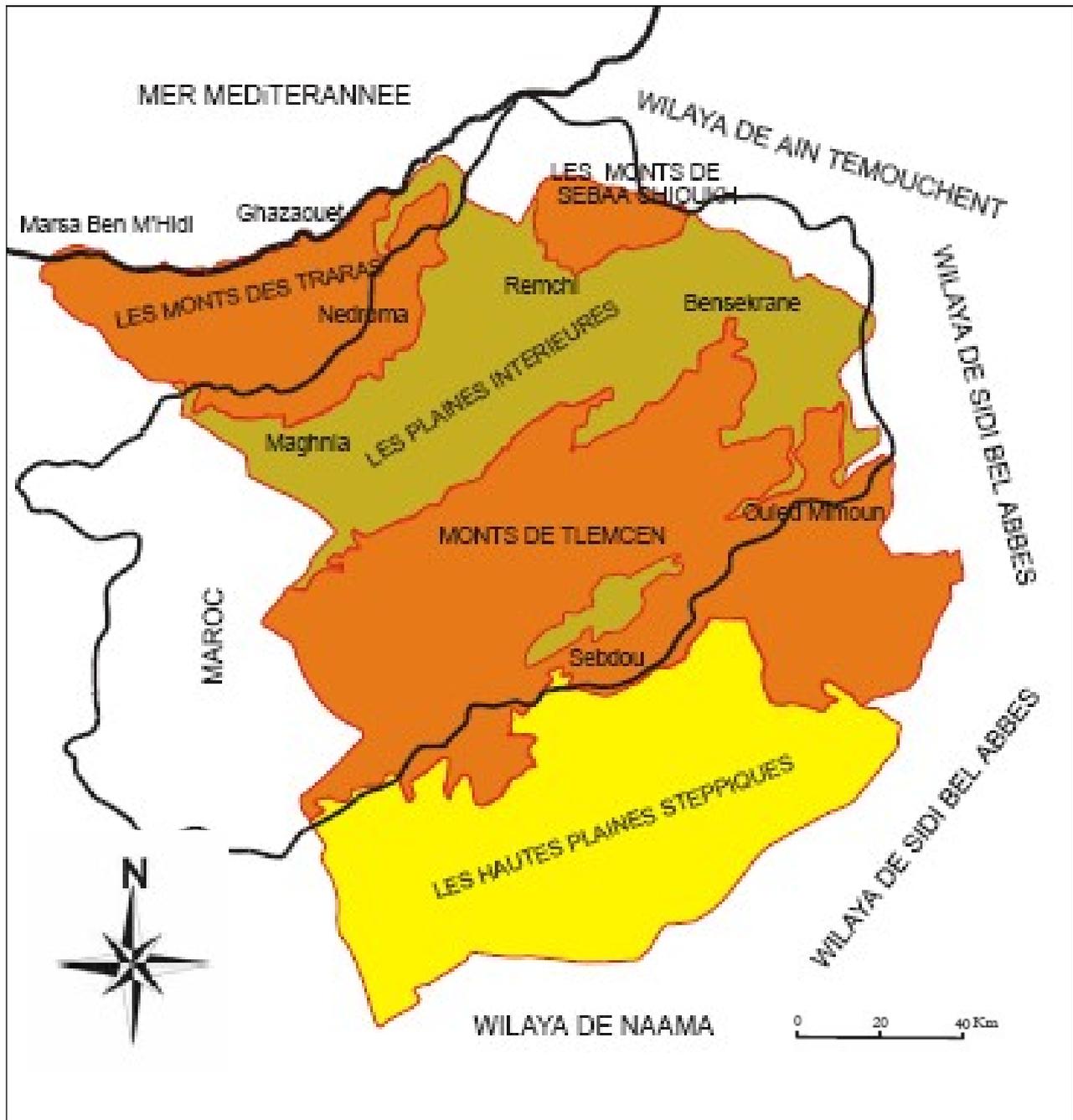


Figure II.6. Cadre géographique de la Tafna et de la wilaya de Tlemcen (In Adjim 2003)

## II.2. HYDROGRAPHIE DU BASSIN :

L'Oued Tafna a plusieurs affluents. L'affluent le plus important est l'Oued Mouillah, situé à Maghnia, région qui est une zone industrielle. Cet affluent est pollué par les eaux usées domestiques et industrielles les effluents des villes marocaines d'Oujda et d'El Abbes et de l'Oued

d'Ouerdeffou. Un autre important affluent est l'Oued Isser, mais son approvisionnement en eau à la Tafna a considérablement diminué depuis la construction du barrage d'Al Izdahar, qui retient la plus grande partie de l'eau pendant la saison des pluies buts d'irrigation (Taleb, et al 2004). Cinq barrages ont été construits dans le bassin versant de la Tafna: Beni Bahdel, Meffrouch, Hammam Boughrara, Al Izdahar (Sidi-Abdeli) et Sikkak. Leurs capacités varient entre 15 et 117 million de m<sup>3</sup> (Tableau II.1)

**Tableau II.1.** Caractéristiques des barrages construits dans le bassin versant de Tafna. (Taleb, et al 2008).

<b>Barrages</b>	<b>capacité(Mm3)</b>	<b>année de construction</b>	<b>destination</b>
BeniBahdel	65.5	1952	Alimentation en eau potable /irrigation
Hammame Boughrara	177	1998	Alimentation en eau potable et irrigation
Mefrouche	15	1963	Alimentation en eau potable et irrigation
Sikkak	30	2005	Alimentation en eau potable et irrigation
Al Izdahar( Sidi Abdeli)	110	1988	Alimentation en eau potable et irrigation

L'Oued Tafna est un cours d'eau qui prend sa source dans les monts de Tlemcen. Le cours de cet Oued peut se subdiviser en trois parties : la haute Tafna, la moyenne Tafna et la basse Tafna.

○ **la haute Tafna :** l'Oued prend naissance dans les Ouled Ouriach et s'affirme après la jonction d'un grand nombre de ramifications creusées dans les terrains jurassiques et descendent de crêtes atteignant 1500m. Ces ramifications se réunissent aux environs de Sebdu à une altitude d'environ 900m. A partir de cet endroit et jusqu'à Sidi Medjahed, l'Oued suit un cours dans une vallée encaissée creusée dans les terrains jurassiques. Dans cette région montagneuse, l'Oued Tafna reçoit l'Oued Khemis (rive droite) et l'Oued Sebdu (rive gauche) .

➤ **la moyenne Tafna :** à partir de Sidi Medjahed, l'Oued pénètre dans le bassin tertiaire et coule dans une vallée peu profonde dans des terrains plus ou moins argileux, Cette partie du bassin tertiaire est sillonnée par de nombreux affluents parmi lesquels certains sont importants :

- Sur la rive gauche: les affluents sont moins importants que sur la rive droite, seul l'Oued Mouilah qui prend naissance au Maroc est remarquable par son parcours et son débit. L'Oued Boukiou, moins important, prend naissance dans les monts des Traras pour rejoindre le cours de la Tafna dans la plaine des Ghossel.

- Sur la rive droite: la Tafna reçoit l'Oued Boumessaoud, l'Oued Zitoun et enfin l'Oued Isser, affluent le plus important par son long parcours que par son fort débit. L'Oued Isser prend

naissance dans les terrains jurassiques, des monts de Tlemcen et s'étend ainsi vers l'Est de la région de la haute Tafna. A son entrée dans le bassin tertiaire, Il est grossi au Nord de Ouled Mimoun par l'Oued Lakhdar (Ex : Chouly) (rive gauche) et l'Oued Aïn Tellout (rive droite).

Au Nord de la plaine de Ouled Mimoun, il traverse la petite plaine d'El Fehoul. A l'extrémité occidentale de cette plaine, il reçoit sur la gauche un cours d'eau assez important : l'Oued Sikkak, descendu du plateau de Terny

➤ **La basse Tafna:** le cours inférieur de la Tafna s'étend depuis les gorges de Tahouaret vers le village de Pierre Chat jusqu'à la plage de Rachgoune en mer méditerranée, sur une distance de 20 Km (Bouanani,2004).

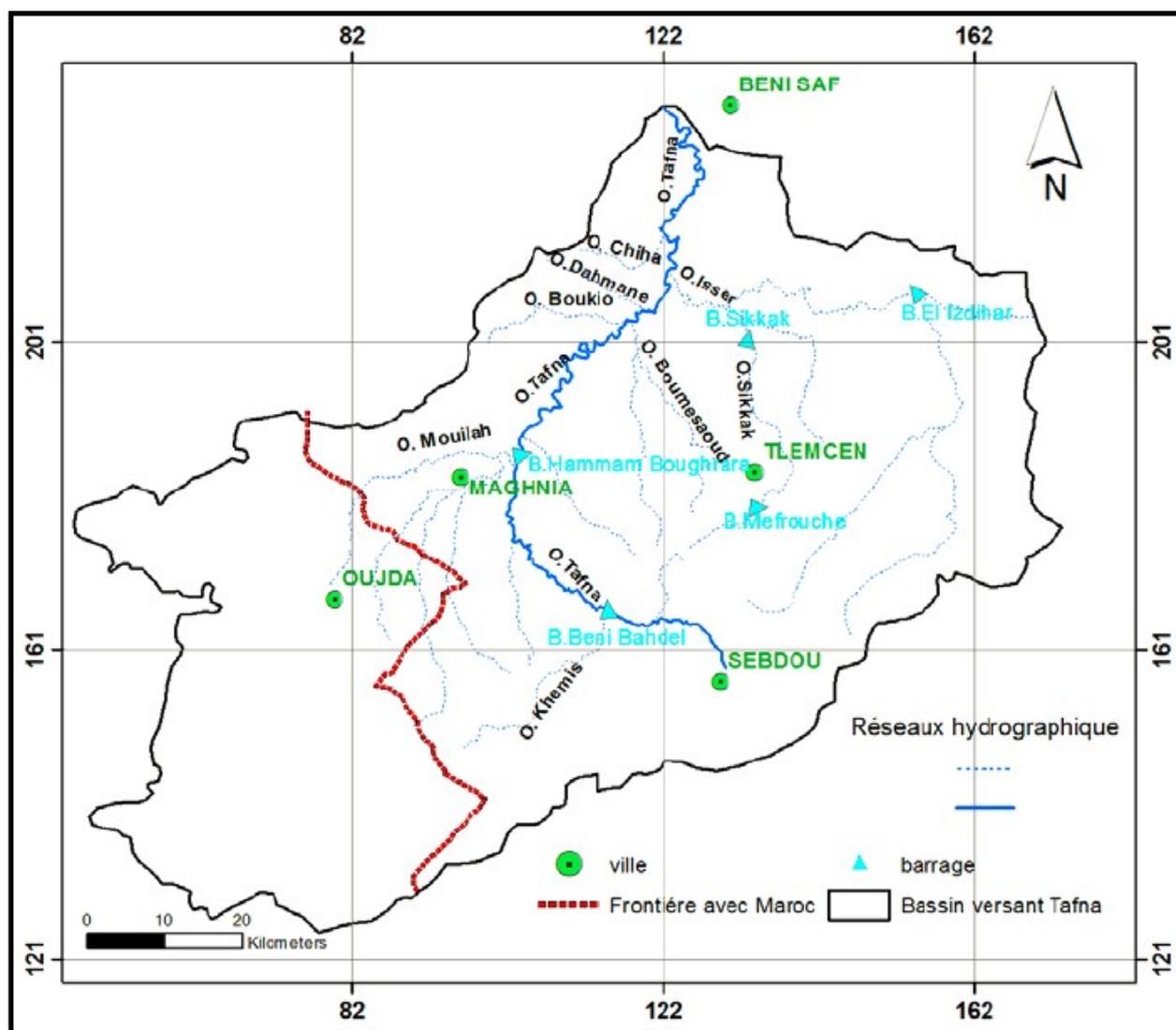


Figure II.7 : Réseau hydrographique de la Tafna (in Benmossat,2012 )

**II.3. GEOLOGIE DU BASSIN DE LA TAFNA :**

Le bassin versant de la Tafna renferme une richesse géologique très complexe, le secteur amont ou l'Oued coule à travers des roches jurassiques riches en calcaire et en dolomite, et en aval par un secteur caractérisé par des marnes recouvertes d'alluvions récentes (Guardial, 1975).

Cependant le bassin versant de la Tafna est caractérisé par une géologie complexe et diversifiée. L'évolution des terrains au niveau de ce dernier va du primaire au plio – quaternaire (Emaoune, 1996).

Nous distinguons :

Au Nord : les massifs montagneux des Traras constitués de formations jurassiques composées essentiellement de calcaire, de marne et de calcaire marneux qui se prolongent sous les assises marneuses du miocène.

➤ Au Centre : de fortes accumulations de formations alluviales anciennes recouvertes de dépôts alluviaux marins d'âge miocène supérieur et inférieur et des dépôts lacustres d'âge plus récent. Les formations alluviales récentes sont localisées tous au long des vallées et en particulier dans la base Tafna.

➤ Au Sud : les massifs calcaires des monts de Tlemcen sont constitués de terrains jurassiques carbonatés et dolomitiques qui présentent une Karstification importante. (Benest, 1985)

Les formations géologiques du bassin versant de la Tafna sont observées sur la carte de la figure II.8

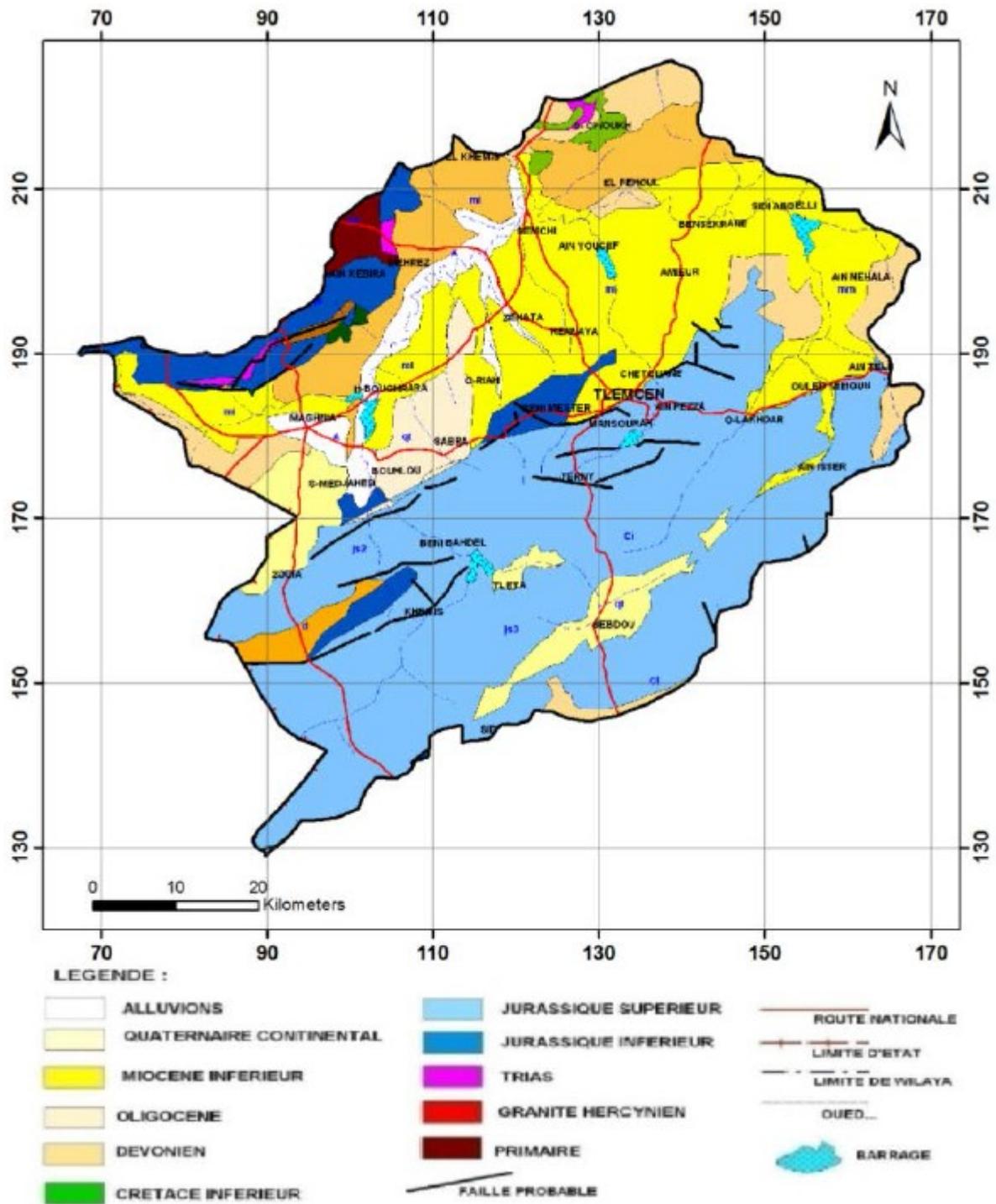


Figure II.8. Extrait de la carte du Nord d'Algerie 1 /500 000 (A.S.P.E.W.I.T , 2010)  
(in Benmossat,2012 )

## II.4. SOLS, VEGETATION ET AGRICULTURE :

Selon le ministère algérien de l'Agriculture, l'agriculture occupe une place importante dans le bassin versant de la Tafna, avec des céréales couvrant 1699 km<sup>2</sup> (23,6% de la superficie totale), l'horticulture 342 km<sup>2</sup> (4,75% de la superficie totale) et l'arboriculture 263 km<sup>2</sup> (3,65% de la superficie totale) (Ministère Algérien de l'agriculture, 2011)

Les sols du bassin de la Tafna sont composés de quatre grands ensembles :

- les terres d'alluvions qui recouvrent les basses terrasses et les lits majeurs des Oueds,
- les terres caillouteuses aux piémonts des monts de Tlemcen et des Traras,
- les terres rouges à encroûtement, localisées dans les plaines de Maghnia et Ouled Riah,
- les terres marneuses, couvrant une grande partie de la région de Tlemcen.

La végétation est un facteur déterminant de la rapidité du ruissellement superficiel, du taux d'évaporation et de la capacité de rétention du bassin. Donc la présence de végétation va jouer le rôle de « Régulateur » dans le régime d'écoulement. (Bouanani, 2004)

L'occupation végétale a une influence directe sur l'écoulement fluvial aussi bien que facteurs orographiques et climatiques. La résistance à l'écoulement est d'autant plus grande que le couvert végétal est plus dense. La végétation est un facteur déterminant de la rapidité du ruissellement superficiel, du taux d'évaporation et de la capacité de rétention du bassin. Donc la présence de végétation va jouer le rôle de « Régulateur » dans le régime d'écoulement.

Cette influence de la forêt sur le régime des eaux en domaine méditerranéen a un rôle considérable. Le paysage végétal du bassin de la Tafna a été largement dégradé et défriché en montagne par les incendies et par une petite agriculture extensive et un surpâturage endémique. Ce qui a entraîné une perte d'eau par évaporation et une accélération de l'érosion. Dans les bassins ; Sebdu, Mouillah, Isser et Sikkak, à l'exception du périmètre organisée de Maghnia, les aires d'irrigation sont localisées essentiellement dans la plaine d'Hennaya et au niveau des vallées des Oueds tels que Oued Isser et Oued Saf Saf affluent du Sikkak. Les cultures pratiquées sont dominées par des cultures maraîchères et quelques vergers d'agrumes et d'arbres fruitiers. Les forêts, les maquis et les broussailles occupent pratiquement toute la bande des monts de Tlemcen et une partie des monts des Traras.

Pour la distribution du couvert végétal par bassin, nous avons rassemblé et classé les diverses formes de culture de la façon suivante :

- **Cultures extensives** : elles rassemblent toutes les cultures annuelles telles que les céréalicultures, les cultures maraîchères et l'association entre l'arboriculture et le maraîchage.

- **Couvert forestier dégradé** : sont rassemblés sous ce thème les maquis et les forêts clairs, les zones en cours de reboisement, les forêts et les maquis dégradés par l'utilisation excessive du sous sol forestier, le pâturage sauvage et irrationnel compromettant la rénovation, le déboisement intégral pour installer d'autres cultures et les effets des incendies. Dans le mont de Tlemcen, on observe un matorral élevé à moyen de la série du Toya, avec des enclaves à pin d'Alep, chêne verts et chêne liège. Ces dernières forment de petites forêts comme celle de Zarifet qui a été incendiée en 1984.
- **Couvert forestier normal** : représenté essentiellement par les forêts et les maquis denses n'ayant subi aucune dégradation que ce soit par l'action de l'homme (pâturage sauvage, déboisement) ou par l'effet des incendies.
- **Arboriculture** : représentée principalement par les vignobles et l'olivieraie, et les agrumes, vergers et murais en quantité inférieure.
- **Couvert mort** : sont désignés par ce terme tous les terrains sur lesquels n'est présente aucune forme de végétation ou de culture utilisable, rendu nu par l'érosion ou par d'autres formes de dégradation.
- **Prairies et terrains de pacage** : représentés par les surfaces qui sont utilisées pour la plupart en pâturage direct des animaux, les terres occupées par l'alfa et la lavande. (Bouanani, 2004)

## **II.5. CLIMAT DE BASSIN VERSANT DE LA TAFNA :**

La région de Tlemcen est à climat méditerranéen qui est un climat de transition entre la zone tempérée et la zone tropicale. Ce climat est défini aux termes des précipitations et de la température, il est caractérisé par ; une haute variabilité saisonnière; des étés chauds et secs et des hivers frais et humide

Il faut noter que le régime général des pluies dans le bassin versant de la Tafna est celui des zones semi-arides méditerranéennes de l'Afrique du Nord. Cependant, les précipitations, facteur d'humidité, se concentrent particulièrement sur les Monts de Tlemcen ; qui sont relativement une région forestière ; dont l'altitude peut aller de 700 m à plus de 1000 m. (Benabdeli,1996)

Le volume d'informations pluviométriques recueillies dans le bassin versant de la Tafna est constitué de plusieurs stations, réparties d'une façon plus au moins uniforme.

Pendant l'été, la plupart des cours d'eau, surtout dans leurs parties en aval, deviennent la plupart du temps secs entre juin et octobre. La température moyenne de l'eau varie de 11 ° en hiver à 28 ° en été (Remaoune, 1996). Les précipitations annuelles sont entre 240 et 688 mm/ an (ANRH, 2003).

Le climat de la Tafna a été marqué par une succession de périodes de sécheresses : (1917-1924), (1939-1947), (1955-1962) et (1975-1986). On peut dire qu'une sécheresse se produit tous les 20 à 30 ans de façon prolongée. (Bouregba, 2006).

L'évolution de la pluviométrie dans le temps 'a permis de mettre en évidence deux période de sécheresse à savoir celle des années 40 et 70 (Bouregba, 2006).

Le climat de la Tafna a été marqué par une succession de périodes de sécheresses : (1917-1924), (1939-1947), (1955-1962) et (1975-1986). On peut dire qu'une sécheresse se produit tous les 20 à 30 ans de façon prolongée (Bouregba, 2006).

Le débit à la sortie du bassin versant varie de 0 à 108 m<sup>3</sup> /s (ANRH, 2012) L'Oued Tafna a plusieurs affluents. L'affluent le plus important est l'Oued Mouillah, situé dans la région de Maghnia, qui est une zone industrielle. Cet affluent est pollué par des eaux usées et effluents industriels des villes marocaines d'Oujda, d'El Abbes et de l'Oued Ouerdeffou. Un autre affluent important est l'Oued Isser, mais son approvisionnement en eau à la Tafna a diminué depuis la construction du barrage d'Al Izdahar, qui conserve la plus grande partie de l'eau de la saison des pluies à des fins d'irrigation (Taleb, 2004).

Nous donnons a titre indicatif les normales de température et de précipitation sur deux stations a savoir, Tlemcen et Maghnia, les normales de températures est de précipitations sur une période respectivement (1952-1991) et (1926-1981) ; les températures minimales et maximales moyennes calculées sur une période commune ( 1956-1981) a la station de Tlemcen et de Maghnia sont respectivement , 11.5°C ET 20.8°C, le mois de janvier présente la plus basse valeur qui est de 5°C ; 10.9°C et 24.1°C, le mois de janvier présente la valeur la plus basse qui est de 4.8°C .Pour les précipitations le total moyen annuel pour Tlemcen est de 591,4mm et 403,5mm pour Maghnia. Les moyennes mensuelles les plus élevées sont pratiquement égales, à 58mm (Bouregba, 2006).

Il a été remarqué aussi que la tendance déficitaire des précipitations lors des 20 dernières années (a partir de 1976) ou plusieurs valeurs annuelles se trouvent au dessous de la moyenne (Bouanani, 2004).. Les études effectuées par des chercheurs sur le climat du bassin versant de la Tafna, ont montré que cette région a subit une période très sèche qui s'est installée sur ce bassin avec des déficits variant de 10% à 30% (Meddi, et al, 2003).

L'étude de la variation spatiale des précipitations dans le bassin versant se traduit par :

- une diminution des pluies d'Ouest en Est
- des baisses pluviométriques au niveau des plaines de Maghnia, des Ghossels et du fossé de Sebdu qui sont du a l'influence des barrières montagneuses des monts des Traras et ceux de Tlemcen

- Une irrégularité dans le temps : on constate qu'il existe deux périodes, l'une humide et fraîche (données anciennes : 1913/38), l'autre plus sèche et plus chaude (1970/98).

- Durant la période 1970 – 1998, la variabilité interannuelle des modules pluviométriques ( $0,26 < C_v < 0,34$ ) est moins marquée que la variabilité mensuelle. Les séries pluviométriques des stations de la Tafna s'ajustent en général à une loi normale de Gauss ou log normale.

Ces variabilités spatio-temporelles conditionnent l'écoulement et les transports solides dans le bassin de la Tafna.

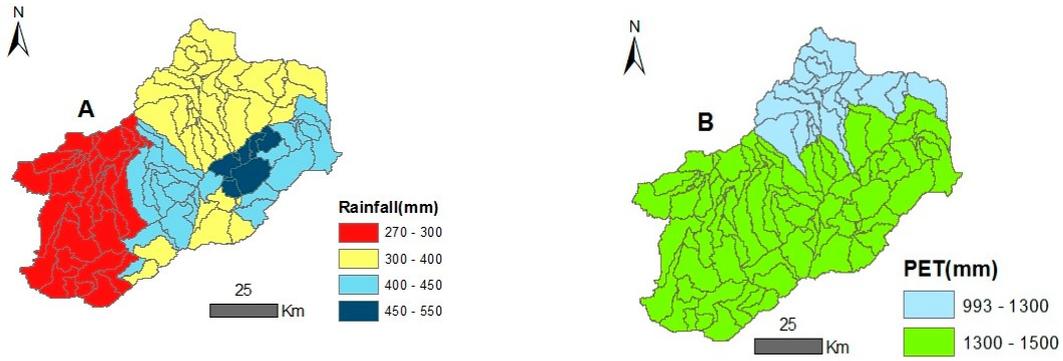
Le régime thermique est caractérisé par des températures moyennes annuelles comprises entre 15° et 17°C, avec des amplitudes annuelles assez fortes équivalentes aux températures annuelles. Ceci permet d'accentuer le phénomène de l'évapotranspiration, le tarissement des cours d'eau, l'assèchement rapide des sols, la dégradation du couvert végétal et ainsi le développement d'érosion intense et la production de sédiment par de transport solide. (Bouanani, 2004)..

Au sein du bassin versant de la Tafna, la pluie annuelle varie de 260 mm au niveau de la plaine de Tlemcen à 650 mm sur les sommets des Djbel de Tlemcen. La variabilité spatiale oscille entre 21 % et 57 % avec une moyenne (30 ans) de 30 %. Plus de 90 % des années d'observation donnent des coefficients de variation (spatiale) inférieurs à 40 %, ce qui confère à ce bassin une variabilité spatiale plus au moins modérée. (Meddi, 2005)

Le climat de la Tafna est divisé en deux saisons principales: un été-automne long, sec et chaud et un hiver-printemps avec de fortes pluies brusques et fréquentes (Taleb, et al, 2008).

D'après (Zettam et al 2017) et en utilisant le model hydrologique SWAT et d'après la figure II.10 (A) montre que les précipitations moyennes annuelles varient entre 250 et 550mm et la plus grande quantité enregistré varie entre 450 et 550mm. Cette valeur est observée au niveau des sous bassin montagneux.

La valeur de l'évapotranspiration potentielle était comprises entre 993 et 1300mm dans la partie aval du bassin versant, alors qu'elle était de 1300 à 1500mm sur l'ensemble du bassin versant, figure II.10.(B) (Zettam et al, 2017),



**Figure II.9.** Moyennes interannuelles pour chaque sous-bassin versant entre 2000 et 2013 (Zettam et al, 2017),  
 (A) précipitations (mm/an);  
 (B) évapotranspiration potentielle (mm/an);

# CHAPITRE III:

# ETUDE DES PRECIPITATIONS

## CHAPITRE III : ETUDE DES PRECIPITATIONS

Plusieurs auteurs et chercheurs se sont intéressés à la variation de la pluviométrie en Algérie, parmi ses chercheurs nous citerons : P.SELTZER (1913-1938), H.GAUSSSEN (1913-1947), MEDINGER (1913-1953) et CHAUMONT et C.PAQUIN (1913-1963), les données recueillies avant 1963 ont été traitées, après cette période la plus part des stations ont connus une période d'arrêt de 1963 à 1971. Cité en Remaoun (2007).

Dans cette partie de notre travail nous allons étudiés la variabilité mensuelle et saisonnière, la stationnarité des précipitations annuelles de quelques stations au sein du bassin versant de la Tafna, nous allons procéder ensuite à un ajustement des précipitation mensuelles de nos données en appliquant les lois de normalité à savoir : loi normale, loi log normale et la loi racine normale.

### III.1. SELECTION DES STATIONS PLUVIOMETRIQUES

Le bassin-versant de la Tafna est contrôlé par une trentaine de stations pluviométriques, soit une station pour environ 240 km<sup>2</sup>, si la densité du réseau pluviométrique est conforme aux recommandations de l'Organisation Mondiale de Météorologie (OMM) (Dubreuil, 1974), la répartition spatiale liée aux agglomérations demeure hétérogène, la plus forte concentration se situe du côté Est et du côté Sud du bassin-versant, alors qu'elle est faible le long du flanc Sud des monts des Traras. Par ailleurs, la durée de fonctionnement et la qualité des observations est variable d'une station à une autre, (Ghenim, et al, 2013),

Pour mener à bien cette partie nous avons sélectionnés huit (08) stations ; station de Beni Behdel, la station de Maghnia, la station de Maffrouche, station de Sabra, station de Chouly, station de Bensekrane, la station de Sebdou et la station de Pierre du chat dont les caractéristiques sont mentionnées sur les tableau (III.1,III.2). Les valeurs des données pluviométriques de ses stations ont été obtenues de l'Agence Nationale des Ressources en Eau (ANRH).

**Tableau III. 1:** liste des stations pluviométriques étudiées

Stations	Code de la station	longitude	Latitude	L'altitude
Beni Bahdel	160403	01°29'48"	34°42'33"	660
Bensekrane	160702	01°13'26"	35°04'28"	247
Chouly	160601	01°07'60"	34°52'00"	747
Meffrouche	160701	01°17'31"	34°51'19"	1110
Maghnia	160302	01°43'54"	34°51'12"	395
Sebdou	160401	01°48'20"	35°03'34"	652
Sabra	160502	01°32'03"	34°49'48"	255
Pierre du chat	160802	01°26'46"	35°08'41"	60

(Source ANRH)

**Tableau III.2 :** Caractéristiques des totaux annuels

Stations	Période d'étude	Moyenne (mm)	Ecart type	Coefficient de variation
Beni behdel	1941-2006	461	143	0,31
Bensekrane	1924-2006	440	144	0,33
Chouly	1969-2004	421	123	0,29
Meffrouche	1943-2005	659	194	0,29
Maghnia	1972-2006	290	91	0,32
Sebdou	1990-2010	430	132	0,27
Sabra	1970-2003	390	103	0,26
Pierre du chat	1967-2004	330	95	0,28

## III.2. ETUDE DE LA VARIABILITE DES PRECIPITATIONS MENSUELLES ET SAISONNIERES

### III.2.1. Etude de la variabilité des précipitations mensuelles

Le régime pluviométrique mensuel est variable selon les différents secteurs pris en compte, ce qui est traduit par les valeurs moyennes mensuelles de chaque station (tableau III.3) cette variation est bien illustrée à travers la figure III.1, d'autre part nous avons remarqué que le mois

Le plus pluvieux est le mois de mars et cela pour la plupart des stations, avec des valeurs variables d'une station à une autre. Lors de l'analyse des données moyennes mensuelles des 08 stations qui ont servi à la réalisation de ce travail (tableau III.3).

**Tableau.III.3:** Précipitations moyennes mensuelles (mm) des 08 stations du bassin versant de la Tafna

Station	sept	oct	nov	déc	janv	fév	mars	avril	mai	juin	juil,	août
Beni Behdel	16,23	17,93	44,67	56,41	61,23	57,97	66,35	39,16	27,86	10,86	3,03	2,07
Maghnia	12,67	21,4	7,94	28,99	26,6	37,45	37,87	35,26	27,05	5,6	2,45	4,08
Sebdou	28,27	36,88	47,39	51,22	55,22	46,84	51,14	54,18	33,70	6,26	3,00	5,65
Sabra	13,34	25,01	12,23	11,83	44,81	55,83	66,16	20,96	20,43	3,99	2,27	2,18
Bensekrane	17,41	46,9	34,81	63,22	65,5	62,35	64,02	50,73	39,35	9,92	1,53	2,6
Meffrouche	16,34	52,72	61	85,49	70,78	82	100,97	71,45	44,98	13,71	4,45	4,25
Chouy	16,52	34,37	23,7	47	53,04	56,4	66,2	41,9	35,73	7,8	5,08	4,53
Pierre du chat	12,26	29,63	45,69	42,16	38,24	42,19	48,72	32,85	23,65	5,25	0,53	3,15
<b>Moyenne</b>	<b>15,39</b>	<b>30,94</b>	<b>36,46</b>	<b>47,70</b>	<b>53,95</b>	<b>57,31</b>	<b>68,14</b>	<b>45,56</b>	<b>34,65</b>	<b>9,81</b>	<b>2,83</b>	<b>3,5</b>
<b>Min</b>	12,27	2,41	23,7	11,83	26,6	37,45	37,87	20,96	20,43	3,99	1,53	2,07
<b>max</b>	28,27	52,72	47,39	85,49	70,78	82	100,97	54,18	44,98	13,71	4,45	5,65

Nous avons remarqué que les précipitations mensuelles se concentrent principalement sur la période de décembre à avril avec des valeurs respectivement 47,7mm, 53,95mm, 57,31mm, 68,14mm et 45,56mm, nous avons constaté que le mois le plus pluvieux est le mois de mars (68,14mm), Comme on peut l'observer sur la Figure III.2, alors que les valeurs minimales correspondent aux mois de juillet et août, avec des précipitations estimées respectivement à 2,83 et 3,5 mm,

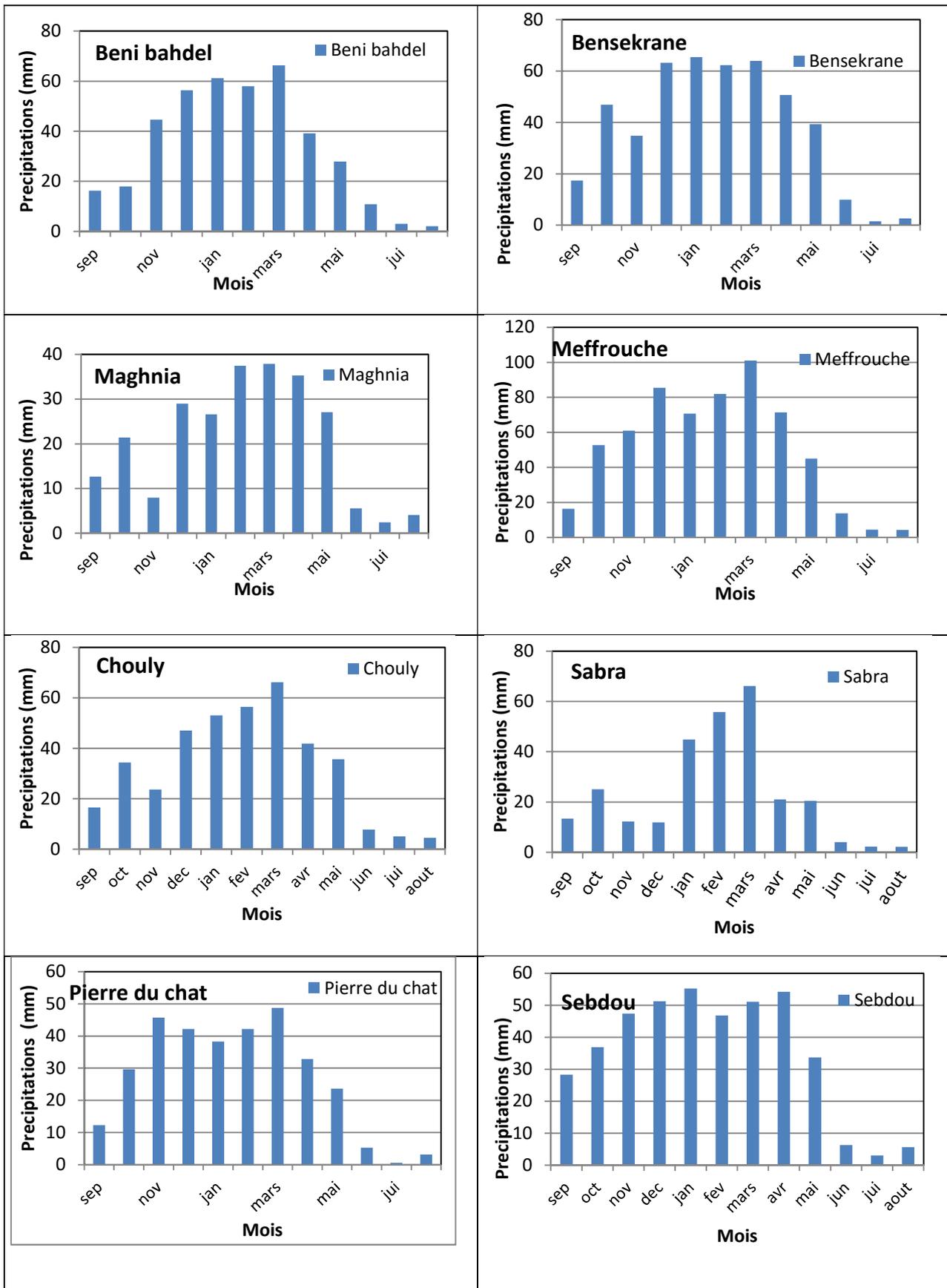


Figure III.1 Variation des précipitations mensuelles pour chaque station étudiée.

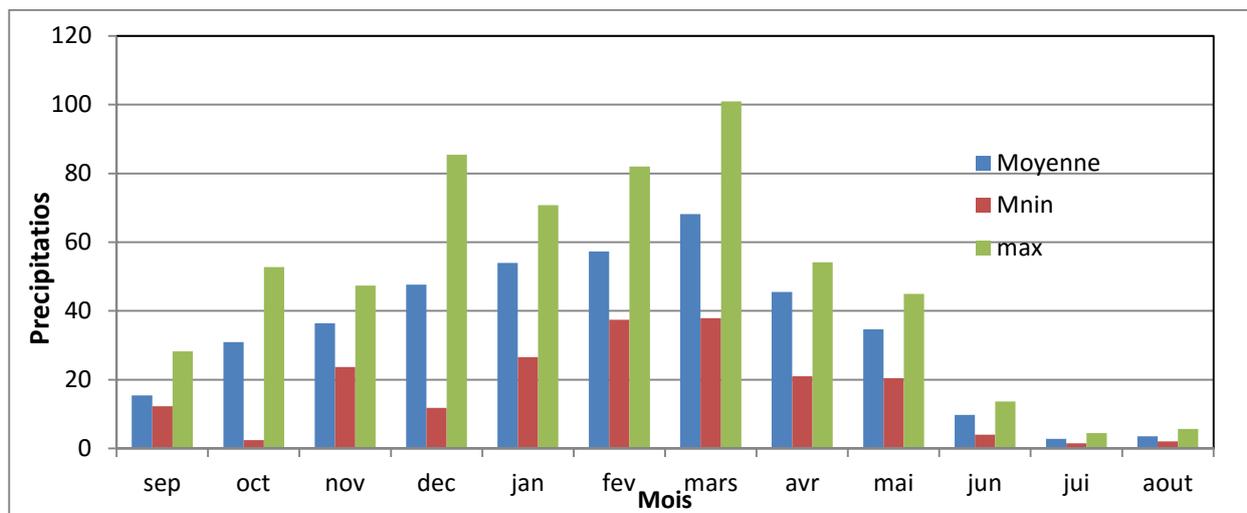


Figure III.2 Variation des précipitations mensuelles dans le bassin versant de la Tafna

III.2.2. Etude de la tendance mensuelle

Nous avons constaté précédemment qu’il y a une variabilité apparente des précipitations mensuelles pour toutes les stations étudiées dans notre travail, ce qui nous amène à détecter le changement de la variabilité de nos données. Nous avons repartis les données disponibles par mois et pour chaque station, ainsi, nous avons formé 96 tableaux représentant les douze (12) mois pour chaque station (08 stations). Le tableau III.4 si dessous est un exemple formé.

Tableau.III.4: Précipitations mensuelles (mm) des stations retenues (station de Sebdu)

Mois/Années	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
1990	19.8	74.2	146.5	6.5	40.5	0.6	2.4	6.6	46.1	12.2	23.4	73.0
1991	13.4	20.0	130.5	96.1	73.3	11.0	2.0	10.3	22.6	61.5	24.9	11.7
1992	0.5	31.1	9.4	44.2	61.7	0.4	2.6	4.0	5.1	14.4	25.4	26.3
.....	...	....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	....	.....	.....	.....
2009	31.3	56.3	67.6	46.1	41.8	12.6	10.1	24.6	50.2	0.0	9.8	38.8
2010	13.4	47.5	22.7	41.0	47.6	28.6	13.5	18.00	30.2	54.1	16.6	27.7

Nous avons ensuite tracé une courbe représentant les précipitations mensuelles mois par mois et pour chaque station, une droite de tendance avec l’équation de la régression linéaire. Nous avons ainsi obtenu 92 courbes qui sont résumées sur les figures III.3 à III.10.

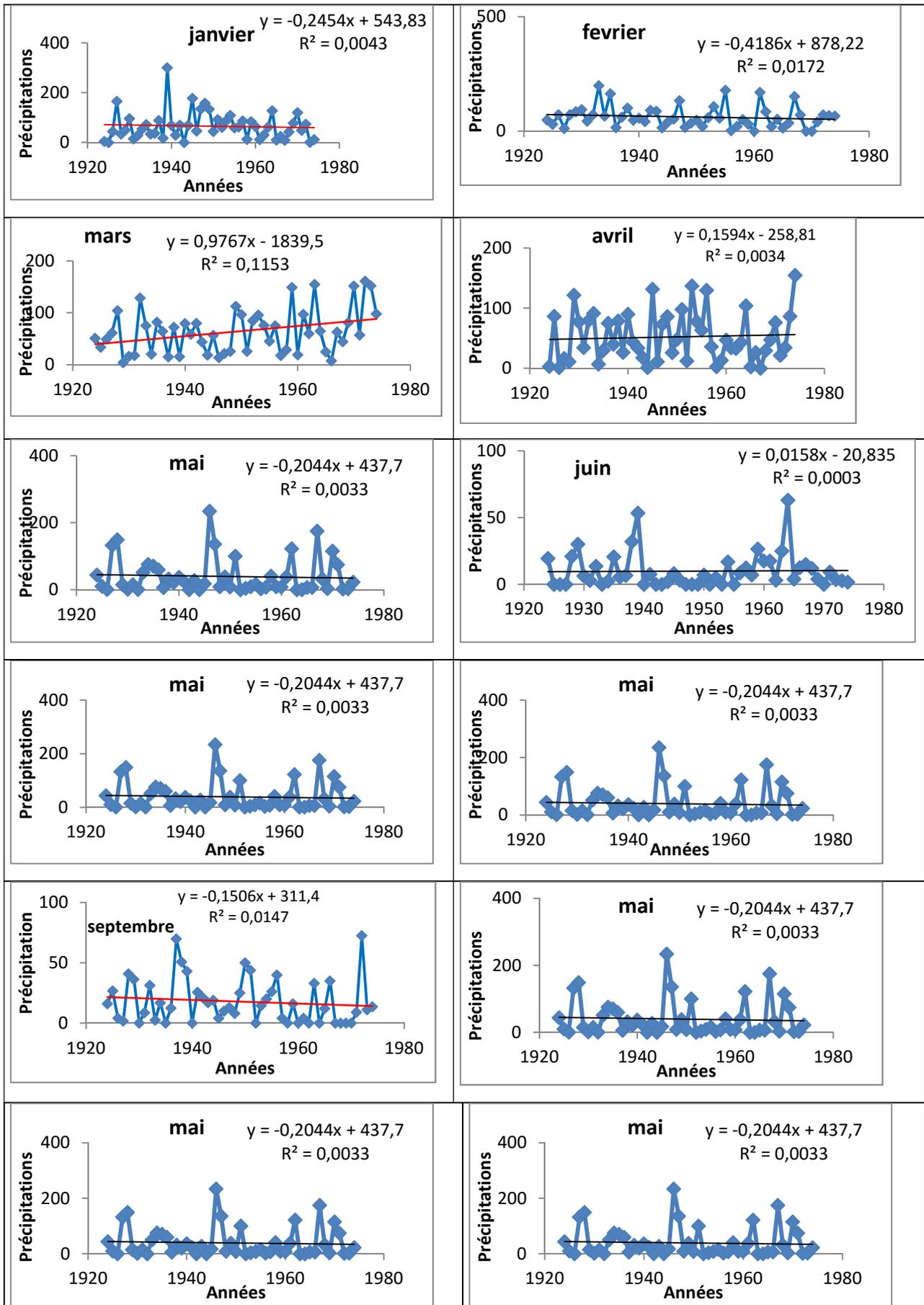


Figure III.3 courbe de la pluviométrie mensuelle et sa droite de régression (station Bensekrane)

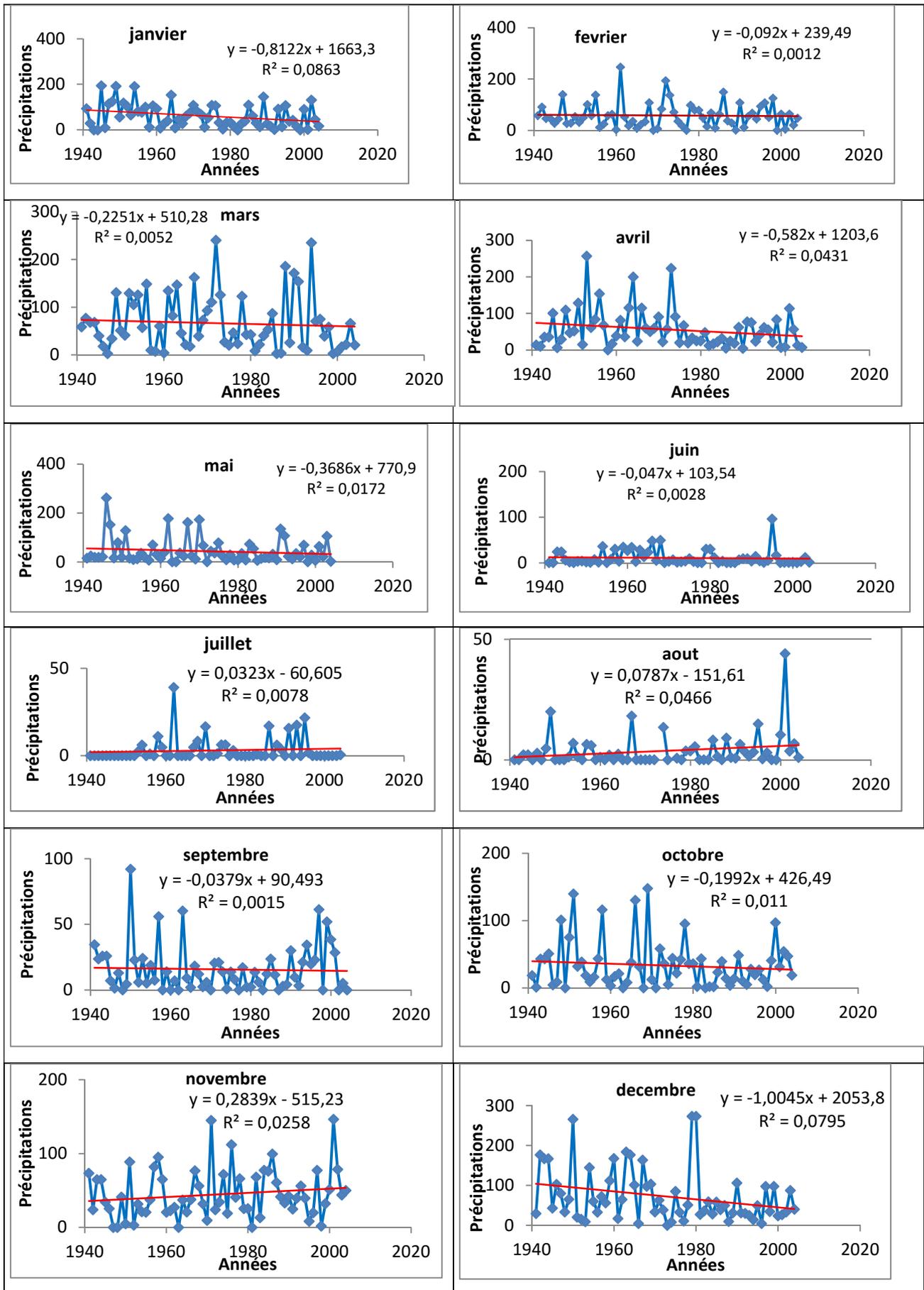


Figure III.4 courbe de la pluviométrie mensuelle et sa droite de régression (station Beni Bahdel)

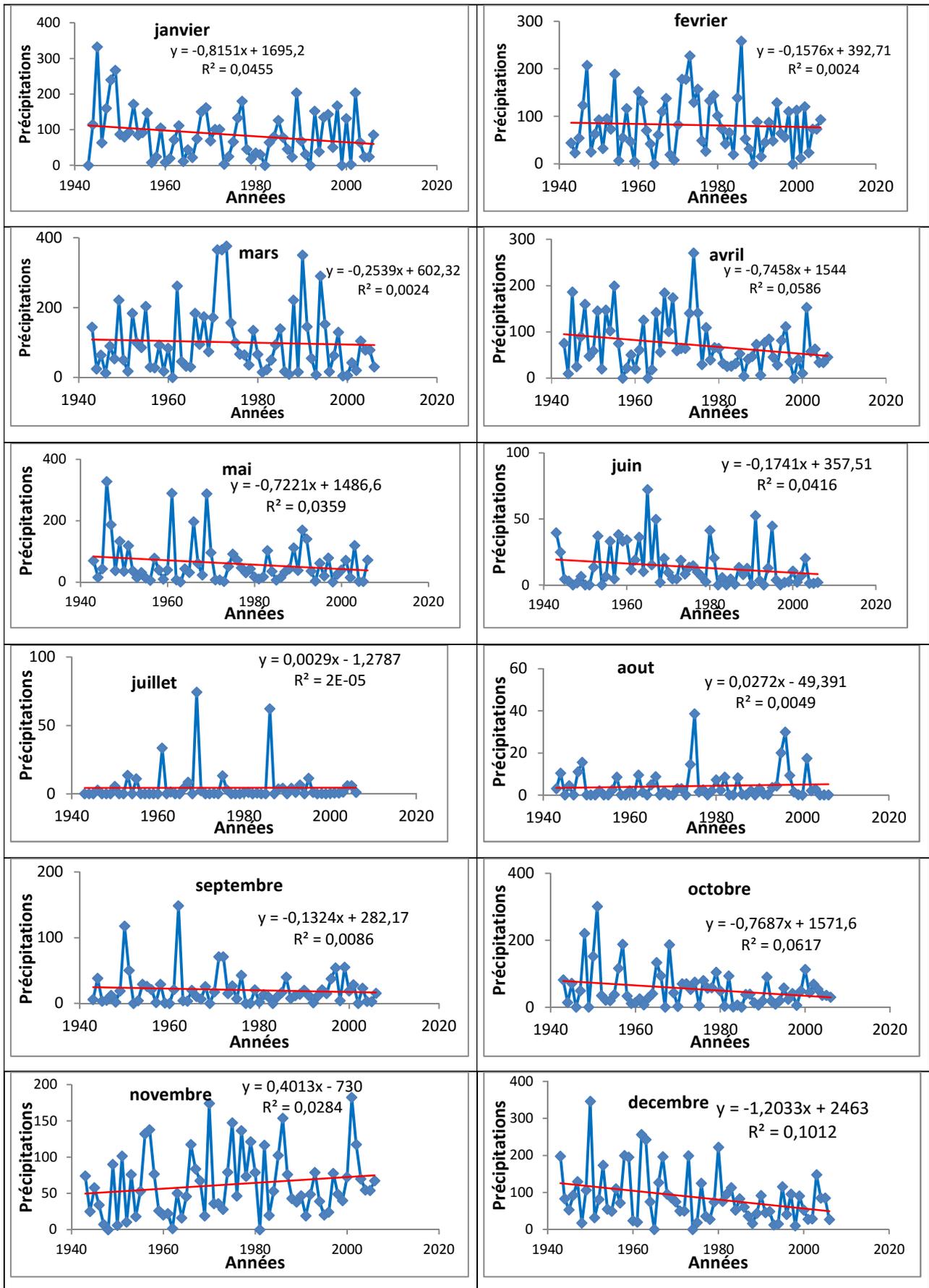


Figure III.5 courbe de la pluviométrie mensuelle et sa droite de régression (Meffrouche)

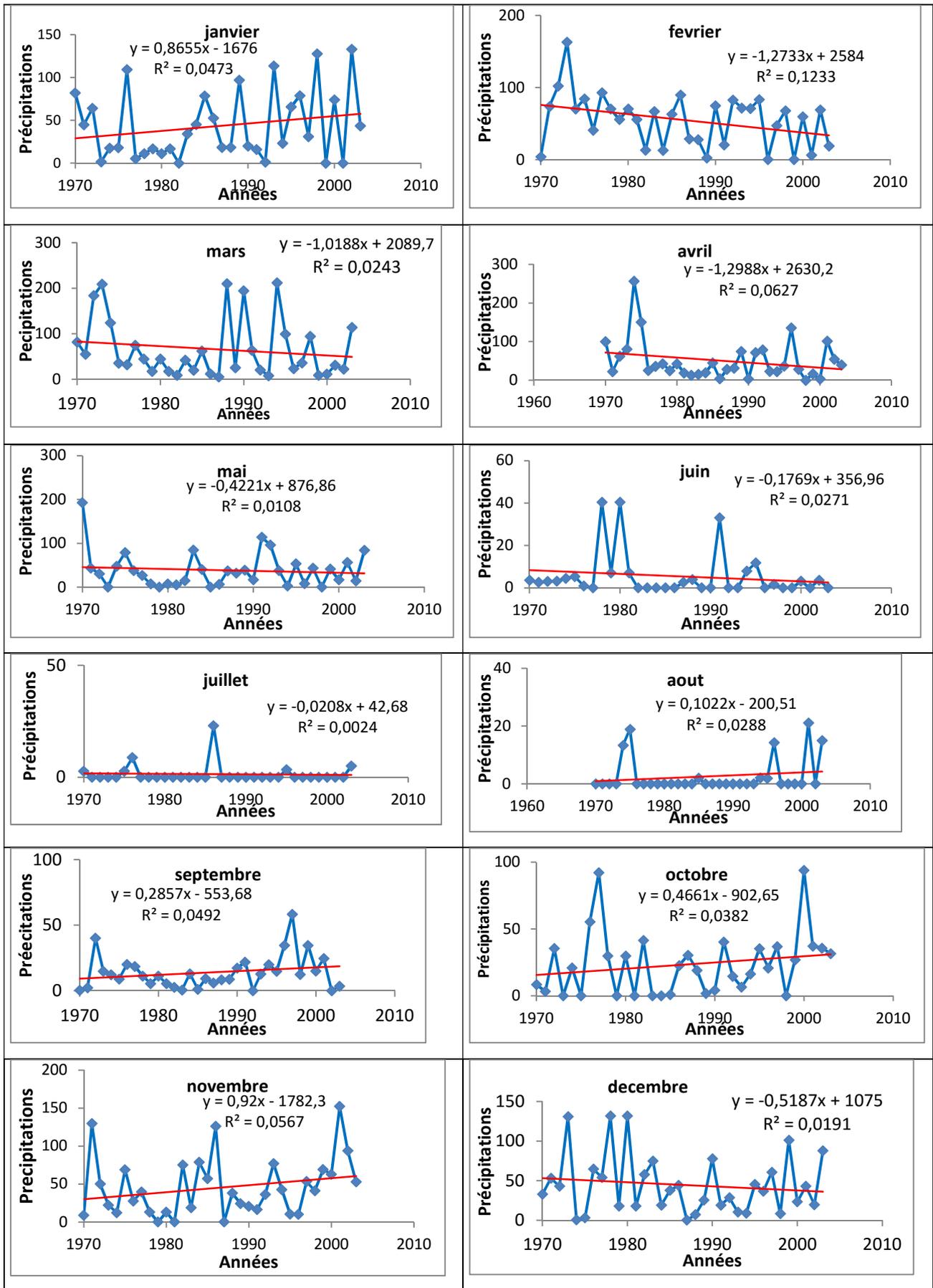


Figure III.6 courbe de la pluviométrie mensuelle et sa droite de régression (Sebra)

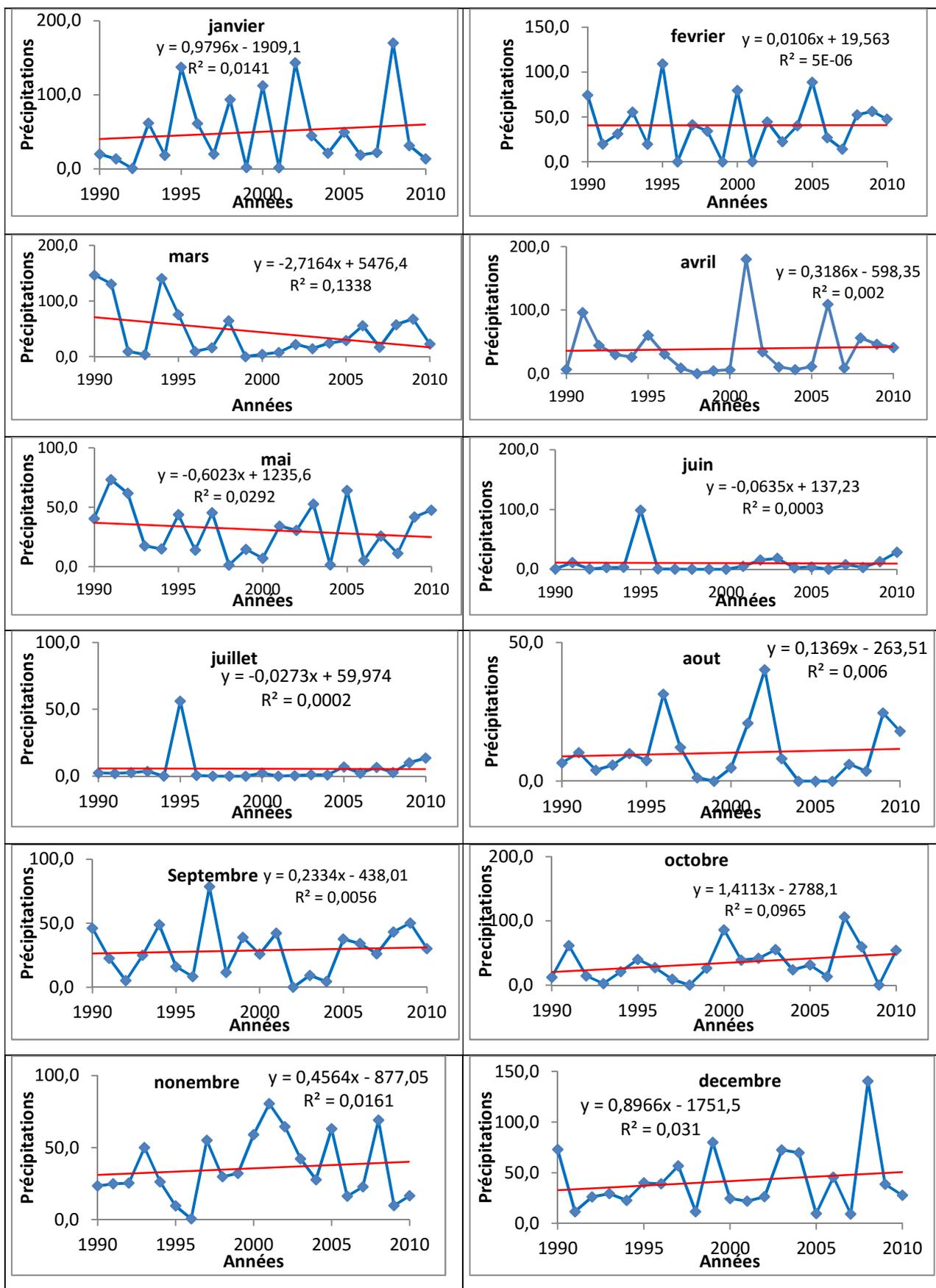


Figure III.7 courbe de la pluviométrie mensuelle et sa droite de régression (Sebdou)

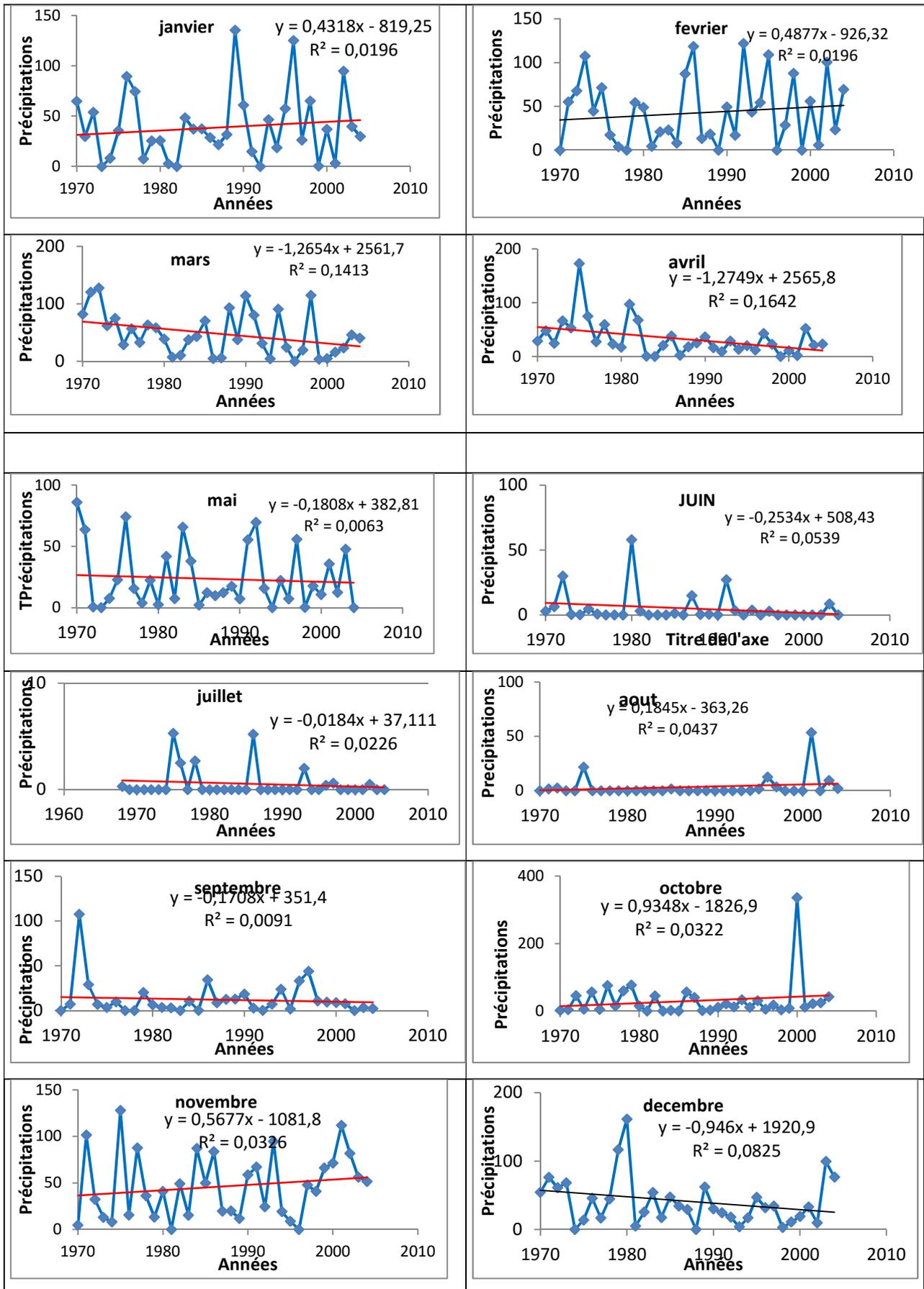


Figure III.8 courbe de la pluviométrie mensuelle et sa droite de régression (Pierre du chat)

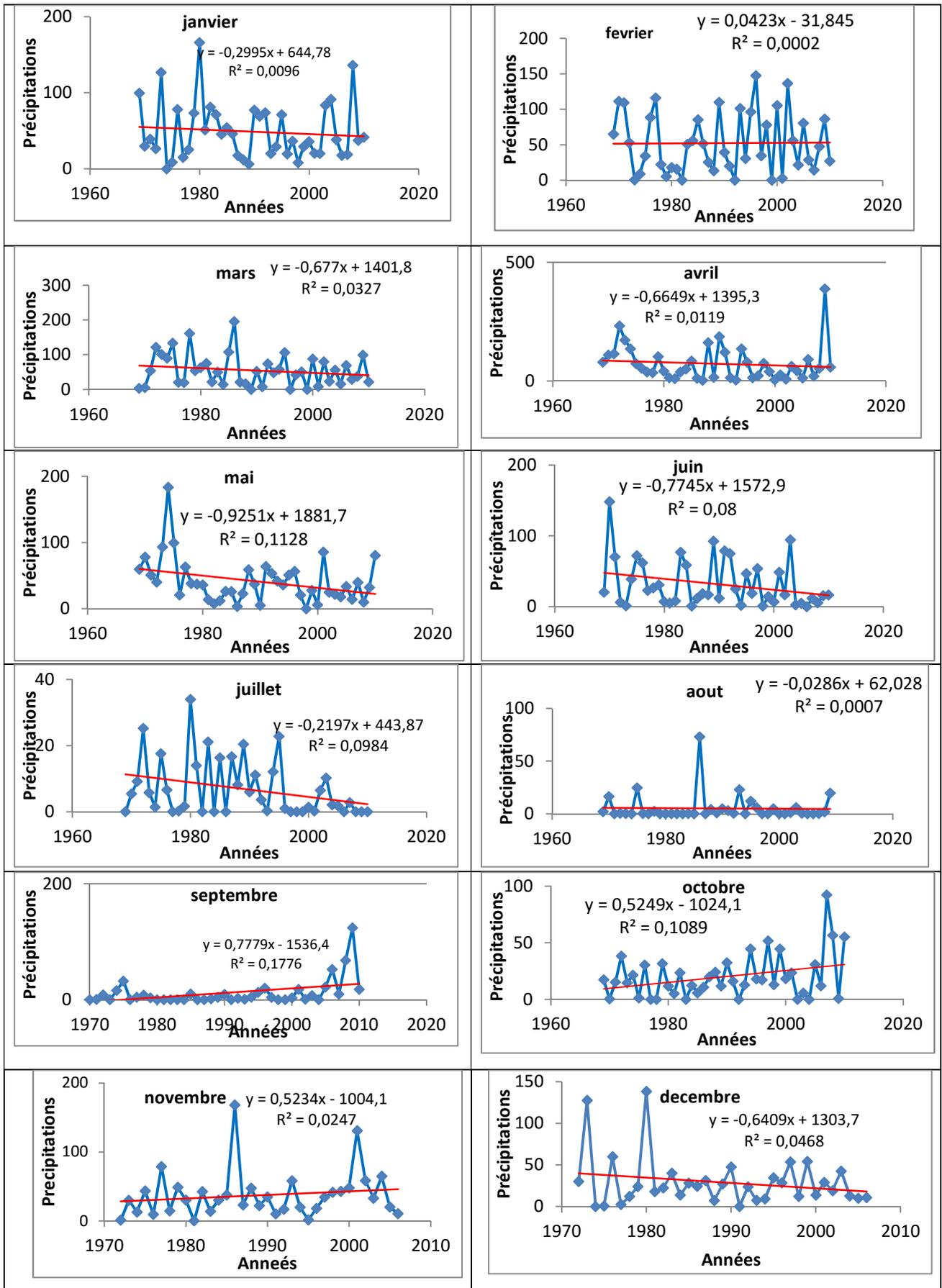


Figure III.9 courbe de la pluviométrie mensuelle et sa droite de régression (Maghnia)

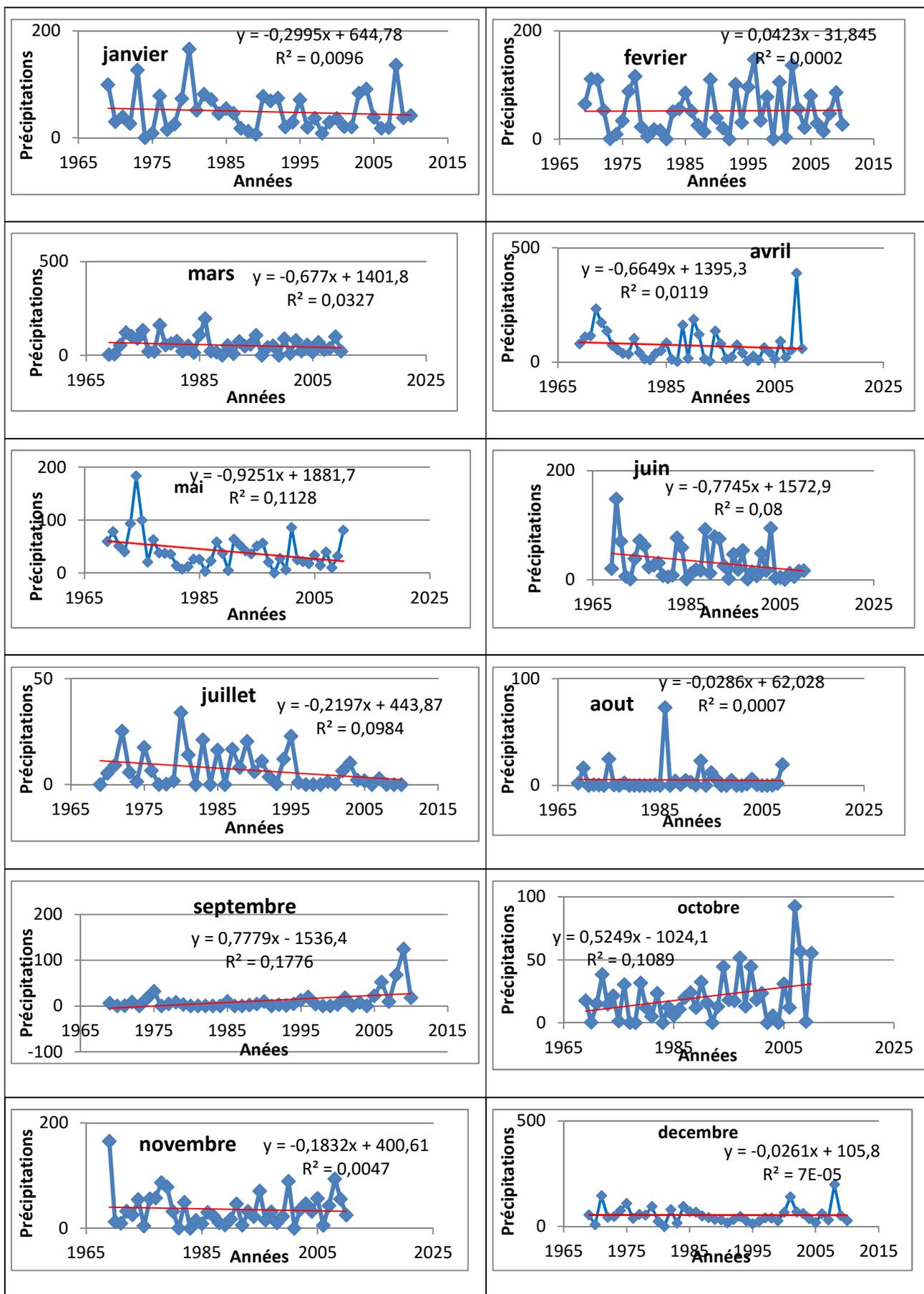


Figure III.10 courbe de la pluviométrie mensuelle et sa droite de régression (Chouly)

D'après les courbes des tendances de la pluviométrie mensuelles des stations utilisées que nous avons tracées, sachant que la valeur et le signe de la pente de de chaque courbe représentent la tendance de la droite de régression linéaire ; signe positif implique une tendance positive, signe négative correspond à une tendance négative. Nous constatons des stations et des mois ayant des tendances positives qui signifient une augmentation de la pluviométrie dans le mois au sein d'une station, (le mois de novembre de la station de Maghnia) par exemple, et négatives qui confirment une diminution de la pluviométrie mensuelle dans la région (mois de février de la station de Sabra). D'autre part, certain mois de quelques stations n'ont pas de tendance perceptible vu la valeur du coefficient de corrélation qui est très faible (le mois de juin pour la station de Bensekrane  $R^2 = 0.0003$  et le mois d'aout de la station de Chouly  $R^2=0.0007$ ).

### III.2.3. Variabilité des précipitations saisonnières

L'étude de la viabilité des précipitations saisonnières a pour objectif de voir si la variation de la pluviométrie (la hausse et la baisse) est liée à une saison particulière ou à plusieurs saisons.

Nous avons classé les saisons selon les données mensuelles dont nous disposons, elles sont résumées dans le tableau III.5.

**Tableau III.5 :** Répartition des mois selon les saisons

Saisons	Mois
Automne	Octobre – Novembre - Décembre
Hiver	Janvier – Février - Mars
Printemps	Avril- Mai- Juin
Été	Juillet - Aout - Septembre

La distribution saisonnière de la précipitation dans le bassin versant de la Tafna est variable selon les stations analysées, tableau III.6, elle n'est pas homogène comme nous pouvons le constaté sur la figure III.11 ; Il est a signalé que l'essentielle des précipitations sont enregistrées en hiver et en automne pour la plupart des stations, figure III.11.

**Tableau III.6** Précipitations moyenne (mm) de quelques stations du bassin versant de la Tafna

Station	Automne	Hiver	Printemps	Été
Beni Behdel	119.01	185.55	77.88	21.33
Maghnia	58.33	101.92	67.91	19.2
Sebdou	135.49	153.2	94.14	36.92
Sabra	49.07	166.8	45.38	17.79
Bensekrane	144.93	191.87	100	21.54
Meffrouche	199.21	253.75	134.59	25.04
Chouy	105.07	175.64	85.43	26.13
Pierre du chat	117.48	129.15	61.75	15.94

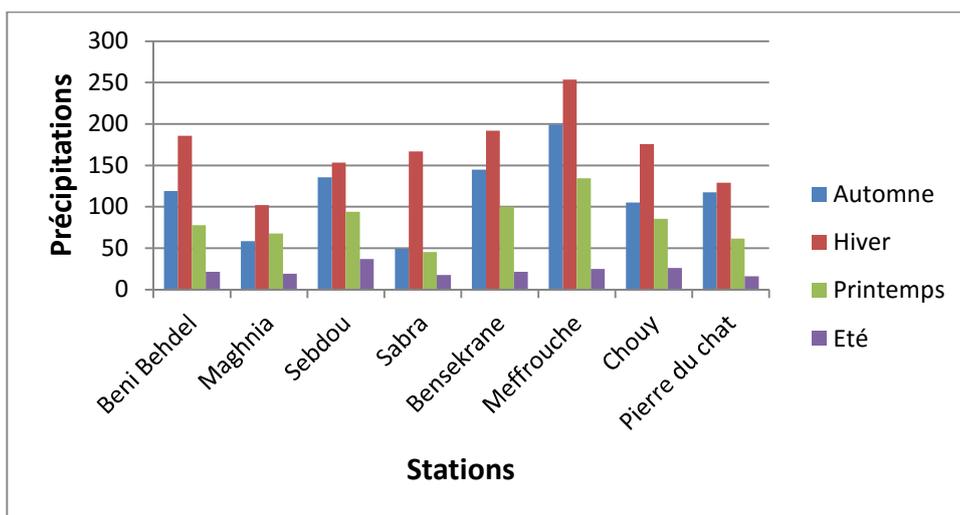


Figure III.11. Variation des précipitations saisonnières pour chaque station

Nous avons remarqué qu’il y a deux saisons qui se partagent le maximum, l’hiver ou le total de pluie varie de 253.75mm à 101.92 et l’automne avec des valeurs comprises entre 144.93mm et 49.07mm, comme on peut le constater dans le tableau III.7.

Tableau III.7 Variation des précipitations (mm) de quelques stations du bassin versant de la Tafna

	Automne	Hiver	Printemps	Eté
<b>P,moy</b>	116.07	169.73	83.38	22.98
<b>P,min</b>	49.07	101.92	45.38	15.94
<b>P,max</b>	199.21	253.75	134.59	36.92

D’autre part, nous avons constaté à travers la figure III.12 et III.13, qu’en moyenne, le maximum saisonnier se situe en hiver avec une valeur de 169,73mm qui atteint 43% et un second maximum en automne (116,07mm) qui correspond a (30% ), nous pouvons dire aussi que le printemps est une saison qui est relativement pluvieuse (83.38mm) qui représente 21%. En outre l’été est la saison la plus sèche avec une pluviométrie moyenne de 22.98mm avec un faible pourcentage de précipitations par rapport aux autres saisons (6%).

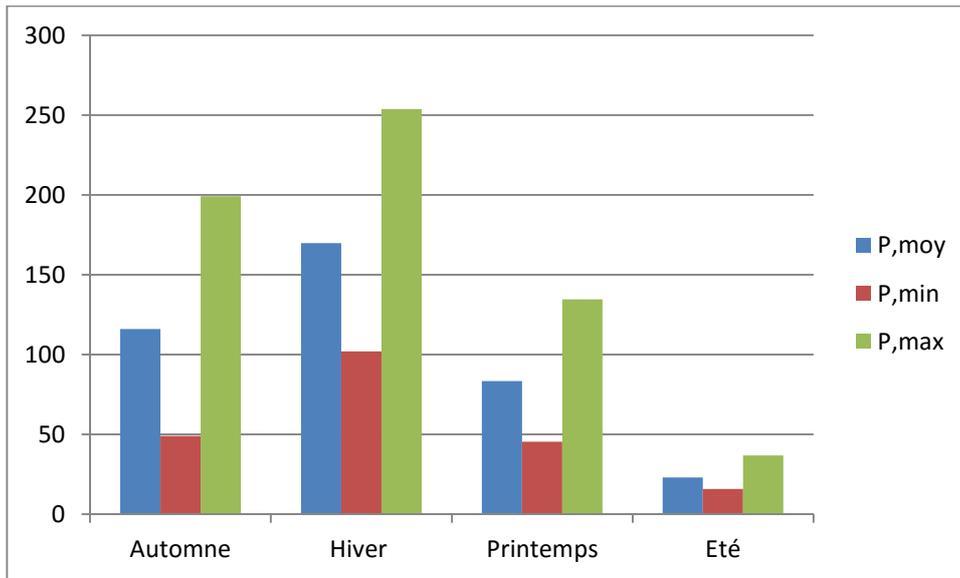


Figure III.12. Variation des précipitations saisonnières dans le bassin versant de la Tafna

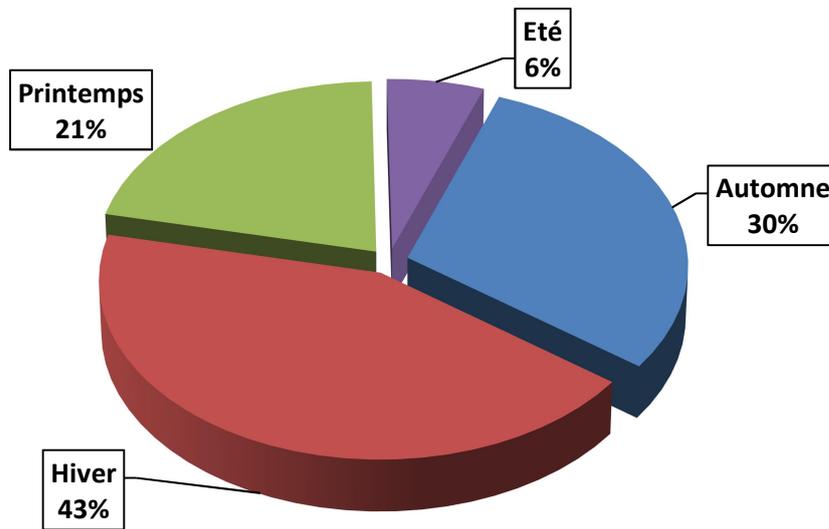


Figure III.13. Variation des précipitations saisonnières dans le bassin versant de la Tafna

### III.3. ETUDE DE LA STATIONARITE DE LA PLUVIOMETRIE :

Une série de donnée pluviométrique est dite stationnaire si elle provient d'un phénomène dont les caractéristiques sont indépendantes du temps. Une série de données dites non stationnaire si les caractéristiques du phénomène évoluent dans le temps.

Les tests disponibles se focalisent sur des points très particuliers, il importe donc de choisir des tests qui s'approprient bien à la situation. Par exemple, un test de tendance en moyenne pourra aboutir à la conclusion qu'il n'y a pas de tendance en moyenne pour la série testée mais n'apportera aucune information concernant la variance ou la fréquence et la magnitude des extrêmes qui peuvent très bien avoir évolué. (Guyot, 1997) (Le maitre. 2002).

Il existe plusieurs techniques statistiques adaptées à l'analyse de la stationnarité d'une série pluviométrique; Tests de détection d'un changement générale dans la distribution, test de détection d'une rupture, tests de tendance:

Ce qui nous a mené à faire une sélection de tests de stationnarité pour évaluer les plus performants, Le test de MANN – KENDALL (1975) et le test de PETTITT (1979) seront utilisés pour tester la stabilité de la pluviométrie dans le temps,

**A) Test de MANN – KENDALL** : C'est un test non paramétrique, il utilise la série des rangs au lieu de la série d'observations qui permet de déterminer le seuil de signification pour la présence d'un terme tendanciel,

Soit la série  $X_i$ ,  $i$  varie de 1 à  $n$ , on calcul pour chaque élément, le nombre élément qui le précède et qui lui sont inférieur et l'on fait la somme de ces nombres  $(t)$ , plus  $(t)$  est grand plus l'organisation de la série est importante,

La variable  $(t)$  est distribuée selon la loi normale,( Ouarda et al,1999), (Kendall , 1975), (Sneyer. R, 1975),

$$(t) = \sum_{i=1}^n n_i \dots \dots \dots III.1$$

La moyenne et la variance sont données respectivement par les formules si après :

$$E(t) = \frac{n(n-1)}{4} \dots \dots \dots III,2$$

$$Var(t) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{72} \dots \dots \dots III.3$$

Si on détermine la probabilité  $(\alpha_1)$  à l'aide de la table de la loi normale centrée réduite tel que :

$$\alpha = P(|U| > U(t)) \dots \dots \dots III.4$$

Avec :

$$U(t) = \frac{[t - E(t)]}{\sqrt{Var(t)}} \dots \dots \dots III,5$$

- l'hypothèse est nulle (absence de tendance significative) est acceptée ou rejetée au niveau de  $\alpha_0$  selon que l'on a  $\alpha_1 > \alpha_0$  ou  $\alpha_1 < \alpha_0$  ; On conclue à une tendance croissante ou décroissante selon que  $U(t)$  est positive ou négative, In (Le maitre. F, 2002).

Dans le cas d'une tendance significative, les deux courbes progressive et rétrograde permettent de situer approximativement la date du début de cette tendance,

**B) Test de PETTIT:** Il reprend le fondement du test de Mann – Whitney en le modifiant; le test de PETTITT est un test sur le rang: il est donc non paramétrique et libre, Ce test est réputé, robuste et ses performances en terme de puissance sont supérieures (Pettitt, 1979) (Dmarée , 1990) ( Benavent, 2001) (Vannitsen et al, 1991) .

Le test de Pettitt consiste à découper la série principale de N éléments en deux sous séries à chaque instant t compris entre 1 et N- 1,

On dit que la série principale présente une rupture à l' instant t si les deux sous séries ont des distributions différentes,

Si l'hypothèse nulle  $H_0$  de non rupture est rejeté, une estimation de la date de rupture est donnée pour l' instant t, présentant le maximum de la valeur absolue de la variable  $U_{t,N}$  (GUYOT G, 1997)

$$K_N = \max |U_{t,N}| = \sum \sum D_{ij} \dots\dots\dots,III,6$$

Avec :  $D_{ij} = (X_i - X_j)$  ou :

$$D_{ij} = 1 \quad \text{Si } X_i - X_j > 0$$

$$D_{ij} = 0 \quad \text{Si } X_i - X_j = 0$$

$$D_{ij} = -1 \quad \text{Si } X_i - X_j < 0$$

Soit  $\alpha$ , représentant un risque de première espèce ;

$H_0$  est rejetée si une certaine probabilité calculée à partir d'une série chronologique étudiée est inférieure a  $\alpha$  :

$$Pr_0 (K_N > K) = 2 \exp [-6K^2 / (N^3 + N^2)] \dots\dots\dots,III,7$$

Le seuil de signification est donné par la quantité suivante :

$$Q = \pm \sqrt{\frac{-(N^3 + N^2) \log(\alpha/2)}{6}} \dots\dots\dots,III,8$$

Ce test a été choisi pour son utilisation dans de nombreuses études de détection de la stationnarité, pour sa robustesse et sa puissance surtout en ce qui concerne le test de rupture sur la moyenne (Pettitt, 1979), (Lubes. et al, 1994).

Nous allons appliquer les deux tests à l'échelle annuelle, qui va nous permettre de définir la stationnarité de la pluviométrie annuelles des séries longues, pour mener à bien ce travail nous avons essayé d'avoir le maximum de données concernant cette région (tableau III.2). Pour ce faire et vue l'importance des données et le nombre de stations à étudier nous avons élaborés des programmes informatiques en turbo pascal relatifs à chaque test,

**III.3.1 Résultats et analyses :**

Nous allons procéder à l'analyse des résultats obtenus par l'application des tests sélectionnés.

**A-a, Test de Mann Kendall:**

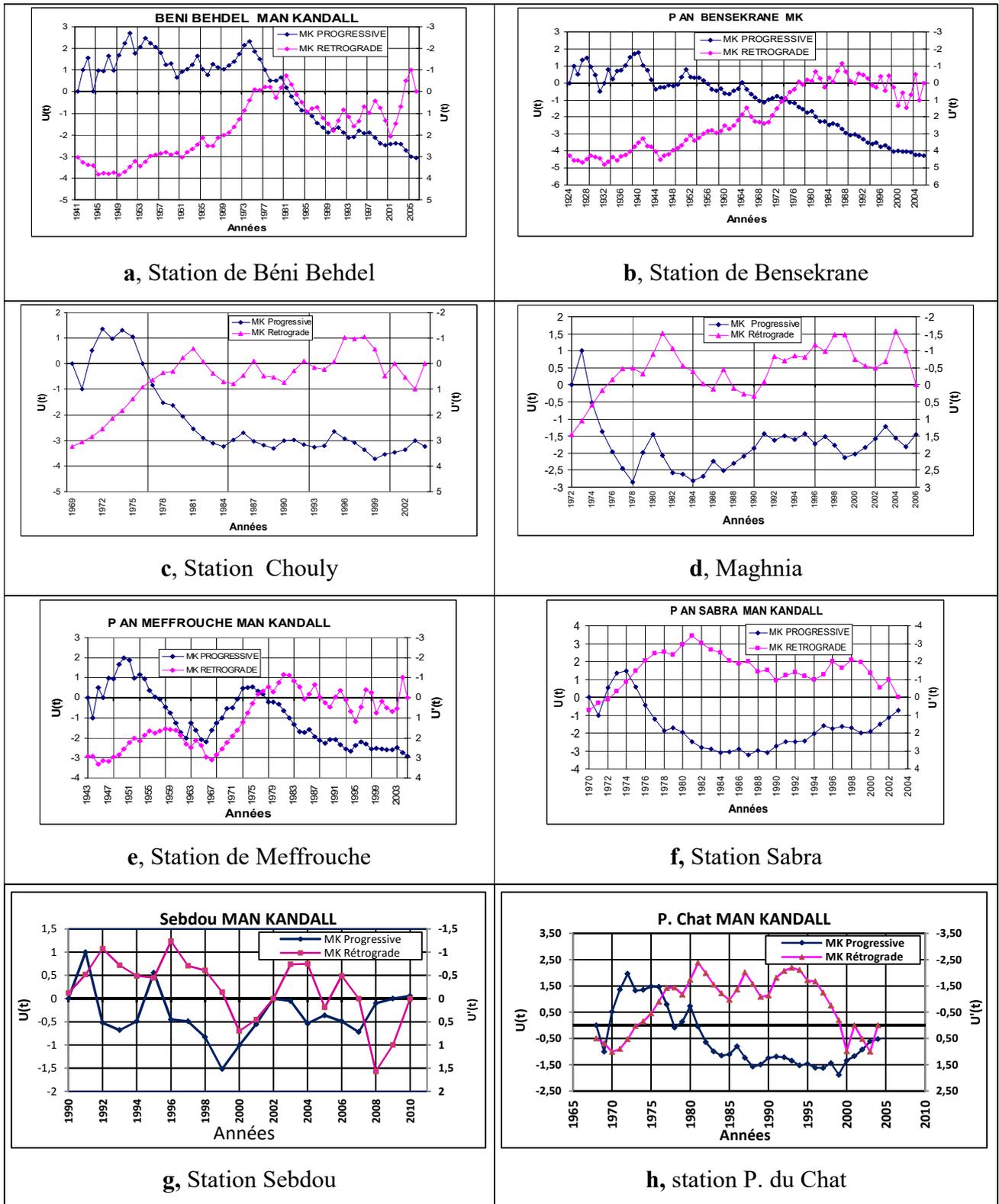
Les résultats de l'application du test de Mann Kendall sont résumés sur les tableaux ci-dessous :

**Tableau III.8 :** Résultats du test statistique de Mann Kendall appliqué aux totaux annuels

Totaux pluviométriques annuels				
Stations	Période d'étude	U (t)	Seuil de signification	Début de la dernière tendance
Beni behdel	1941-2006	-3,06	1,96	1993
Bensekrane	1924-2006	-4,28	1,96	1974
Chouly	1969-2004	-3,24	1,96	1978
Meffrouche	1943-2005	-2,91	1,96	1978
Maghnia	1972-2006	-1,46	-	1975
Sabra	1970-2003	-0,72	-	1975
Sebdou	1990-2010	0.06	1.96	1998
P. du Chat	1968-2004	-2.3	1.96	1999

- La figure III,14 présentent les courbes progressives et rétrogrades du test pour les stations utilisées, concernant les totaux pluviométriques annuels; la statistique de ce test montre que ces derniers représentent des tendances significatives à la baisse au niveau du seuil de 5 % pour la plus part des stations utilisées; cela est affirmer sur le tableau III.8

A partir des courbes progressives et rétrogrades sur ces périodes, nous confirmons une tendance négative significative inscrite au début des années quatre-vingt-dix pour la station de Béni Bahdel (1993) et au début des années soixante-dix du vingtième siècle pour les autres stations (1974) pour la station de Bensekrane, (1978) pour les stations de Chouly et Meffrouche, pour les stations de Sebdou et Pierre du Chat le début de la dernière tendance est observée respectivement en (1998) et(1999).



Figure, III, 14 Etude de la tendance pluviométrique annuelle par le test de Mann Kendall

**A-b) Test de Pettitt:**

Le test de Pettitt est accepté à 95% pour la majorité des stations, l'application de ce test montre qu'il y a une rupture de la stationnarité des totaux pluviométriques annuels au début des années soixante à la station de Bensekrane (1964) et au milieu des années soixante-dix aux stations de Beni Behdel (1974), Meffrouche (1975), et Sabra (1976), pour la station de Maghnia et P. du chat la rupture a eu lieu au début des années quatre-vingt (1980), concernant la station de Sebdou la rupture est observée à la fin des années quatre-vingt-dix, comme le montre le tableau III,13 et la figure,III,15, Nous avons constaté une réduction entre la moyenne avant et après la rupture pour l'ensemble des stations; avec un taux de réduction de 17% pour les stations de, Chouly et Béni Bahdel, de 10% pour les stations de Maghnia et Sabra de 38% pour la station de Meffrouche et de 15% pour la station de Bensekrane ,

**Tableau III.9 : Résultats du test de Pettitt statistique appliqué à l'échelle annuelle**

Stations	Période d'étude	Totaux pluviométriques annuels				
		Valeurs de Kn	Prob (Kn)	Rupture la plus significative	Moy avant la rupture (mm)	Moy après la rupture (mm)
Béni Behdel	1941-2006	714	0,000056	1974	461	379
Bensekrane	1924-2006	956	0,00015	1964	440	373
Chouly	1969-2004	232	0,0023	1980	421	349
Meffrouche	1943-2005	536	0,0022	1975	659	403
Maghnia	1972-2006	158	0,06	1980	290	260
Sabra	1970-2003	163	0,0038	1976	390	358
Sebdou	1990-2010	29	0 ,0045	1999	371	333
P. du Chat	1968-2004	148	0,159906	1980	330	300

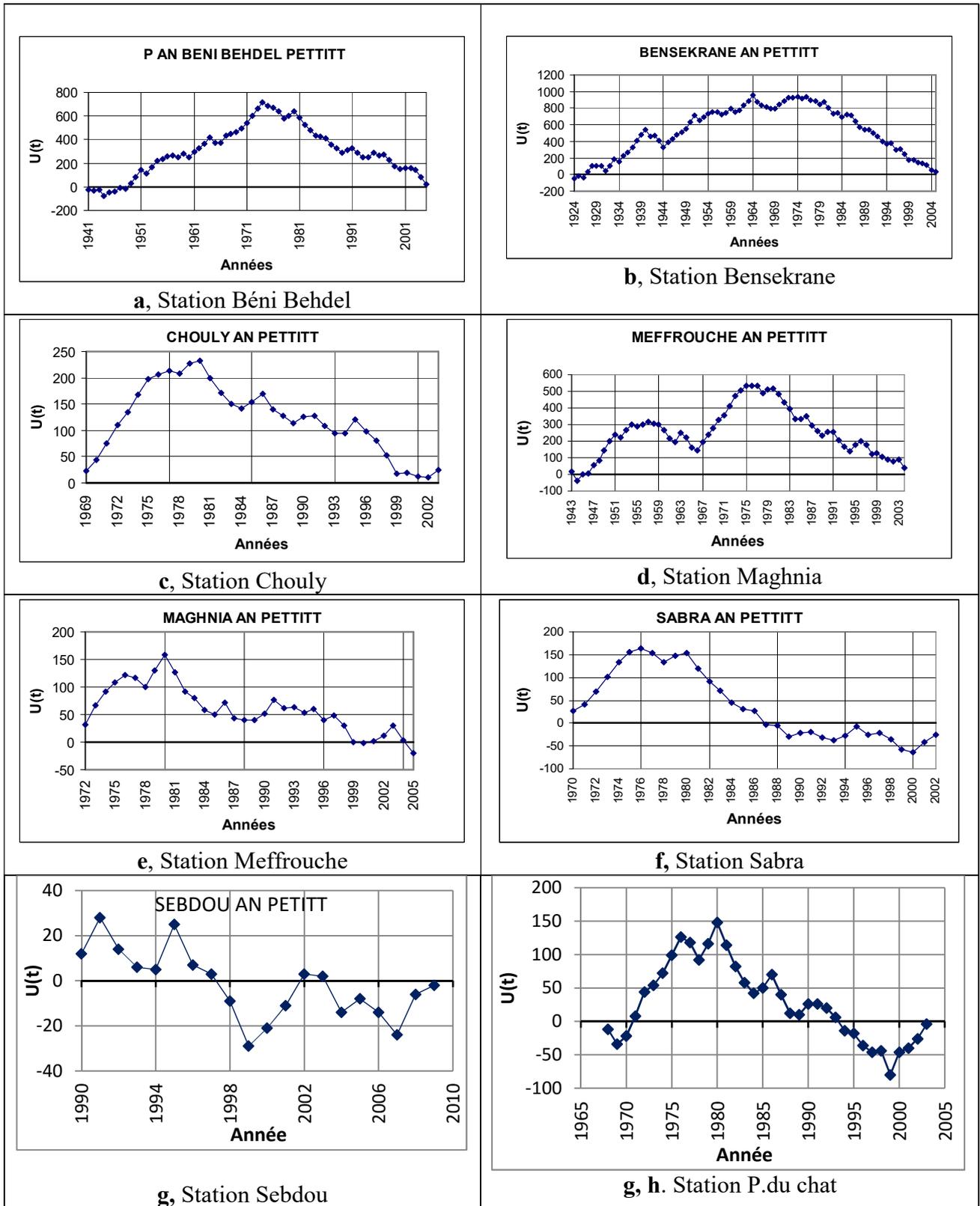


Figure III.15. Etude de la tendance pluviométrique annuelle par le test de Pettitt

**III.4. AJUSTEMENT A DES LOIS DE PROBABILITES:**

Nous allons procéder au traitement des précipitations mensuelles en appliquant différentes lois d'ajustement ( loi normale (loi de Gauss), loi log normale (loi de Galton) et la loi racine normale). Nous avons fait l'ajustement en utilisant les macro-commandes d'Hydrolab 2010 sur les données de précipitations mensuelles des 08stations dont nous disposons. la loi qui s'ajustera le mieux sera adoptée.

Pour vérifier la compatibilité et l'adéquation de nos données à la loi appliquée, nous avons appliqués un test de normalité qui est le test d'Anderson-Darling.

**La loi de Gauss (loi normale)**

La mise en œuvre de la loi de Gauss correspond intégralement au dispositif commun de lancement et de présentation des résultats. Cette loi est définie sur  $[-\infty, +\infty]$  et peut convenir à n'importe quel échantillon. (Laborde et al, 1998) ; La fonction de répartition de cette loi est :

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{u^2}{2}} \dots \dots \dots \text{III.9} \quad \text{avec } u = \frac{x-\bar{X}}{\sigma} \dots \dots \dots \text{III.10}$$

U dépend de la moyenne  $\bar{X}$  et l'écart type qui sont évalués comme suit :

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \dots \dots \dots \text{III.11}$$

$$\sigma = \frac{\sum_{i=1}^n X_i^2 - n\bar{X}^2}{n-1} \dots \dots \dots \text{III.12}$$

**La loi de Galton (loi log normale)**

La mise en œuvre de la loi de Galton correspond intégralement au dispositif commun de lancement et de présentation des résultats. Il faut cependant préciser quelques points techniques :

La fonction de répartition est :

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{u^2}{2}} \dots \dots \dots \text{III.13} \quad \text{avec } u = \frac{\log(x-X_0)-a}{b} \dots \dots \dots \text{III.14}$$

Nous considérons que c'est la variable  $\log(x-x_0)$  qui suit une loi de Gauss à deux paramètres :

a : la moyenne des  $\log(x-x_0)$

b : l'écart type des  $\log(x-x_0)$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n \log(X_i - X_0)}{n} \dots \dots \dots \text{III.15} \quad \text{et} \quad b = \frac{\sum_{i=1}^n (\log(X_i - X_0))^2 - na^2}{n-1} \dots \dots \dots \text{III.16}$$

**La loi de Racine –normale :**

La mise en œuvre de la loi racine-normale correspond intégralement au dispositif commun de

lancement et de présentation des résultats. Comme pour la loi de Galton on se ramène à une loi de Gauss par un changement de variable, La fonction de répartition est :

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{u^2}{2}} \dots\dots\dots\text{III.17} \quad \text{avec} \quad u = \frac{\sqrt{x}-a}{b} \dots\dots\dots\text{III.18}$$

Ici nous considérerons que c'est la variable  $\sqrt{x}$  qui suit une loi de Gauss a deux paramètres :

a : la moyenne  $\sqrt{x}$

b : l'écart type  $\sqrt{x}$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n \sqrt{x_i}}{n} \dots\dots\dots\text{III.19} \quad ; \quad b = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i - na^2}{n-1}} \dots\dots\dots\text{III.20}$$

Cette loi est définie sur  $[0, +\infty]$  et ne peut donc convenir qu'à une population de valeurs positives. Pour le calcul des quantiles et de leurs intervalles de confiance, les calculs sont faits sur la variable transformée  $\sqrt{x}$  supposée gaussienne, puis ramenés en variable naturelle par  $x = \sqrt{x}$

**Test de Anderson-Darling**

Le test d'Anderson-Darling est une autre variante du test de Kolmogorov-Smirnov, à la différence qu'elle donne plus d'importance aux queues de distribution. De ce point de vue, elle est plus indiquée dans la phase d'évaluation des données précédant la mise en œuvre d'un test paramétrique (comparaison de moyenne, de variances, etc.) que le test de Lilliefors. Autre particularité, ses valeurs critiques sont tabulées différemment selon la loi théorique de référence, un coefficient multiplicatif correctif dépendant de la taille d'échantillon n peut être aussi introduit .Concernant l'adéquation à la loi normale (Rakotomalala, 2011) , la statistique du test s'écrit :

$$A = -n - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (2i - 1) [\ln(F_i) + \ln(1 - F_{n-i+1})] \dots\dots\dots\text{III.21}$$

Ou

$F_i$  est la fréquence théorique de la loi de répartition normale centrée et réduite associée à la valeur standardisée

$$z(i) = \frac{x(i) - \bar{x}}{s} \dots\dots\dots\text{III.22}$$

Une correction est recommandée pour les petits effectifs, cette statistique corrigée est également utilisée pour calculer la p-value :

$$Am = A \left( 1 + \frac{0,75}{n} + \frac{2,25}{n^2} \right) \dots\dots\dots\text{III.23}$$

Les valeurs critiques  $A_{crit}$  pour différents niveaux de risques sont résumés dans le tableau suivant, ils ont été produits par simulation et ne dependent pas de l'effectif de l'échantillon :

**Tableau III. 10.** valeurs de  $\alpha$  en fonction de  $A_{crit}$

$\alpha$	$A_{crit}$
0.10	0.631
0.05	0.752
0.01	1.035

L'hypothèse de normalité est rejetée lorsque A prend des valeurs trop élevées. ( $A > A_{crit}$ )

Ce test est mis en place en suivant les étapes suivantes :

- ✓ Triées les données pour former la série  $x_{(i)}$
- ✓ Estimer les paramètres  $\bar{X}$  et S

$$z(i) = \frac{x(i) - \bar{x}}{s} \dots\dots\dots III.24$$

- ✓ Calculer les données centrées réduites
- ✓ Déterminer les fréquences théoriques  $F_i$  et  $\ln(F_i)$  puis former  $F_{n-i+1}$  et déduire  $\ln(F_{n-i+1})$
- ✓ Calculer la somme :

$$S = \sum_{i=1}^n (2i - 1) [\ln(F_i) + \ln(1 - F_{n-i+1})] = -858,675$$

- ✓ Calculer A :  $A = -n - \frac{1}{n}S = 0,5885$
- ✓ Comparer A au seuil critique 0.752 à 5 % ( si  $A > A_{crit}$  l'hypothèse est rejetée ,

D'après Assaba et al, 2013, Berolo, 2010, Lubes et al, 1994, Delus, 2011 et Elouissi, 2016 ; les données pluviométriques mensuelles s'ajustent bien à la loi racine normale

Après l'analyse des résultats de l'application des lois citées ci-dessus, nous avons remarqué que les précipitations mensuelles s'ajustent bien à la loi racine normale pour toutes les stations de notre étude, cette adéquation est vérifiée graphiquement sur les figures III.16 à III.23 ; D'autre part nous pouvons dire que quelques mois et pour certaines stations tel que août et juillet de la station de Bensekrane (figure III.16) et Maghnia (figure III.19) ne s'ajustent à aucune loi de normalité que nous avons appliquées.

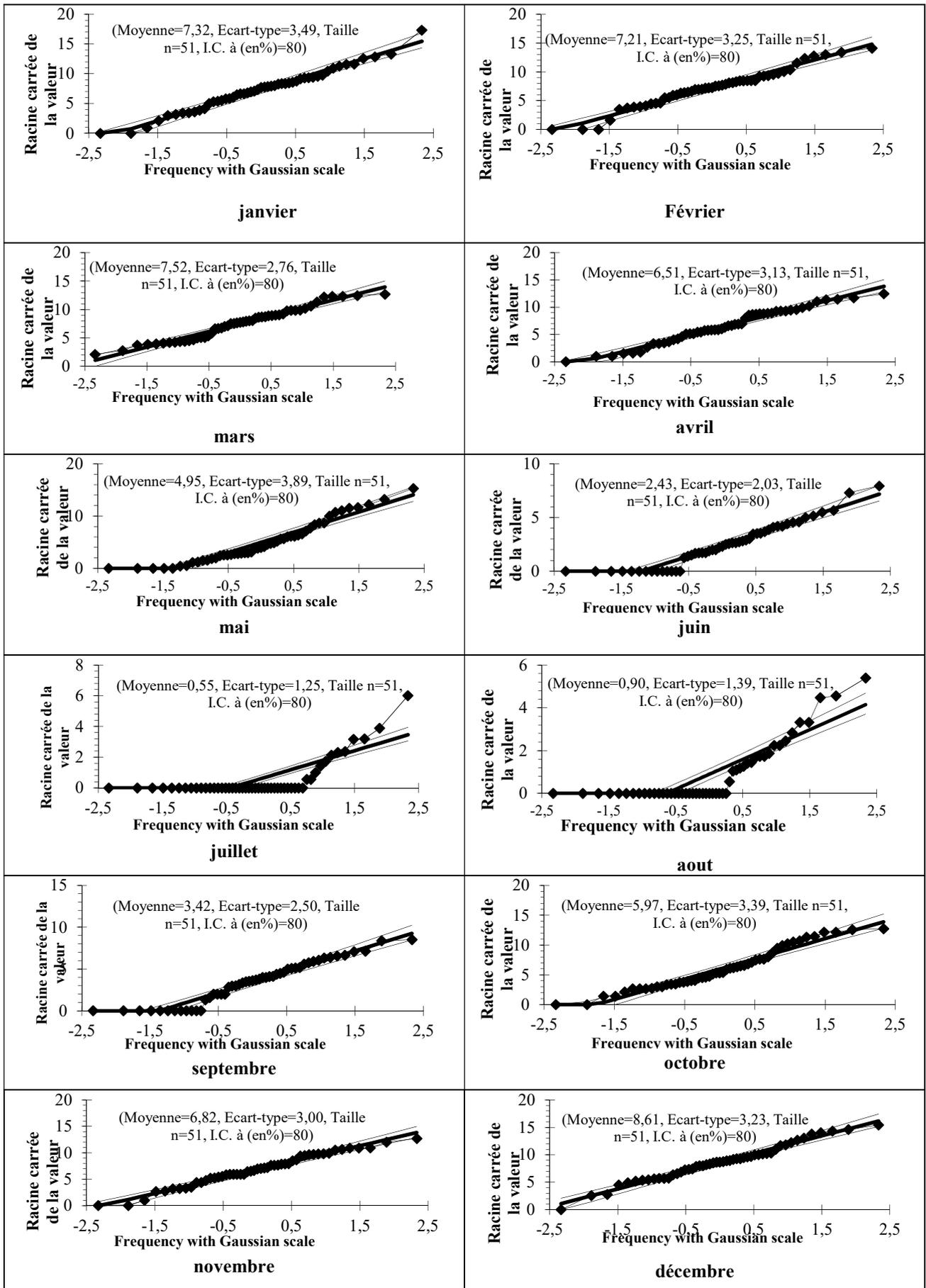


Figure III.16 : Ajustement des précipitations mensuelles a la loi racine normale (station Bensekrane)

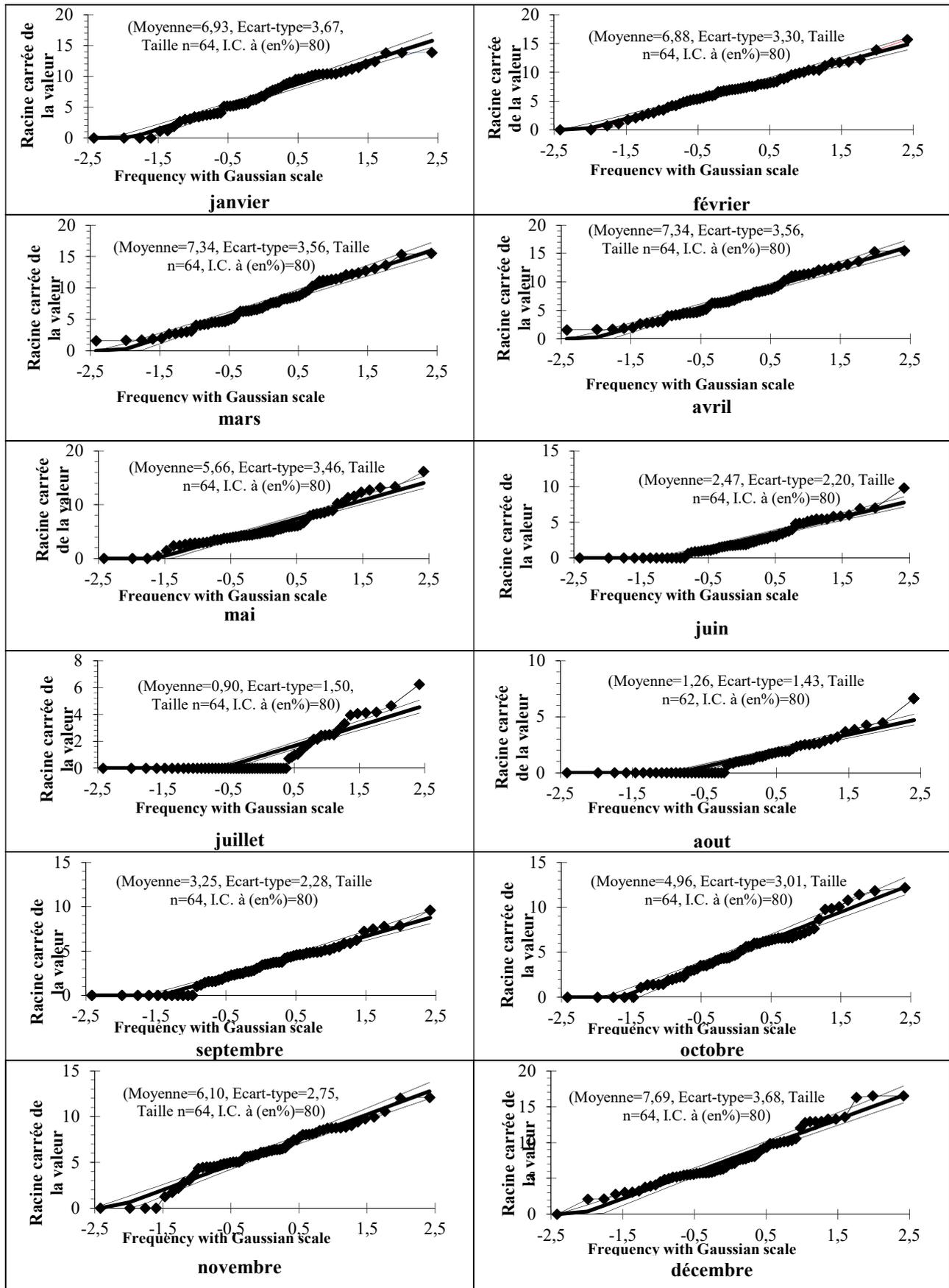


Figure III.17 : Ajustement des précipitations mensuelles à la loi racine normale (station Béni Bahdel)

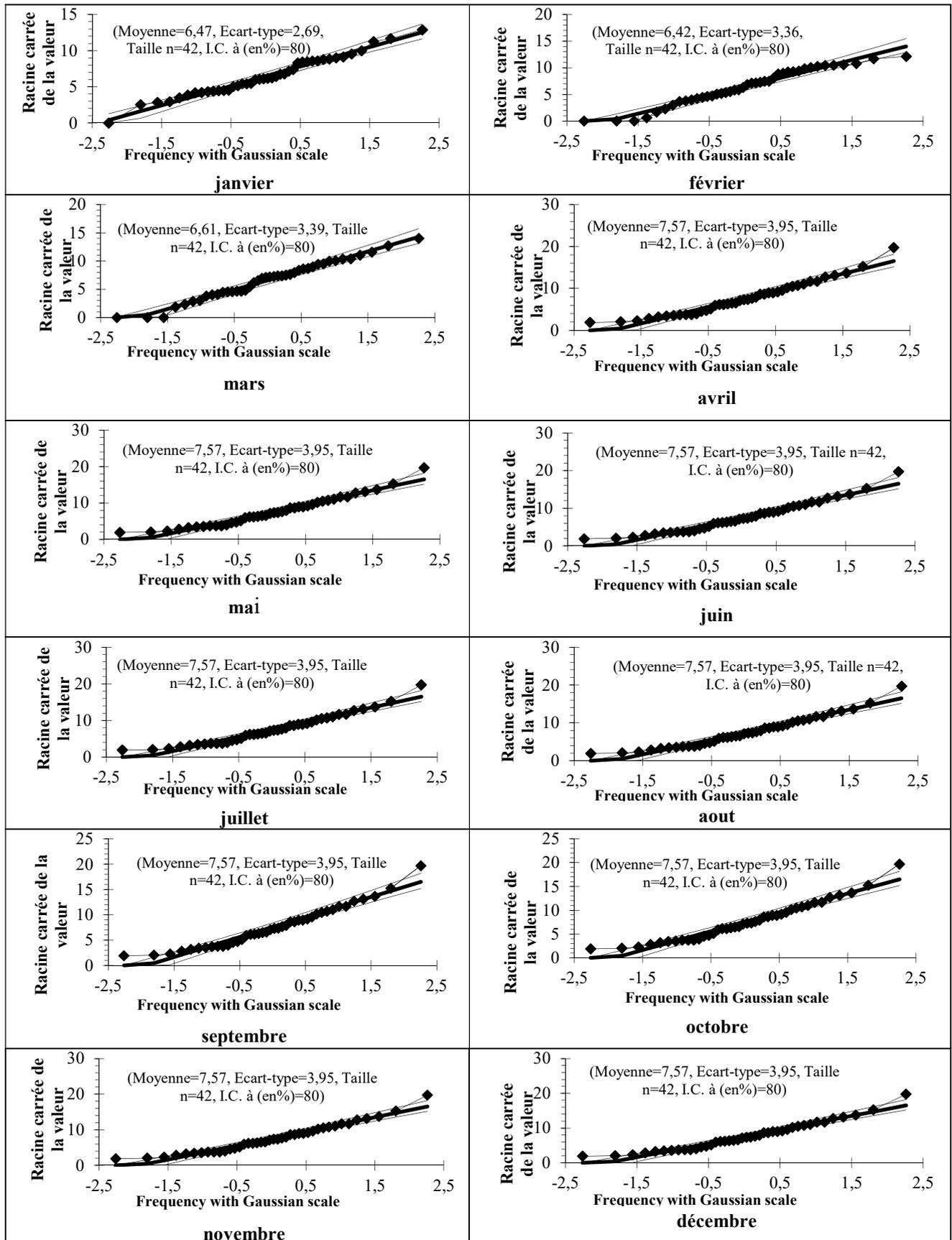


Figure III.18 : Ajustement des précipitations mensuelles a la loi racine normale (station Chouly)

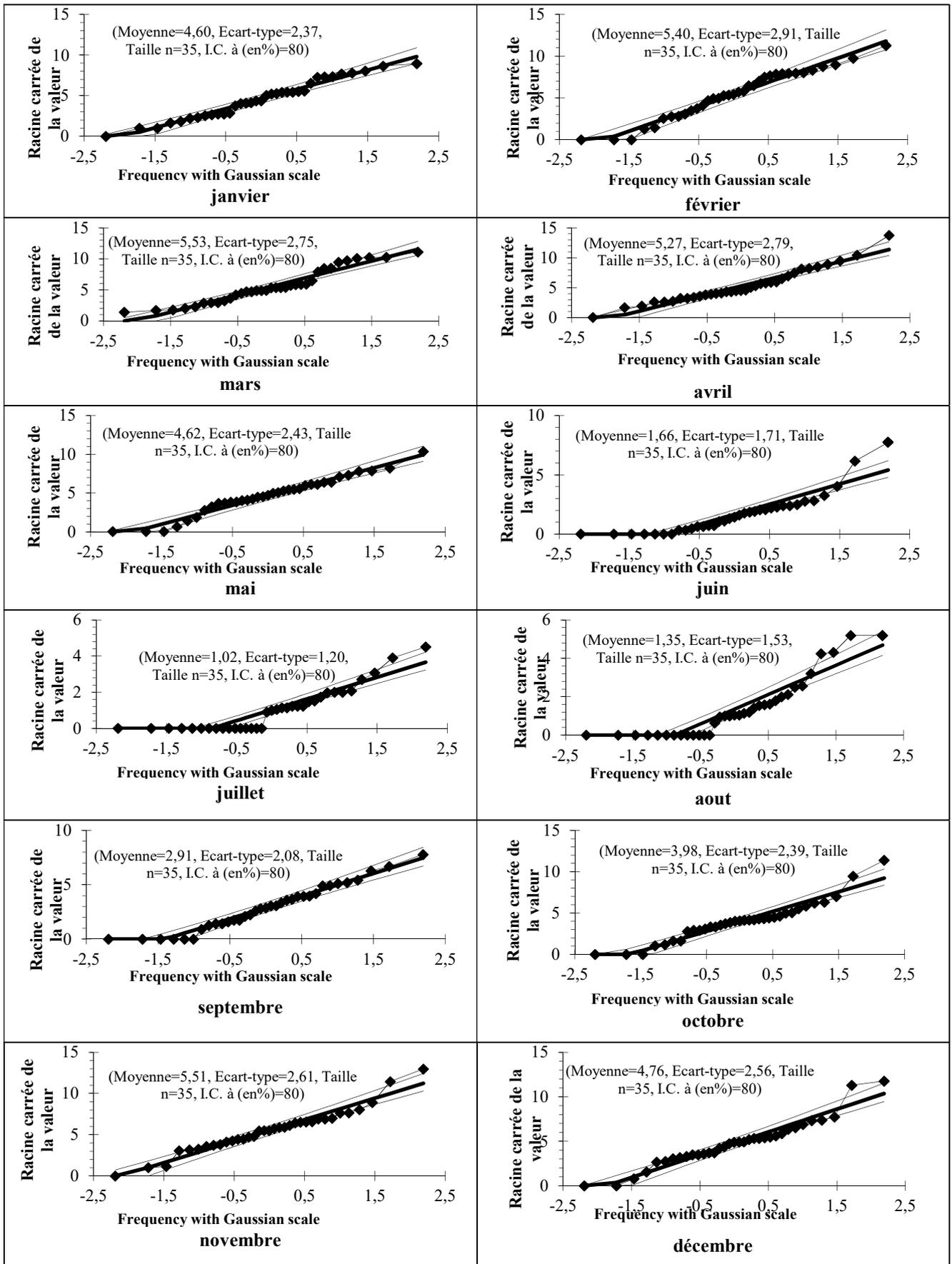


Figure III.19 : Ajustement des précipitations mensuelles a la loi racine normale (station Maghnia)

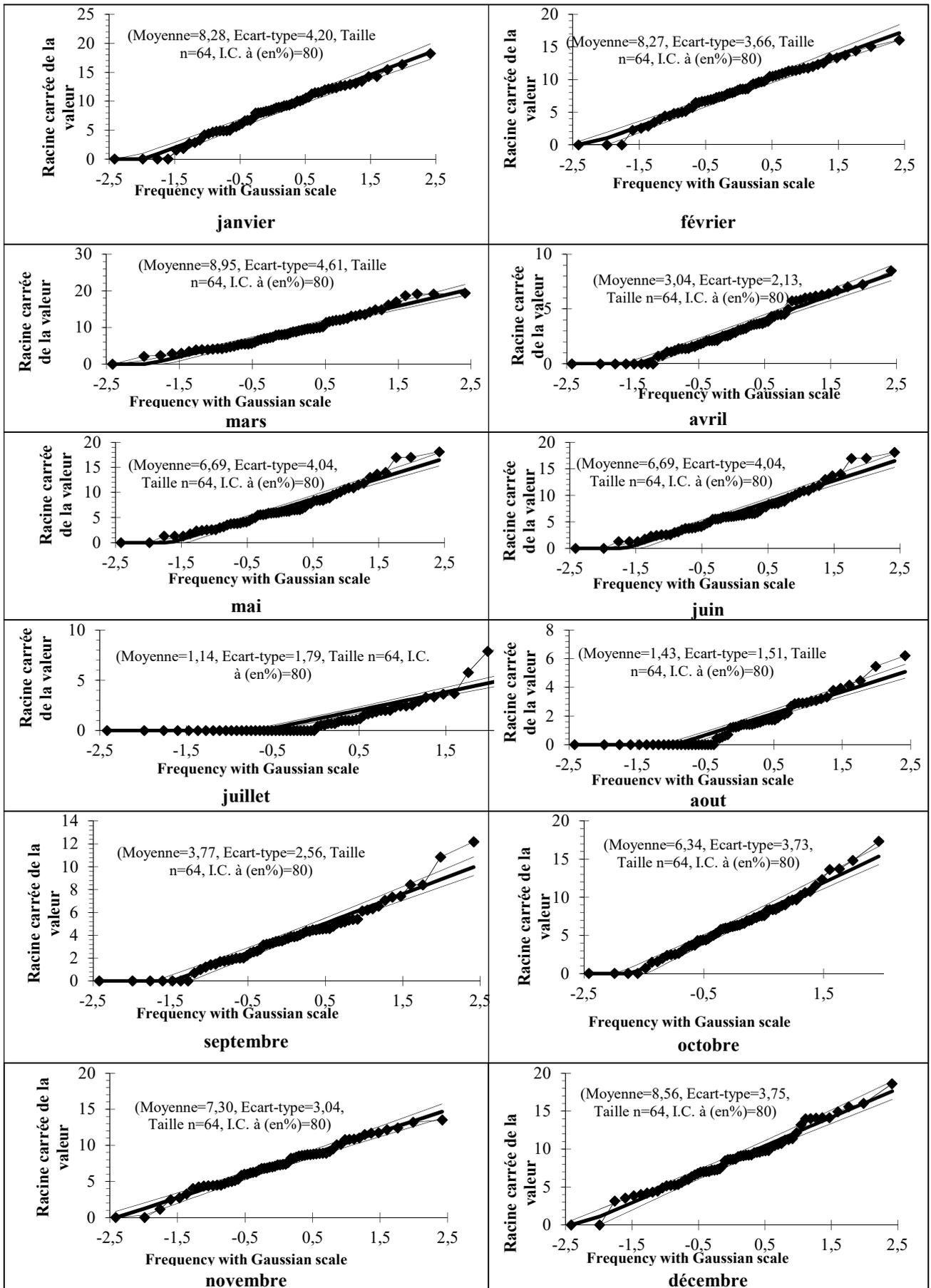


Figure III.20 : Ajustement des précipitations mensuelles a la loi racine normale (station Meffrouche)

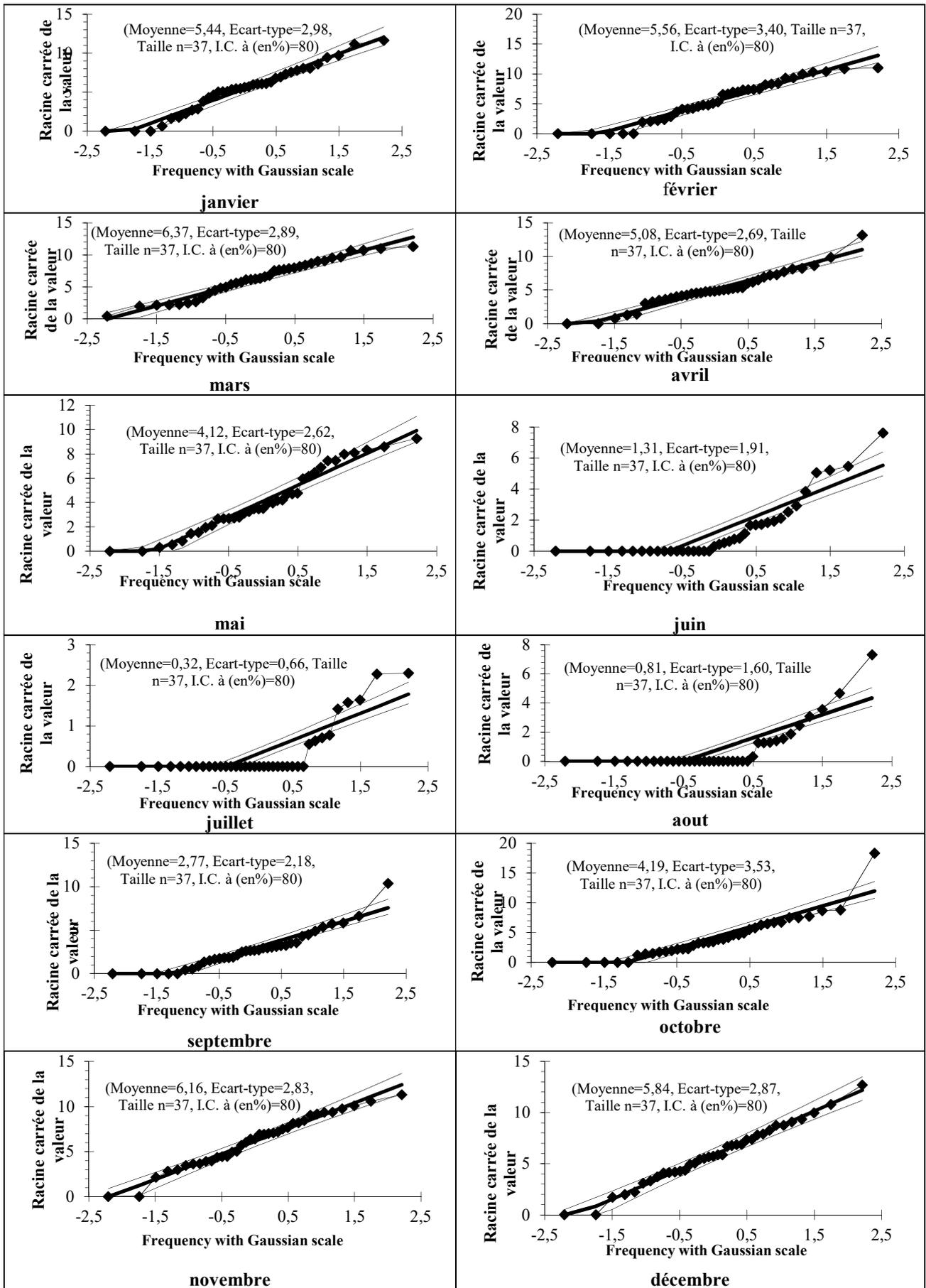


Figure III.21 : Ajustement des précipitations mensuelles a la loi racine normale (station P. du chat)

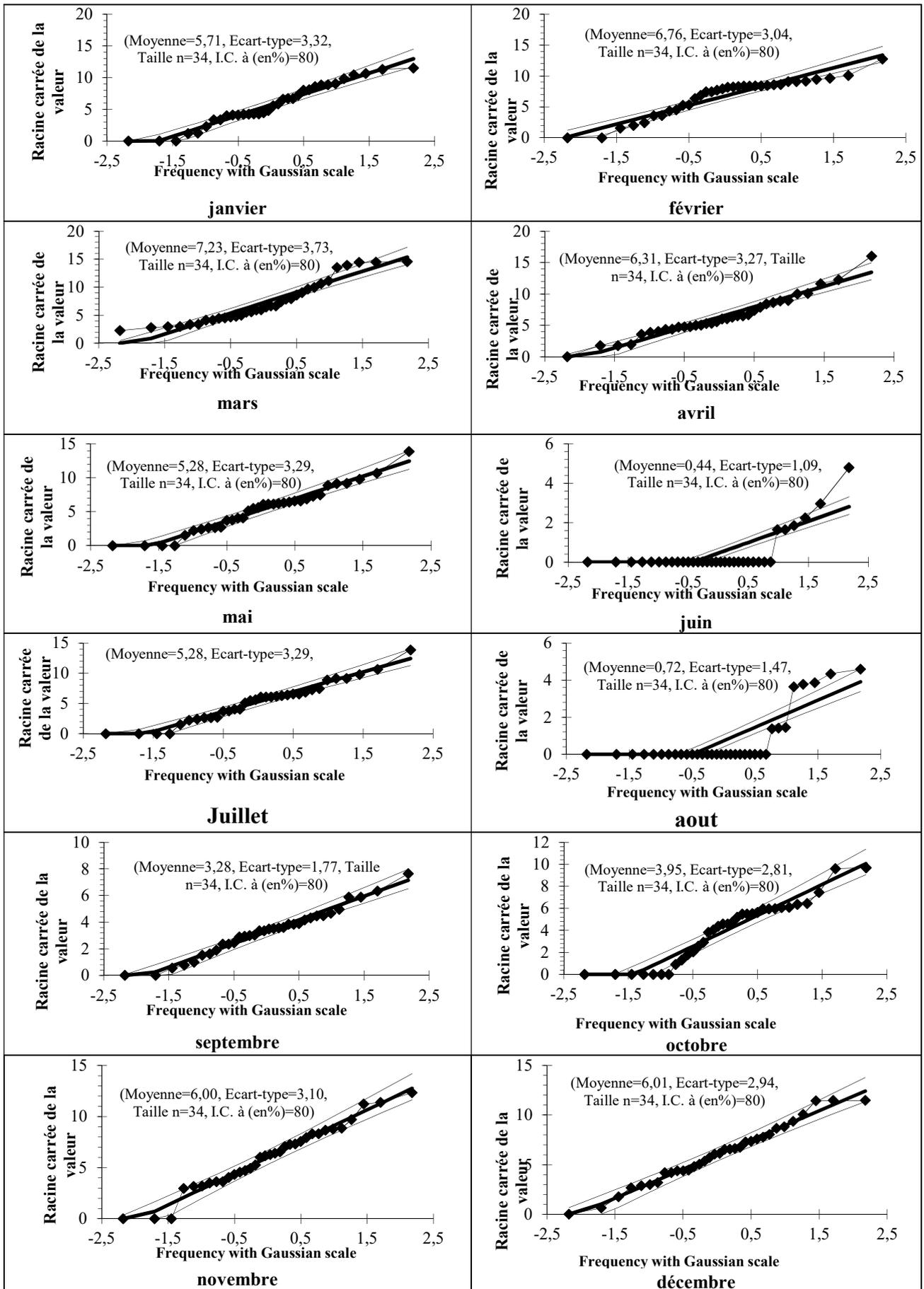


Figure III.22 Ajustement des précipitations mensuelles a la loi racine normale (station Sabra)

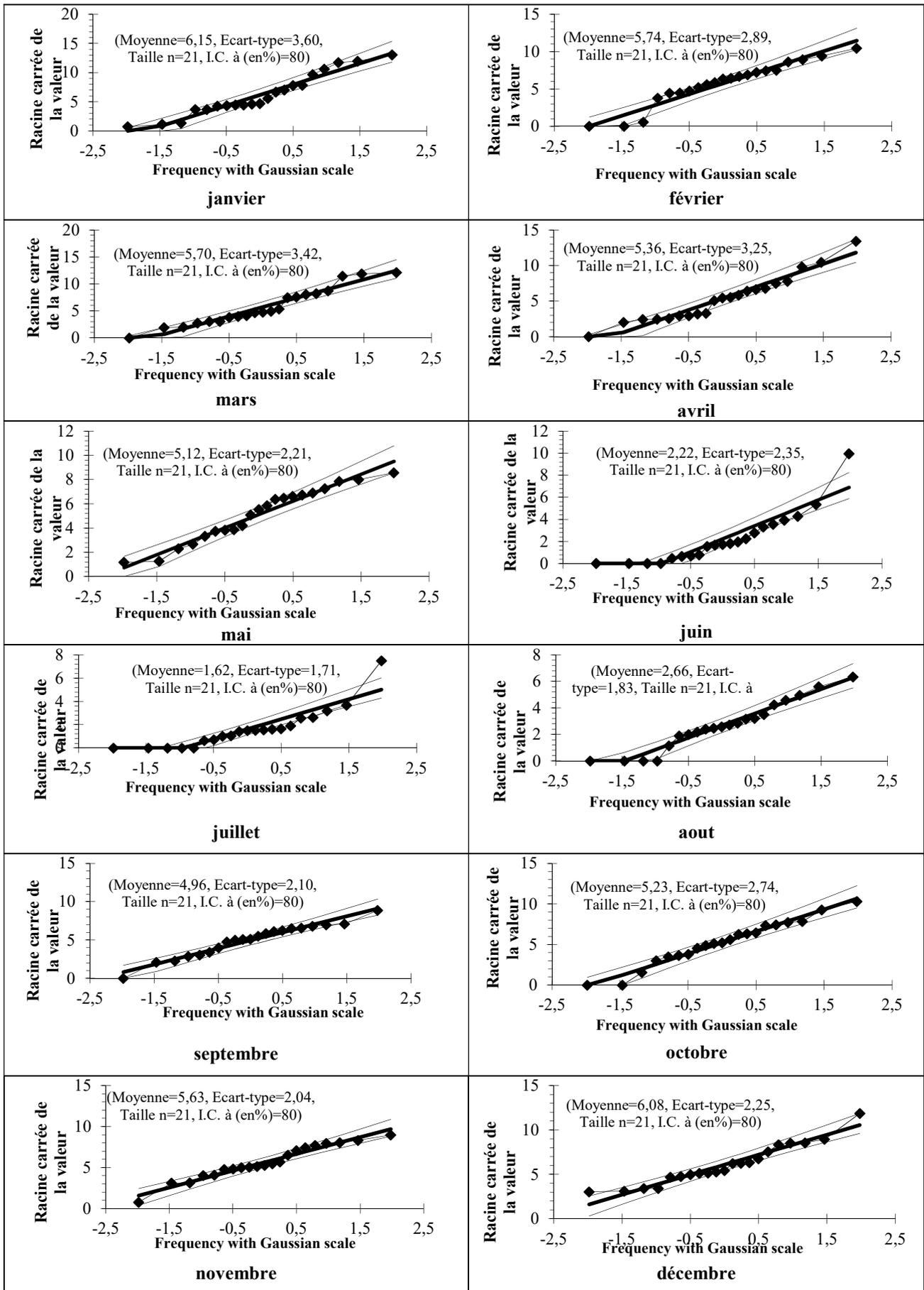


Figure III.23 : Ajustement des précipitations mensuelles a la loi racine normale (station Sebdu)

D'après le graphe de la figure III.24, nous avons constaté que pour la station de Sabra le mois de février s'ajuste bien à la loi normale et le mois de mars s'ajuste mieux à la loi de Galton (log normale).

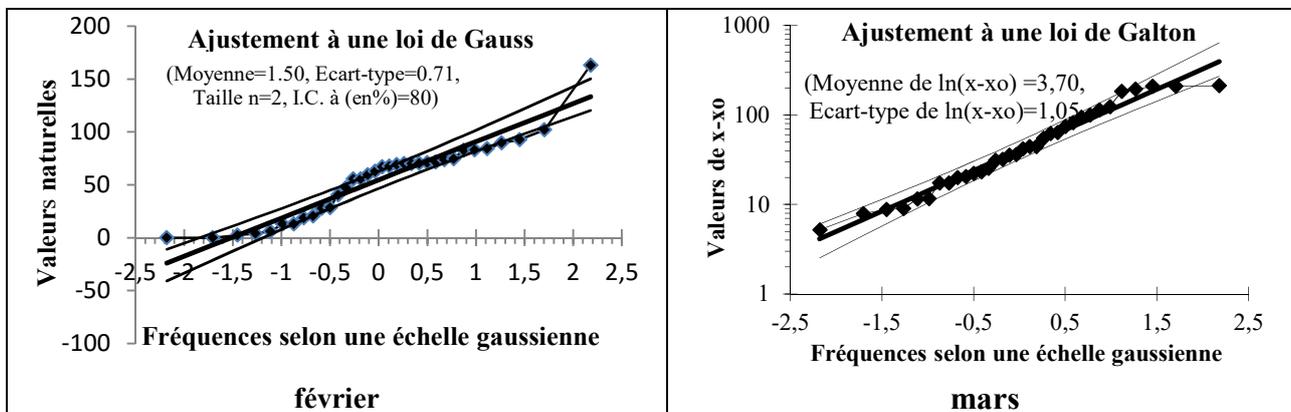


Figure III.24 : Ajustement des précipitations mensuelles du mois de février et mars (station Sabra)

## Chapitre IV:

**ESTIMATION DES APPORTS SOLIDES**

**A L'EXUTOIRE DU**

**BASSIN VERSANT DE LA TAFNA**

## **Chapitre IV :**

### **ESTIMATION DES APPORTS SOLIDES A L'EXUTOIRE DU BASSIN VERSANT DE LA TAFNA**

L'Algérie est un pays semi-aride, voire même aride (200 à 400 mm de pluie par an) et les ressources en eau renouvelables sont faibles, irrégulières, et localisées dans la bande côtière. A cet effet l'Agence Nationale des Barrages (ANB) a réalisé jusqu'aujourd'hui environ 60 grands barrages d'une capacité de 6 milliards de m<sup>3</sup>, mais avec un taux d'érosion spécifique se situant entre 2000 et 4000t/km<sup>2</sup>/an chaque année l'infrastructure hydraulique algérienne est amputée d'une capacité de 45 millions de m<sup>3</sup> (Remini. et al. 2015 ; 2009 et 2004), suite à l'envasement. Hélas, les problèmes posés par l'érosion et le transport solide peuvent atteindre une ampleur susceptible de stériliser complètement les efforts d'aménagement des eaux et des rivières.

L'Algérie est parmi les pays les plus touché par le phénomène de l'érosion et du transport des sédiments dans les cours d'eau, plusieurs chercheurs l'ont étudié au cours des années précédentes (DEMMAK 1982 ; ARABI 1991; BOUROUBA 1998 ; TERFOUS et al. 2001; ACHITE, MEDDI 2004; 2005; ACHITE, OUILLON 2007; GHENIM et al. 2008 ; BOUCHELKIA et al 2003; 2013; 2014; REMINI et al. 2015; GLIZ et al. 2015; BERGHOUT et al. 2016; SELMI et al. 2016; TACHI et al 2016; BALLA et al 2016; BOUZERIA et al 2017, ZETTAM A., TALEB A, SAUVAGE S., BOITHIAS L., BELAIDI N., MIGUEL SÁNCHEZ-PÉREZ J.2017.)

Cependant le phénomène demeure mal compris et faiblement maîtrisé.

Les résultats de certaines études obtenues par quelques chercheurs concernant quelques bassins versants algériens sont résumés dans le tableau IV.1 ci-après :

Tableau IV.1 Dégradation spécifique de quelques bassins versants algériens

Reference	Bassins	Aire du bassin km <sup>2</sup>	Dégradation spécifique t.km <sup>-2</sup> .an <sup>-1</sup>
DEMMAK, 1982	Dahra Cotier	16	4000
MEGNOUNIF et al. 2007	Sebdou	256	1047
ACHITE, OUILLON 2007	Abde,	2480	136
GHENIM et al. 2008,	Mouilah	2650	165.3
BOUCHELKIA et al. 2011	Mouilah	2650	17,73-28,41
KHANCHOUL et al. 2012	Cherf	1710	350
MADANICHERIF et al. 2012	Taria	1365	236
ELAHCENE et al. 2013	Bellah	55	610
BOUCHELKIA et al 2014	Chellif	43700	53,77- 94,2
SELMI, KHANCHOUL 2016	Mellegue	7 847	589.23
BALLA et al 2017	Reboa	328	678
BALLA et al 2017	Soultez	207	575

Notre objectif est de fournir les informations indispensables pour mieux connaître la durée de vie de nos barrages et de définir le dimensionnement des ouvrages futurs.

Dans l'état actuel, notre préoccupation n'est pas de procéder à une estimation des apports solides pour un ou plusieurs événements (crues), notre étude s'intéresse à l'estimation des apports solides en suspension transitant par les stations de jaugeages, car il est le plus important en quantité que le transport par charriage, et c'est lui qui affecte les ouvrages hydrotechniques.

Devant l'importance que revêt ce problème, et afin de permettre une réponse rapide à la demande des ingénieurs pour la quantification du transport solide en suspension à l'exutoire d'un bassin versant, un outil simple, facile à mettre en œuvre a été mis au point. Le principe adopté, est basé sur des données hydrométriques des stations de jaugeages, et des analyses saisonnières et annuelles, ont permis de définir une méthode appropriée d'estimation des apports solides. Nous avons choisi le bassin versant de la Tafna comme exemple d'application.

Ce choix a été motivé par le fait que ce dernier est l'un des plus importants du Nord-Ouest et le plus arrosé, de plus, il comporte un nombre important d'ouvrages de mobilisation des eaux de surface.

C'est dans ce sens que s'inscrit cette étude qui consiste à évaluer le transport solide en suspension dans le bassin de la Tafna en étudiant la variation de la production mensuelle en sédiments de ce dernier.

#### **IV.1. NOTIONS IMPORTANTES POUR LA MODELISATION STATISTIQUE :**

Les mesures effectuées sur les grandeurs régissant un phénomène, sont soumises à des perturbations qui sont difficiles à synthétiser et l'information qu'elles contiennent sont difficilement utilisables sans une technique de représentation algébrique de ces données. Alors, on doit proposer une relation empirique et on parle souvent d'un modèle statistique du système représentatif de la relation entre les variables d'entrée et celles de sortie. Un modèle statistique est de la forme :

$$Y = F(x) + \varepsilon \quad \dots\dots\dots (IV.1)$$

Il est caractérisé par l'existence d'un résidu ( $\varepsilon$ ) dû à des fluctuations aléatoires. Ainsi, l'amélioration du modèle exige la recherche; soit d'autres variables qui influent sur le comportement du phénomène ; soit d'autre part, imposer d'autres opérateurs de transformation des variables causes en variables conséquences. (Bouchelkia et al, 2000)

L'élaboration d'un modèle nécessite un critère ou une procédure de décision sur l'acceptation ou le rejet du modèle.

##### **IV.1.1. Estimation des paramètres d'un modèle :**

En pratique, avant de procéder à l'estimation, il est intéressant de vérifier si le modèle proposé est linéaire ou linéarisable. En fait, un modèle est linéaire s'il peut s'écrire sous la forme :

$$Y = A . X + B \quad \dots\dots\dots (IV.2)$$

Un modèle est linéarisable s'il peut être ramené à la forme (IV..2) par un changement de variables (le cas de notre étude). En général, pour les modèles linéaires ou linéarisables la méthode des moindres carrées est la plus utilisée pour l'estimation des paramètres, mais concernant les modèles non linéarisables, le recours aux méthodes de programmation non linéarisable est inévitable.

**a. Méthode des moindres carrés :**

La méthode des moindres carrés est un outil mathématique permettant de faire une approximation de données par une fonction analytique (ADMANE et Al,1992), (BOWKER,1965), (DROESBEKE ,1988), (BERBARA et Al,1993), (VARLET,1966) .

**Définition :**

La droite qui approche un ensemble de points, obéissant à la norme euclidienne ( $\|Y-Y^*\| = \sum_{i=1}^N (Y_i - Y_i^*)^2$ ) est la meilleure droite d'ajustement avec  $Y^*$  est une fonction analytique . (Admane et Al, 1992).

La droite présentant cette propriété est dite, s'ajuste aux données au sens des moindres carrés, et elle est appelée « droite de régression des moindres carrés ». En appliquant la définition, nous pourrons montrer que la droite des moindres carrés approche l'ensemble des points  $(X_i, Y_i)$  et à pour équation, l'équation (IV.2). Où les constantes A et B sont données par :

$$A = \frac{\sum (X - \bar{X}).(Y - \bar{Y})}{\sum (X - \bar{X})^2} \dots\dots\dots(IV.3) \quad \text{et} \quad B = \bar{Y} - A. \bar{X} \dots\dots\dots (IV.4)$$

L'équation de la droite s'écrit :  $Y = A. X + B = A.(X - \bar{X}) + \bar{Y} \dots\dots\dots(IV.5)$

Ceci montre que la droite passe par le point  $(\bar{X}, \bar{Y})$  ; centre de gravité des données. En fonction de la variance et de la covariance, la droite des moindres carrés pour Y et X s'exprime :

$$Y - \bar{Y} = \frac{S_{XY}}{S_X^2} .(X - \bar{X}) \quad (IV.6)$$

**b. validité du modèle :** (Bowker, 1965), (Admane et al, 1992),

❖ **Coefficient de corrélation :**

On est amené à déterminer statistiquement le degré de validité d'une relation de régression par la détermination d'un coefficient de corrélation, et l'étude de sa signification. Par définition, on appelle coefficient de corrélation la quantité R telle que :

$$R = \frac{S_{XY}}{S_X . S_Y} \dots\dots\dots(IV.7)$$

De l'équation (IV.3), on aura :  $\frac{Y - \bar{Y}}{S_Y} = R. \frac{X - \bar{X}}{S_X} \dots\dots\dots(IV.8)$

Le coefficient de corrélation R est toujours compris entre -1 et +1, il vaut ( $\pm 1$ ) dans le cas d'une liaison fonctionnelle parfaite, il vaut ( 0 ) dans le cas contraire.

❖ **Test de corrélation :**

Suivant la figure .IV.1, on peut calculer les variances :

$$V_r = \frac{\sum (Y_i - \bar{Y})^2}{N-1} \dots\dots (IV.9) \quad \text{et} \quad V_c = \frac{\sum (Y_i - \bar{Y})^2}{1} = R^2 \cdot \sum (Y_i - \bar{Y})^2 \dots\dots (IV.10)$$

$$V_r = \frac{\sum (Y - \bar{Y})^2}{N-2} = \frac{(1-R^2) \cdot \sum (Y_i - \bar{Y})^2}{N-2} \dots\dots\dots (IV.11)$$

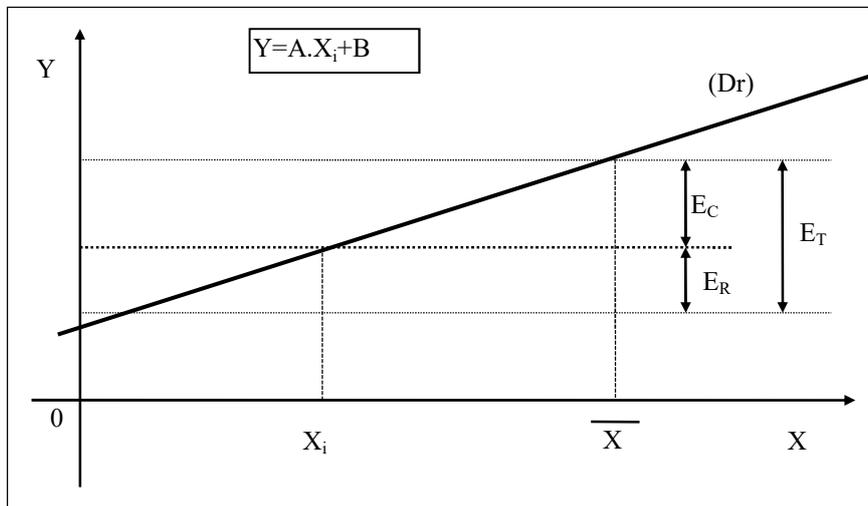
Si les variables aléatoires X et Y sont normales, le rapport :

$$F = \frac{V_c}{V_r} = \frac{R^2 \cdot (N-2)}{1-R^2} \dots\dots (IV.12)$$

F est une variable de FISHER-SNEDECOR à  $v_1 = 1$  et  $v_2 = N-2$  degré de liberté.

On peut donc tester l'adéquation du modèle (signification de la régression) avec un risque  $\alpha$  quand :  $F > F_\alpha (1, N-2)$

$E_C$  : Ecart dû à la régression.



**Figure. IV.1 :** Droite de régression

$E_R$  : Ecart résiduel.

$E_T$  : Ecart total.

(Dr): Droite de régression.

**C. Précision d'une corrélation (Intervalle de corrélation ou de prédiction) :**

En fixant l'erreur à  $\alpha$ , on peut déterminer un intervalle contenant  $Y_i$  à un niveau de confiance de  $(1-\alpha)$ , l'intervalle pour les grandes valeurs de  $N$ , dont les limites de confiances de cette population théorique sont données par:

$$Y_i \pm U_{1-\alpha/2} \cdot \sqrt{V_R} \dots \dots \dots (IV.13)$$

$U_{1-\alpha/2}$  : est une variable normale centrée réduite pour une erreur  $\alpha$ .

$V_R$  : variance résiduelle, préalablement calculée. (Speigel, 1975), (Bowker, 1965)

**IV.1.2. Régime des débits liquides :**

Les relevés de débits effectués pendant une longue période à une station de jaugeage, forment un grand ensemble de chiffres et de graphiques qu'il faudra dépouiller et classer selon les méthodes existantes pour faciliter leur analyse et permettre à l'hydrologue d'en tirer le maximum de profit (Benchaekh ,1996).

Il est souvent utile de visualiser une distribution au moyen d'une représentation graphique. On peut avoir recours à différentes sortes de diagrammes selon le type de variables étudiées et l'utilisation de celle-ci (les diagrammes en escalier, polygonales, cumulatif...)

Une autre technique utilisée notamment en hydrologie, qui fait interpréter les observations d'un événement hydrologique en termes de probabilité d'apparition, cette méthode statistique est basée sur l'analyse de la fréquence. (Benchaekh ,1996).

En cas de la présentation des débits moyens journaliers l'emploi de la série complète serait justifié pour des études tendant à déterminer le nombre de jours ou le pourcentage de temps pendant lequel le débit de cours d'eau s'est maintenu au-dessus d'une valeur déterminée (courbe des débits classés) (Benchaekh ,1996).

**IV.1.2.1. Courbe des débits classes :**

Si on enregistre, chaque jour dans une station de jaugeage, le débit moyen journalier, au terme, on obtient une série de 365 valeurs qui présentent le classement chronologique des débits moyens journaliers.

Cependant pour l'étude statistique des débits liquides un autre classement monotone par valeurs décroissantes est utilisé, la courbe obtenue est dite «courbe des débits classées».

(Varlet, 1966), (Remineras ,1979),(Chow,1988)

a. **Construction géométrique de la courbe des débits classés :** (Benblidia, 1990), (Varlet, 1966).

Si on considère la courbe des débits classés par valeurs décroissantes, le premier point représentera le débit maximum de l'année. Le dernier point correspondra au débit d'étiage.

Un point quelconque de la courbe, sera tel que son ordonné « q » sera la valeur du débit journalier atteint ou dépassé pendant un nombre de jours « j » en abscisse.

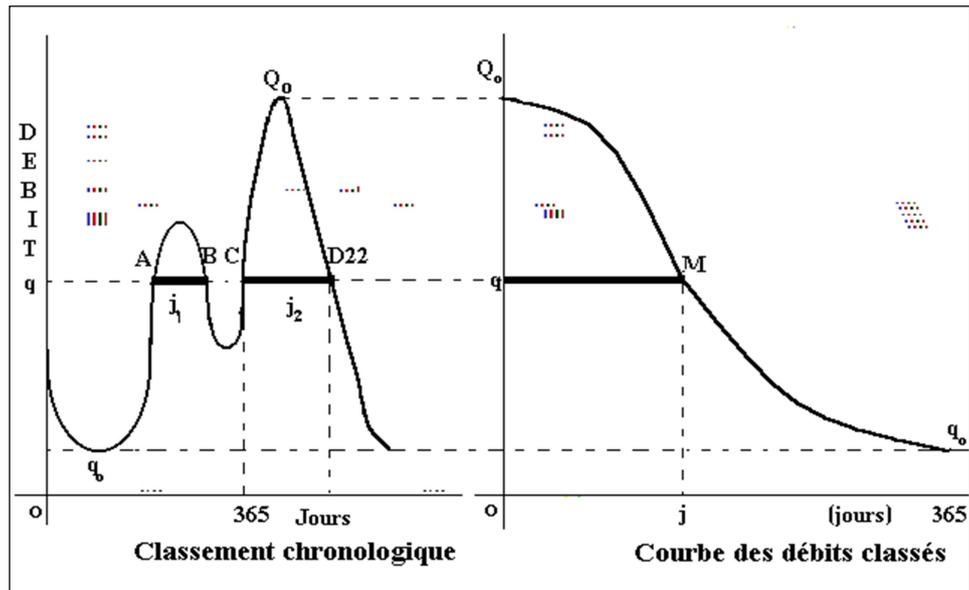


Figure.IV.2 : Construction géométrique de la courbe des débits classés (Varlet, 1966).

On peut tracer directement la courbe des débits classés à partir de la courbe du classement chronologique, comme le montre la figure : IV.2 La courbe chronologique intercepte sur l'horizontal l'ordonné « q », un certain nombre de segments AB, CD,..., dont la longueur totale est  $J=J_1+J_{i+1} + \dots J$  : représentent le nombre de jours pendant lesquels les débits journaliers ont été supérieurs à « q ». D'où le point M (q, J) de la courbe des débits classés (Varlet, 1966), (Benblidia, 1973).

b. **Courbe relative à N années :**

Nous pouvons classer les débits relatifs à une période de N années d'observation. La courbe correspondante des débits classés, nous fera savoir, en partons d'un très grand nombre de cas observés, la probabilité pour que le débit de la rivière soit supérieur à un débit donné q (compris entre  $q_0$  et  $Q_0$ ). En effet, si « t » est l'abscisse relative au débit « q » et « T » l'abscisse maximum, relative au débit  $q_0$  , on voit que la probabilité pour que le débit soit supérieur à « q » est « t/T »

(rapport du nombre de cas favorables au nombre de cas observés). (Varlet, 1966), (Remineras ,1979)

Nous pouvons graduer les abscisses en pourcentage qui permet la lecture de la probabilité (figure IV.3)

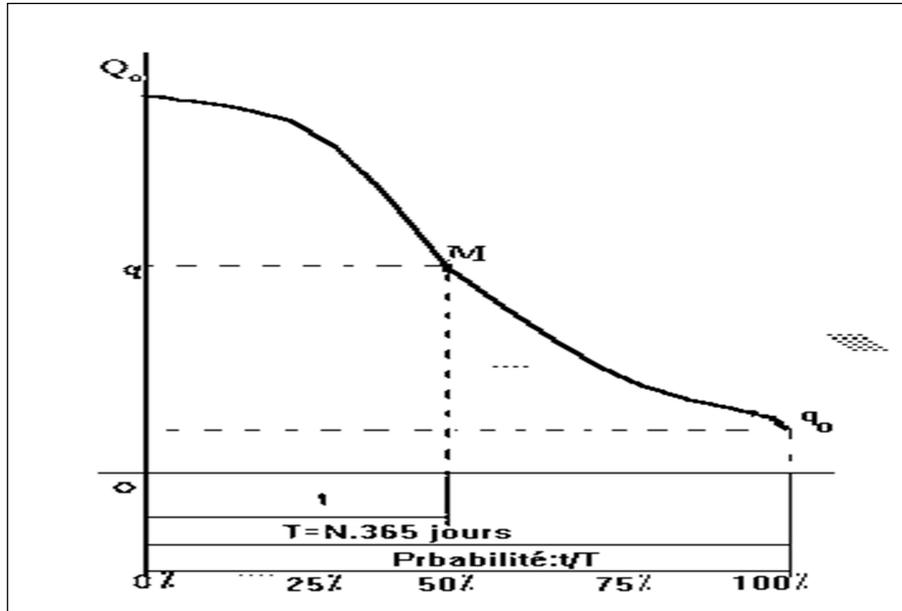


Figure .IV.3 : courbes des débits classés relative à N années (Varlet, 1966).

**C. Répartition de la statistique d'observation en classes**

En générale le nombre de classes est estimé par la formule suivante :

$$K = \langle \text{Log}_2(N) \rangle + 1 \dots \dots \dots (IV.14) \quad (\text{Dubreuil, 1974}), (\text{Gourdin, 1991}).$$

N : Taille de l'échantillon.

$\langle X \rangle$  : partie entière de X.

L'amplitude des classes (Intervalle de classe) est donné par :

$$H = \frac{\text{Max}(X_i) - \text{Min}(X_i)}{K} \dots \dots \dots (IV.15) \quad i = 1 - N$$

On classe les débits  $X_i$  observés par groupes (classes); tous les débits compris entre  $X_i$  et  $X_i + H$ , leur nombre est  $N_i$  (effectif). On obtient ainsi K rectangles juxtaposés de même largeur H et de hauteurs différentes  $f_i$  avec :  $f_i = n_i / N$  probabilité pour qu'un débit soit constaté entre  $X_i$  et  $X_{i+1}$  in (Admane et Al, 1992),( Dubreuil, 1974).

On visualise la représentation au moyen d'un histogramme (figure.IV.4)

**B. Tableau de fréquences :**

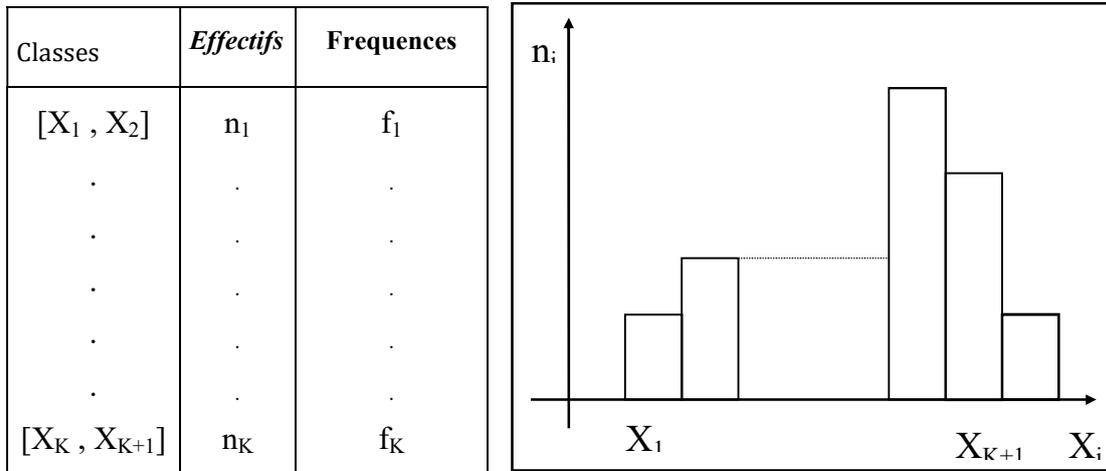


Figure .IV.4 : Histogramme des fréquences

**d. Courbes de fréquences des débits :**

Nous pouvons tracer, en joignons les milieux des cotes des rectangles une ligne polygonale dite : « polygonale de fréquences ».

Même chose, si nous présentons les fréquences cumulées  $F_i$  au lieu de  $f_i$ , nous aurons le polygonale des fréquences. Pour H très petit et N très grand, nous obtenons une courbe de fréquences et une courbe des fréquences cumulées (Gourdin, 1991).

Nous pouvons estimer ces deux courbes par un lissage, avec comme critère : « La surface sous la courbe de lissage doit être égale à la surface sous l’histogramme, ou bien l’histogramme cumulatif pour la courbe des fréquences cumulées », (Gourdin, 1991).

**Remarque:** La courbe des fréquences cumulées pour les débits liquides moyens journaliers est dite courbe des débits classés.

**IV.2. PRESENTATION DE LA METHODE D’ESTIMATION DES APPORTS SOLIDES ET COLLECTE DES DONNEES :**

**IV.2.1. Démarche générale**

La méthode a été inspiré des travaux publié par l’UNESCO (1986), elle présente l’intérêt d’une estimation des apports solides non seulement à partir des débits liquide mais aussi à partir des

fréquences de chaque débit, car un débit faible mais fréquent peut apporter plus de sédiment qu'un débit plus important mais moins fréquent.

La méthode se présente selon les actions suivantes :

- a. collecte des données contribuant au phénomène (débits liquides, concentrations).
- b. Construction de fichiers de données relatifs à chaque mois
- c. Un traitement statistique et informatique de ces données
- d. Détermination des modèles mensuelles adéquats  $Q_s = F(Q)$  entre débits liquide et débits solide
- e. Etude des régimes des débits liquides du cours d'eau par analyse fréquentielle (courbes des fréquences cumulées) relative à chaque mois
- f. Une estimation de la masse des sédiments en suspension mensuelle par combinaison entre le modèle  $Q_s = F(Q)$  et la courbe des fréquences cumulées des débits liquides.
- g. Estimation de l'apport solide moyenne interannuel par sommation d'apports mensuelle  
(Bouchelkia, 2009; Bouchelkia & Al, 2013 ; Bouchelkia & Al, 2014)

#### ➤ Evaluation du transport solide en suspension

Une fois que le modèle reliant les débits liquides aux débits solides en suspension ont été définis et que les courbes des fréquences cumulées des débits liquides moyens journaliers ont été érigées, l'estimation de la masse des sédiments en suspension se fera selon les étapes suivantes:

- ❖ Division de la courbe de fréquence cumulée des débits liquides en plusieurs intervalles de fréquences  $[f_i, f_{i+1}]$ .
- ❖ Détermination des débits liquides atteints ou dépassés  $Q_i$  correspondant à la médiane de chaque intervalle de fréquence.
- ❖ Pour chaque débit liquide  $Q_i$ , nous calculons le débit solide  $Q_{si}$  en utilisant le modèle statistique  $Q_s = f(Q)$

- ❖ Evaluation du débit solide moyen inter annuel par :  $Q_{sm} = \sum_{i=1}^n Q_{si} \cdot (f_{i+1} - f_i)$

(Bouchelkia, 2009; Bouchelkia et al, 2013, 2014)

Remarque : Vu le nombre important des données contribuant au phénomène étudié un programme informatique a été spécialement conçu suivant les actions citées précédemment.

#### IV.2.2. Collecte et dépouillement des données :

Le but majeur de notre étude est l'exploitation des données hydrométriques réelles, recueillies à la station de jaugeage pour que notre estimation s'approche le plus proche possible de la réalité.

Les données issues du bassin versant de la Tafna, sont utilisées pour l'estimation des apports solide en suspension de ce bassin. Le bassin de la Tafna est situé à l'extrême Nord-Ouest d'Algérie. De superficie de 6900 km<sup>2</sup>, il est sillonné par l'un des plus importants Oued de l'ouest du pays : la Tafna, qui coule de l'Ouest à l'Est, depuis le Maroc jusqu'à la mer méditerranée (à côté de Beni Saf), la longueur de son talweg principal est de 160 Km (figure IV.5). Le bassin est constitué principalement au Sud par une barre montagneuse (800- 1400 m d'altitude) axée WSE-ENE, dominant largement au Nord, les régions des plaines de Maghnia, de Hannaya et de Sidi Abdelli.

Le réseau hydrographique du bassin de la Tafna est constitué principalement par deux artères fluviales: L'oued Tafna à l'Ouest et l'oued Isser à l'Est, ce dernier prend sa source dans les monts de Tlemcen.

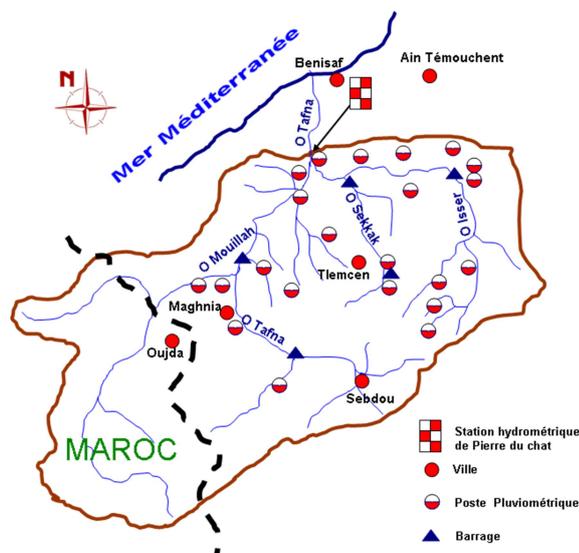


Figure IV.5 Bassin versant de la Tafna

Les données utilisées dans notre thèse proviennent de l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH), elles sont prélevées à la station de Pierre du Chat. Le mode de prélèvement suivi consiste à faire des prélèvements quotidiens d'échantillon d'eau dans des bouteilles en matière plastique, à analyser au laboratoire pour la détermination des concentrations en matières solides et autres caractéristiques (analyses chimiques). Le prélèvement est donc ponctuel avec multiplication du nombre de prélèvements en période de crues ou à débit variable (prélèvement chaque pas de temps restreint « 15 mn par moment ». Le prélèvement se fait manuellement par

l'opérateur de la station, l'inconvénient majeur réside dans ces prélèvements manuels en particulier en période de crue, car ils deviennent extrêmement difficiles et risqués. Dans ces cas les prélèvements se font tout près de la rive. Mais malgré la simplicité de la prise d'échantillons et l'inconvénient précité leurs utilisations dans l'estimation des apports solides reste meilleurs que l'utilisation des modèles empiriques (Bouchelkia, 2003).

La collecte des données consiste à un dépouillement systématique des paramètres: hauteur d'eau et concentration en particules solide prélevées à la station de Pierre de Chat situé sur l'oued Tafna à l'exutoire du bassin versant. Les données sont représentatives puisqu'elles s'étalent sur une période de 16 ans (1990-2006) pour les débits liquides et sur une période de 11ans (1995-2006) pour les couples débit liquide, débit solide (Q,Qs).

A partir des feuilles d'analyses chimiques de l'eau, relatives à Oued Tafna ; contrôlé par la station de Pierre de Chat à l'exutoire de ce bassin et grâce au barème d'étalonnage des courbes de tarages érigées par L'A.N.R.H. (Agence nationale des ressources hydrauliques d'Alger), deux types de fichiers sont dressés :

- Un fichier présentant une série continue et la plus longue possible, de débits liquides moyens journaliers en ( $m^3/s$ ).
- Un fichier présentant une assez longue série de couples (débit liquide ( $m^3/s$ ), débit solide (Kg/s) (Bouchelkia, 2003).

**Remarque :** Il est à signaler que la série des débits liquides moyens journaliers est une série continue sans lacune, mais la série des couples (Q, Qs) doit être aussi longue que possible mais pas nécessairement continue.

### **IV.3. ESTIMATION DES APPORTS SOLIDES EN SUSPENSIONS PAR MODELISATION STATISTIQUE :**

Comme il a été signalé avant, l'estimation dans cette approche se fera en se basant sur les débits solides calculés à la base des données hydrométriques de la station de Pierre de Chat contrôlant le bassin versant de La Tafna (débits liquide instantanés et concentration) et les débits liquides, avec intégration des fréquences de ces derniers.

#### **IV.3.1. Estimation du transport solide en suspension l'échelle annuelle :**

Pour pouvoir intégrer un nombre important de données dans notre estimation nous avons procédé à l'estimation des apports solides en suspension à la base des débits moyens journaliers.

**IV.3.1.1. Données sur les sédiments :**

A partir du fichier de base des couples (Q, Q<sub>S</sub>), (débit liquide instantané et débit solide en suspension instantané), des fichiers de couples (Q, Q<sub>S</sub>) sont dressés pour des débits moyens journaliers aussi bien pour les débits liquides que pour les débits solides, selon la période de validité de l'estimation (annuelle, saisonnière ou semestrielle).

**IV.3.1.2. Données sur les débits liquides du cours d'eau :**

Les relevés des débits liquides effectués à la station de jaugeage de Pierre de Chat sont saisis à L'A.N.R.H. et sont disponibles sous forme de fichier présentant les débits moyens journaliers dans leurs classements chronologiques sur une période d'observation de 1990 à 2006.

**IV.3.1.3. Recherche de relation entre débits solides en suspension et débits liquides:**

Un premier examen des débits liquides moyens journaliers et des débits solides en suspension moyens journaliers correspondants, observés durant la période 1995 à 2006, nous a permis de sélectionner un échantillon suffisant et représentatif des couples (Q, Q<sub>S</sub>) d'une taille :

$$N = 592 \text{ couples}$$

Les couples de valeurs (Q, Q<sub>S</sub>) sélectionnés sont rapportés sur un papier Log – Log ; le tracé démontre que le nuage de points obtenu autorise un ajustement linéaire. On pose donc le modèle linéaire :

$$Y = A \cdot X + B$$

Tel que :  $X = \text{Log}(Q)$  et  $Y = \text{Log}(Q_S)$

Q : débit liquide en m<sup>3</sup>/s.

Q<sub>S</sub> : débit solide en suspension Kg/s.

➤ Des calculs élémentaires conduisent aux résultats suivants :

**Tableau .IV.2 : Résultats de calcul**

	Ql	Qs
<b>Les moyennes</b>	0,45	0,20
<b>Les écarts types</b>	4,18	4,65
<b>La covariance</b>	1,76	
<b>Coef. de corrélation</b>	89 %	

➤ Les paramètres du modèle A et B :

$$A = 1.96 \quad \text{et} \quad B = -0.70$$

➤ Le modèle ainsi déduit est de la forme :

$$Q_s = K \cdot Q^A \quad \text{avec} \quad K = 10^B = 0.20$$

$$\text{Donc :} \quad Q_s = 0.20 \cdot Q^{1.96} \quad \text{avec} \quad R = 89\%$$

C'est la relation exprimant le débit solide (Kg/s) en fonction du débit liquide ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) appliquée à l'échelle annuelle.

La figure (IV.6) montre le nuage de points et la droite de régression pour une application annuelle.

Ce modèle en puissance a été déjà proposé dès 1895 par Kennedy (in Lefort, 1992)

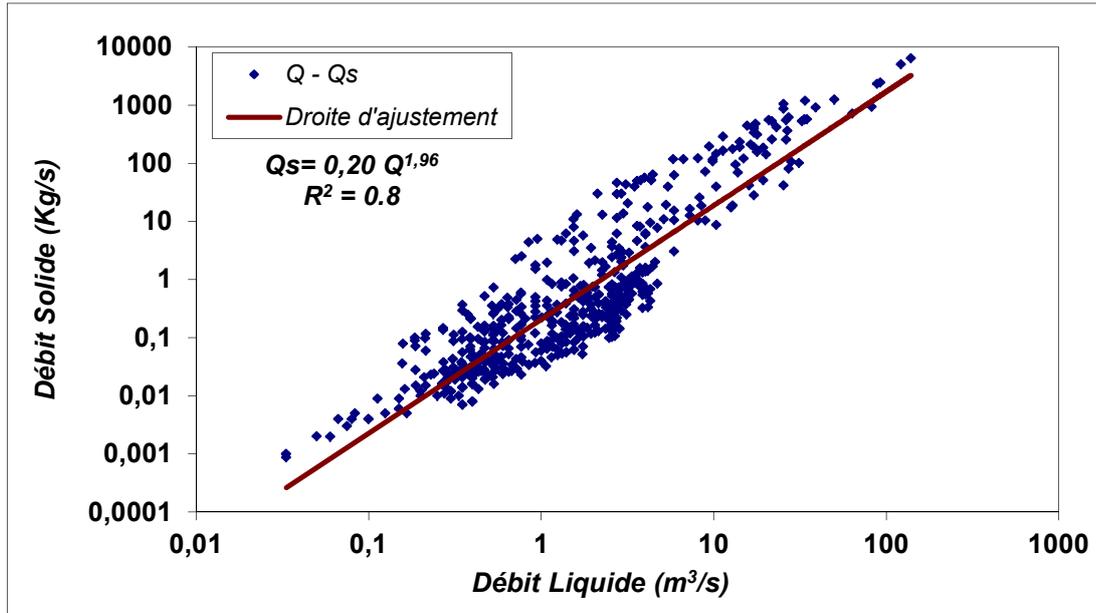


Figure.IV.6 : Droite de régression débit solide – débit liquide (échelle annuelle)

#### IV.3.1.4. Courbe des débits classés (courbe des fréquences cumulées):

Une série de débits liquides moyens journaliers a été sélectionnée ; une série complète continue de 1991 à 2006 d'une taille :  $N = 5400$  valeurs.

Dont les caractéristiques estimées sont :

- La moyenne  $Q_{\text{moy}} = 1,75 \text{ m}^3/\text{s}$ .
- L'écart type :  $S = 1790$

La répartition de la statistique d'observation en classes, nous a permis de tracer la courbe des débits classés (fréquences cumulées des débits liquides moyens journaliers) pour la période en question ; la courbe obtenue est présentée dans la figure. (IV.7).

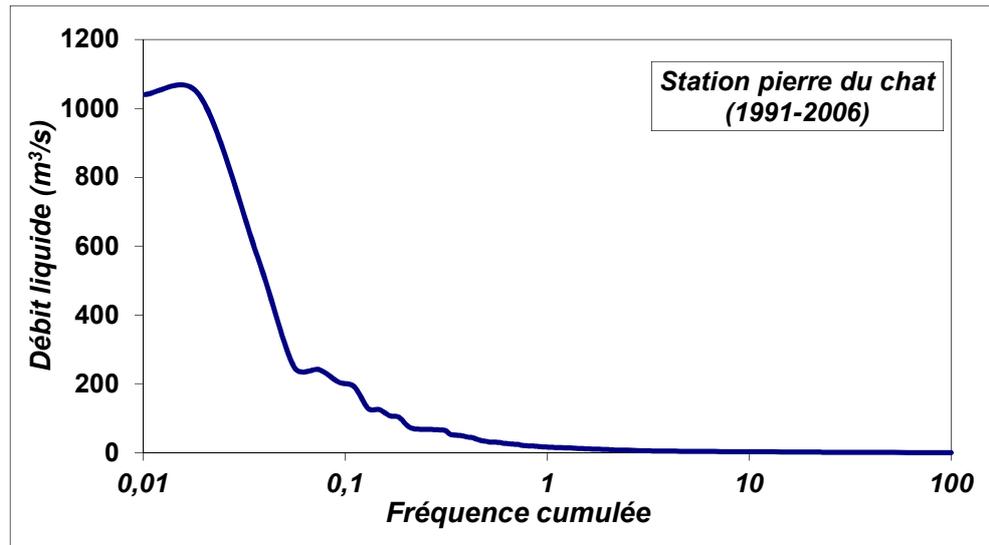


Figure IV.7 : Courbe des débits classés (échelle annuelle)

#### IV.3.1.5. Estimation de l'apport solide en suspension :

Le modèle :  $Q_s = 0.20 \cdot Q^{1.96}$  (figure IV.6), combiné avec la courbe des débits classés, suivant les étapes citées précédemment nous a fourni les résultats du débit liquide moyen journalier inter- annuel  $Q_{lm}$  et le débit solide moyen journalier inter-annuel «  $Q_{Sm}$  », tel qu'il est résumé au tableau (IV.3), qui nous permettrons d'estimer la masse des sédiments en suspensions transportés dans le cours d'eau de Tafna.

Tableau .IV.3 : Calcul des débits liquides et solides moyens interannuels

Bornes (%)	Intervalle(%)	Médiane	Q	Q <sub>s</sub>	col2 · Col4/100	col2 · col5/100
0,00-0,02	0,02	0,01	1039,5	171622,09	0,19	31,75
0,02-0,04	0,02	0,03	803,5	103483,73	0,15	19,14
0,04-0,06	0,02	0,05	408,5	27398,67	0,08	5,1
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
0,38-0,44	0,06	1,26	133	1049,36	0,05	0,20
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
3,31-4,83	01, 52	4,07	4,5	3,9	0,07	0,06
4,83-8,5	03, 67	6,67	3,5	2,38	0,13	0,09
8,50-17	08, 5	12,75	2,5	1,23	0,21	0,1
17,00-29,48	12, 48	23,24	1,5	0,45	0,19	0,06
29,48-100	70, 52	64,74	0,5	0,05	0,35	0,04
					<b>Q<sub>lm</sub></b> = 2,08 m <sup>3</sup> /s	<b>Q<sub>sm</sub></b> = 65,82 Kg/s

**1) Calcul de la charge annuelle de sédimentation (Apport solides annuel) :**

$$A_{SA} \text{ (annuelle)} = Q_S \cdot 3,154 \cdot 10^4 = 65,82 \cdot 3,154 \cdot 10^4 = 2,08 \text{ million tonnes/an}$$

$$A_{SA} = 2,08 \cdot 10^6 \text{ t/an.}$$

**2) Calcul de la Dégradation spécifique:**

$$D_S = A_{SA} \text{ (annuelle)} / \text{surface} = 2,08 \cdot 10^6 / 6900 = 301,45 \text{ t/Km}^2/\text{an}$$

**IV.3.2. Estimation du transport solide en suspension l'échelle saisonnière:**

Compte tenu de l'influence saisonnière sur le phénomène du transport solide, ceci nous a poussés à établir des relations saisonnières entre débits liquides et débits solides et d'estimer l'apport solide en suspension en découlant pour chaque saison. Deux groupements de saisons ont été effectués, le premier selon les saisons conventionnelles (Automne, Hiver, Printemps, Été), le second selon le partage de l'année en deux saisons (Saison humide et Saison Sèche) identifiées suite à la construction du diagramme Ombrothermique de la station de ZENATA qui se trouve à l'intérieur du bassin versant ; Nous avons préféré utiliser les données de cette station plutôt que celles de la station de Pierre de Chat pour une meilleure représentativité.

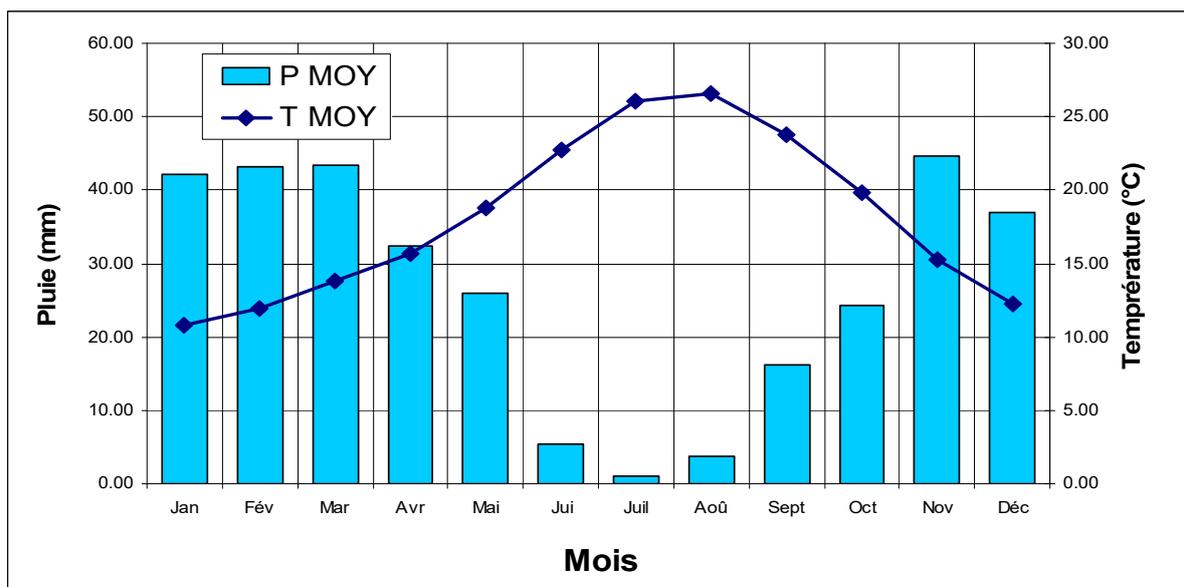


Figure IV.8. Diagramme Ombrothermique – Station de ZENATA- Période : 1980-2010

D'après la courbe Ombrothermique figure IV.8, nous avons remarqué que la saison humide s'étend de novembre à avril (soit 6 mois) par contre la saison sèche s'étend de mai à octobre (soit 6 mois).

**Remarque :** Le regroupement, saison humide et saison sèche a été effectué suite à l'importance des apports pluviométriques. Nous avons remarqué dans le chapitre précédent (figure III.12) que 73% des précipitations sont enregistrées en automne et en hiver d'où le regroupement en saison humide contre 27% au printemps et en été d'où le regroupement en saison sèche.

➤ Le tableau (IV.4) résume les paramètres de l'échantillon des couples de valeurs (Q, QS) pour chaque saison.

Tableau IV.4 : Caractéristiques des échantillons (Q, QS)

Saison	Nbre de couples	Moyenne $\bar{X}$ ( $m^3/s$ )	Moyenne $\bar{Y}$ (Kg/s)	Ecart type $S_x$	Ecart type $S_y$	Covariance $S_{xy}$
Automne	355	0,40	0,19	2,76	4,22	1,51
Hiver	302	0,61	0,23	3,82	4,24	1,84
Printemps	252	0,46	0,26	5,53	4,06	1,93
Eté	215	0,23	0,15	3,73	4,67	1,73
S. Humide	606	0,53	0,23	3,54	4,40	1,65
S. Sèche	516	0,36	0,18	4,63	4,82	1,87

- Le tableau (IV.5) illustre les valeurs des coefficients de régression des relations saisonnières, ainsi que les modèles trouvés pour chaque saison.

L'équation de régression logarithmique est de la forme :  $\text{Log}(Q_S) = A \cdot \text{Log}(Q) + B$

Et le modèle recherché est de la forme :  $Q_S = k \cdot Q^A$  avec  $k = 10^B$

Les graphes mentionnant les nuages de points et les droites de régressions sont classés en figure.IV.9 .

**Tableau .IV.5 : Relations saisonnières**

Période	Nombre de points	Coefficient A	Coefficient K	Coefficient de corrélation	Relation
Automne	355	2,10	0,49	96%	$0,49Q^{2,10}$
Hiver	302	2,00	0,26	90%	$0,26Q^{2,00}$
Printemps	252	2,05	0,26	91%	$0,14Q^{2,07}$
Été	215	1,43	0,10	92%	$0,10Q^{1,43}$
S Humide	606	2,05	0,26	91%	$0,26Q^{2,05}$
S Sèche	516	1,69	0,12	87%	$0,12Q^{1,69}$

L'application du test d'adéquation de FISHER SNEDECOR pour toutes les applications précédentes (annuelle et saisonnières) montre que les seuils de significations des relations retrouvées sont de l'ordre de 99% (risque  $\alpha=1\%$ ) car les F observés dépassent le F théorique ( $F_{\alpha}(1,N-2)$ ) obtenu à partir de la table de Fisher, ce qui montre la bonne représentativité des modèles. C'est normal, car les coefficients de corrélations sont importants et les effectifs sont relativement grands.

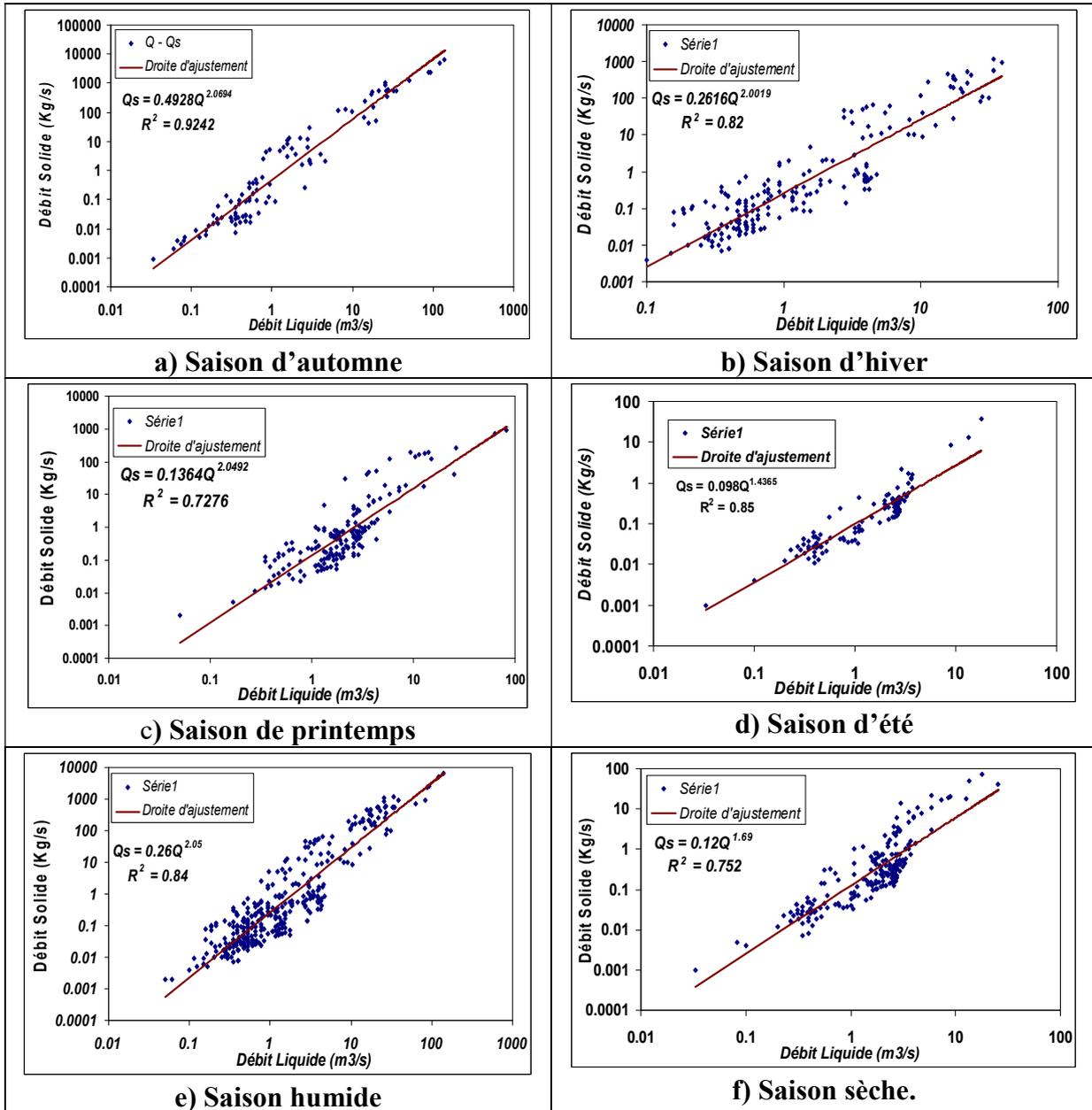


Figure.IV.9 .corrélation saisonnière (débit solide - débit liquide)

## a) Etude fréquentielle des débits liquides

La répartition de la statistique d'observation en classes, nous a permis de tracer les courbes des débits classés (fréquences cumulées des débits liquides moyens journaliers) pour les périodes considérées..

- Le tableau (IV.6) donne les tailles et les paramètres estimés des séries saisonnières (les moyennes et les écarts type des débits moyens mensuels pour chaque période).
- Les tracés des courbes des débits classés saisonnières sont mentionnés en figure IV.10

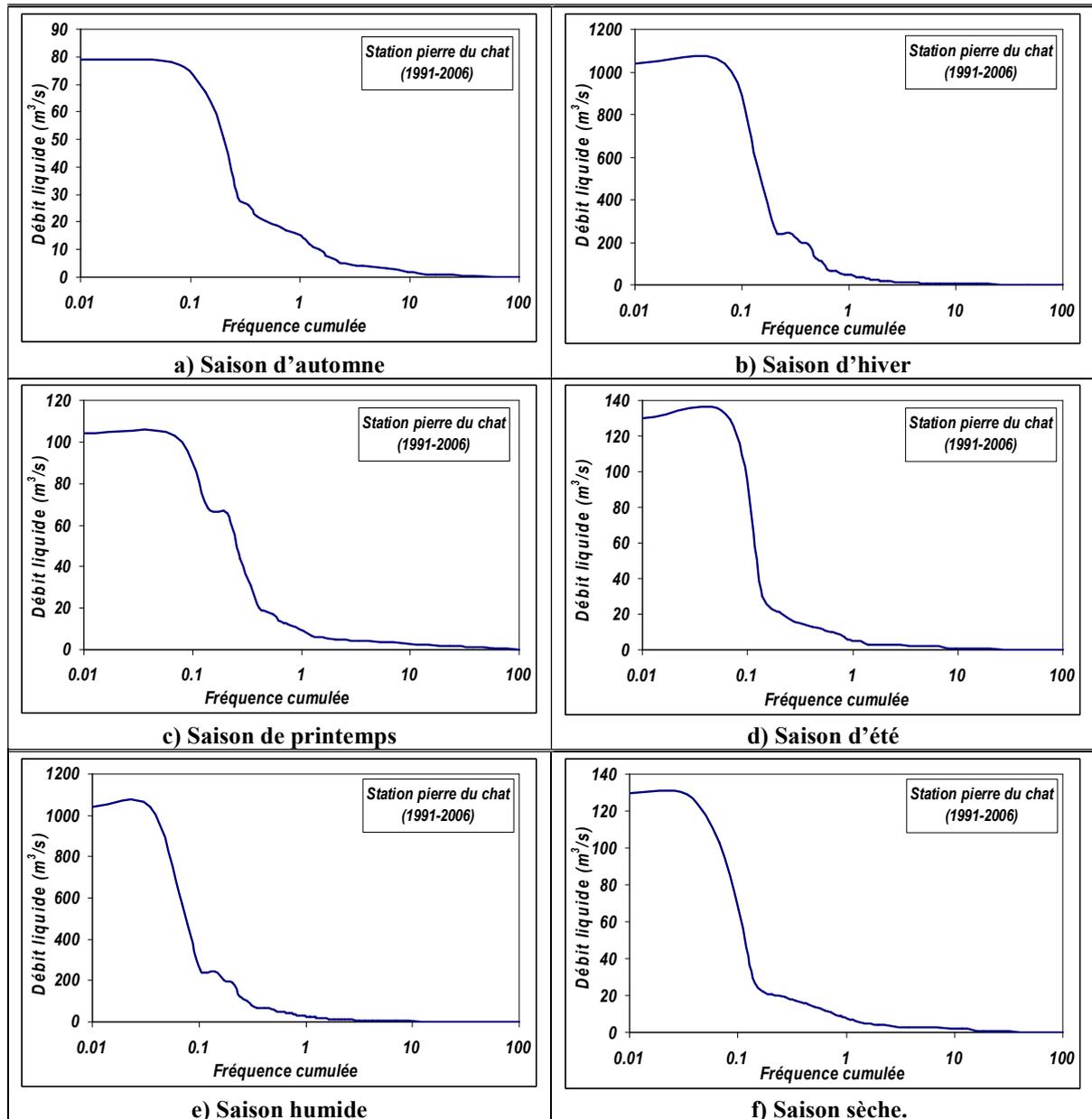
**Tableau .IV.6 :** Séries saisonnières des débits liquides moyens journaliers

Période	Taille	Moyenne	Ecart type
Automne	1464	0,90	3,69
Hiver	1440	3,99	24,84
Printemps	1452	1,26	4,24
Eté	1440	0,42	3,72
S Humide	2892	2,60	24,14
S Sèche	2940	0,70	3,69

- Le tableau IV.7, donne les estimations des débits liquides et solides en suspension, moyens journaliers inter – saisonniers ; calculés suivant les étapes cités préalablement ; ainsi que les apports solides en suspension en découlant.

**Tableau .IV.7 :** apports saisonniers en sédiments en suspension

Période	Automne	Hiver	printemps	Eté	S Humide	S Sèche
Débit liquide moyen " $Q_{lm}$ " ( $m^3/s$ )	1,20	4,43	1,54	0,88	2,91	1,07
Concentration Spécifique " $C_s$ " ( $g/l$ )	8,68	88,55	2,46	0,23	93,07	0,58
Débit solide en suspension " $Q_{sm}$ " ( $kg/s$ )	10,41	392,16	3,78	0,20	271,18	0,62
Apport solide saisonnier " $A_{ss}$ " ( $10^4 t/Période$ )	8,21	309,20	2,98	0,16	427,59	0,98
Apport solide annuel " $A_{sa}$ " ( $10^6 t/an$ )	3,2055				4,2857	
Dégradation spécifique « $D_s$ » ( $t/km^2.an$ )	464,56				621,11	



**Figure.IV.10 :** Courbes des débits classés à l'échelle saisonnière

### Discussion des résultats

Les résultats des modèles d'ajustement: débit solide - débit liquide sont assez significatifs, puisque le coefficient de corrélation varie entre 86% et 96%(tableau IV.5) pour toutes les applications. le coefficient de corrélation pour le modèle annuel est significatif, il est de 89%, par contre à l'échelle saisonnière, le coefficient de corrélation est beaucoup plus important pour les saisons: automne, hiver, printemps, été et saison humide puisqu'il est respectivement 96%, 90% ,91% 92% et 91% on remarque que le plus faible coefficient est enregistré en saison sèche (87%) ; ceci peut s'expliquer par l'irrégularité des apports et à l'intervention importante des crues

exceptionnelles durant cette saison; dans l'ensemble l'influence des saisons sur le phénomène est visible dans cette étude. A l'échelle des deux saisons (saison humide et saison sèche), le degré de signification est très important du fait que nous avons obtenu des coefficients de corrélation de 91% et 87%, ce qui confirme l'influence des saisons sur le phénomène du transport solide. Les liaisons débit liquide - débit solide reste en général significatives.

La dégradation spécifique du bassin versant de la Tafna parait très important car elle est soumise à des conditions physiques et climatiques très variables (entre 301 et 621 T/km<sup>2</sup>/an) et elle est nettement supérieure aux résultats obtenus par Bouchelkia et Benhadj en 1994 dans une étude antérieure sur le même bassin versant (entre 197 et 255 T/km<sup>2</sup>/an) en utilisant des données antérieures à celles utilisées dans cette thèse (1970-1990) mais reste nettement supérieur aux apports solides en suspension que nous avons trouvés dans le bassin versant de Oued Mouillah (entre 17,73 et 28,41 T/km<sup>2</sup>/an sur la période 1974-1999)(Bouchelkia et al, 2011) se trouvant au sein du bassin de la Tafna. Il est à signaler qu'en hiver les apports solides sont les plus importants (3,09. 10<sup>6</sup> tonnes) car en cette saison les débits liquides sont plus importants plus réguliers et les crues plus fréquentes qu'en d'autres saisons.

#### IV.3.3. Estimation du transport solide en suspension a l'échelle mensuelle:

Pour la station de pierre de chat, des applications à échelle mensuelle ont été menées, compte tenu de l'influence mensuelle sur le phénomène du transport solide, ceci nous a poussés à établir des relations entre débits liquides et débits solides et d'estimer l'apport solide en suspension en découlant pour chaque mois. Plus de 5840 données de débits liquides moyens journaliers et 1320 couples (Q, Qs) sélectionnés sur la période 1995-2011. La figure IV.11, représente les relations mensuelles des débits solides en fonction des débits liquides. Il est intéressant de constater que le nuage de points prend la forme d'une corrélation puissance:  $Q_s = K \cdot Q^A$ , avec K et A: coefficients.

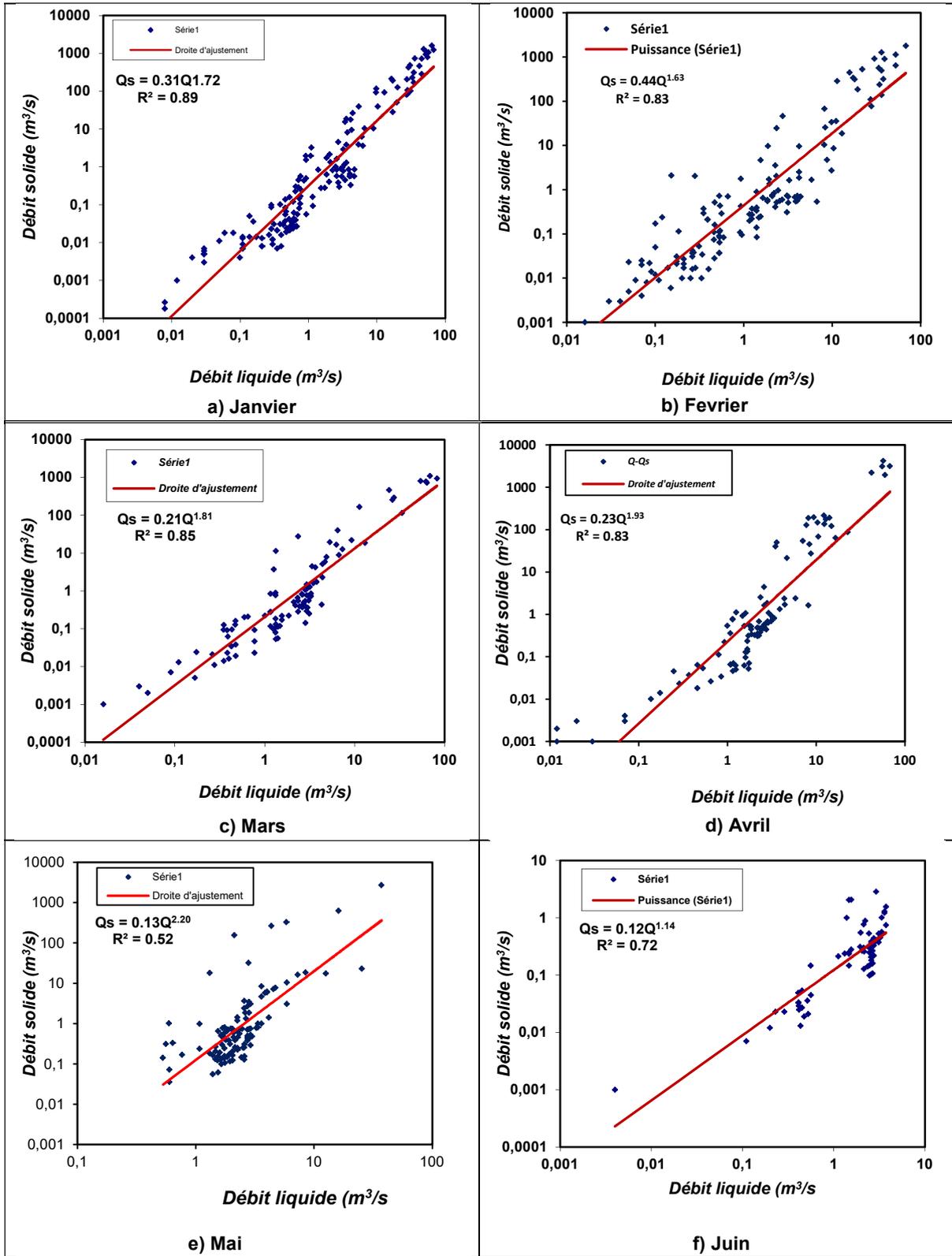
Ce modèle en puissance a été déjà proposé dès 1895 par Kennedy (in Lefort, 1992) Le tableau IV. 8. résume les différentes relations et les coefficients de corrélation

#### Remarque :

Nous tenons à signaler que dans la première partie de cette étude (annuelle et saisonnière) nous avons utilisés une série de couple (Q, Qs) s'étalant sur une période de 1995 à 2006, par contre ici la série utilisée s'étale de 1995 à 2011, tout simplement, les cinq années de données supplémentaire ont été procurées après l'achèvement et la publications des résultats de la première partie.

Tableau IV.8. Relations mensuelles  $Q_s=f(Q)$  et coefficients de corrélation

Période	Nombre de points	Coefficient A	Coefficient K	Coefficient de corrélation	Relation
Janvier	165	1,72	0,31	94%	$0,31Q^{1,72}$
Février	141	1,63	0,44	91%	$0,44Q^{1,63}$
Mars	102	1,81	0,21	92%	$0,21Q^{1,81}$
Avril	103	1,93	0,23	91%	$0,23Q^{1,93}$
Mai	113	2,20	0,13	72%	$0,13Q^{2,20}$
Juin	70	1,14	0,12	85%	$0,12Q^{1,14}$
Juillet	35	1,28	0,11	92%	$0,11Q^{1,28}$
Aout	25	2,26	0,24	86%	$0,24Q^{2,26}$
Septembre	49	2,19	0,61	86%	$0,61Q^{2,19}$
Octobre	82	2,01	1,31	95%	$1,31Q^{2,01}$
Novembre	82	2,01	0,55	95%	$0,55Q^{2,01}$
Décembre	132	1,96	0,29	94%	$0,29Q^{1,96}$



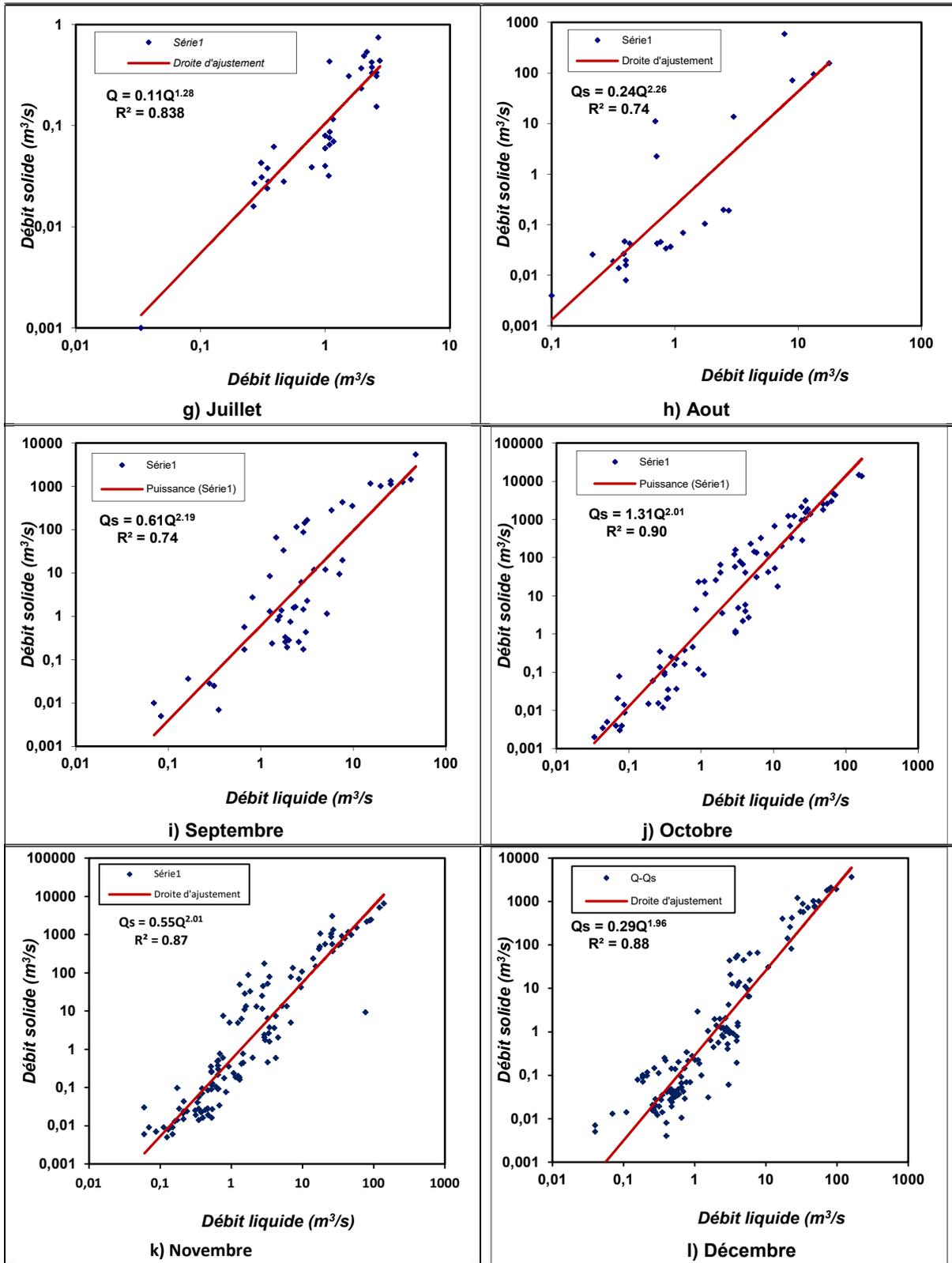
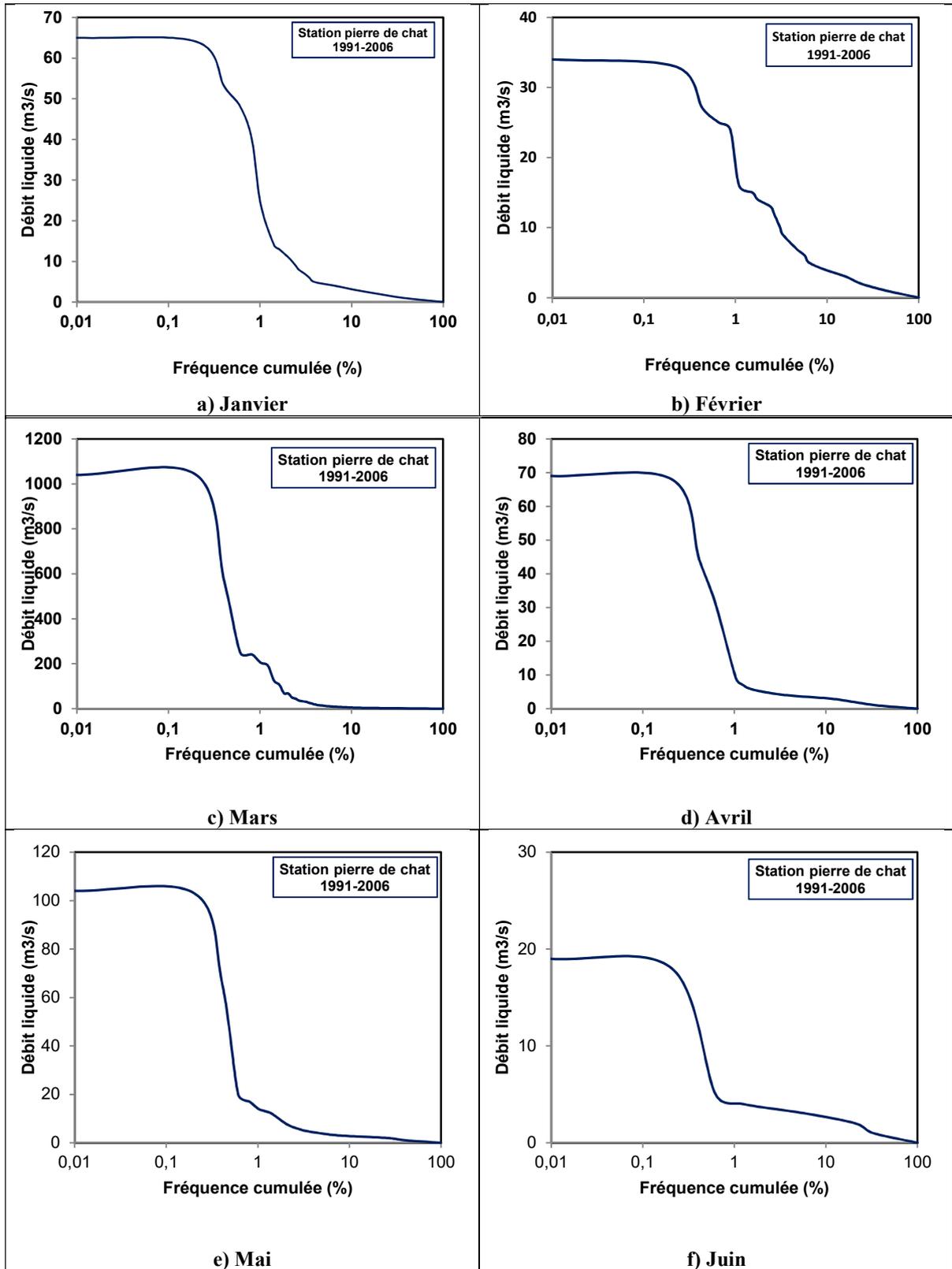


Figure.IV.11. Corrélation mensuelle entre débit solide et débit liquide.

**a) Etude fréquentielle des débits liquides**

La répartition de la statistique d'observation en classes, nous a permis de tracer les courbes des débits classés (fréquences cumulées des débits liquides moyens journaliers) relatives à chaque mois de l'année (Musy A.1998). Ainsi donc chaque fichier des débits liquides moyens journalier est classé et nous avons déterminé les fréquences expérimentales de ces débits. Les courbes obtenues sont regroupées dans la figure IV.12. En traçant les courbes de fréquences cumulées nous avons remarqué que ces courbes collent au axes, cela et toute à fait normale car l'oued Tafna comme la majorité des oueds (rivières) algériens n'est pas pérenne et très irrégulier; son débit est faible, des fois même sec, mais peut atteindre exceptionnellement des débits phénoménales ( $1040\text{m}^3/\text{s}$  maximum enregistré sur la période 1991-2006) en particulier lors des crues, c'est pour cette raison que nous avons porté l'échelle des abscisses à échelle logarithmique pour une meilleure visibilité des courbes. Le tableau IV.9 résume les moyennes et les écarts type des débits moyens pour chaque mois. Les valeurs de la moyenne et de l'écart-type nous donnent une idée sur l'échantillon, l'écart-type mesure la dispersion des données autour de leur moyenne. Si l'écart type est faible il ya concentration des données autour de la moyenne (Bowker, 1965). Donc, pour notre cas, les débits liquides sont plus concentrés autour de leurs moyennes à la quasi totalité des mois (écart-type  $<6,28$ ) à l'exception du mois de Mars ou ils sont plus dispersés autour de leur moyenne annuelle (écart-type = 57.43)



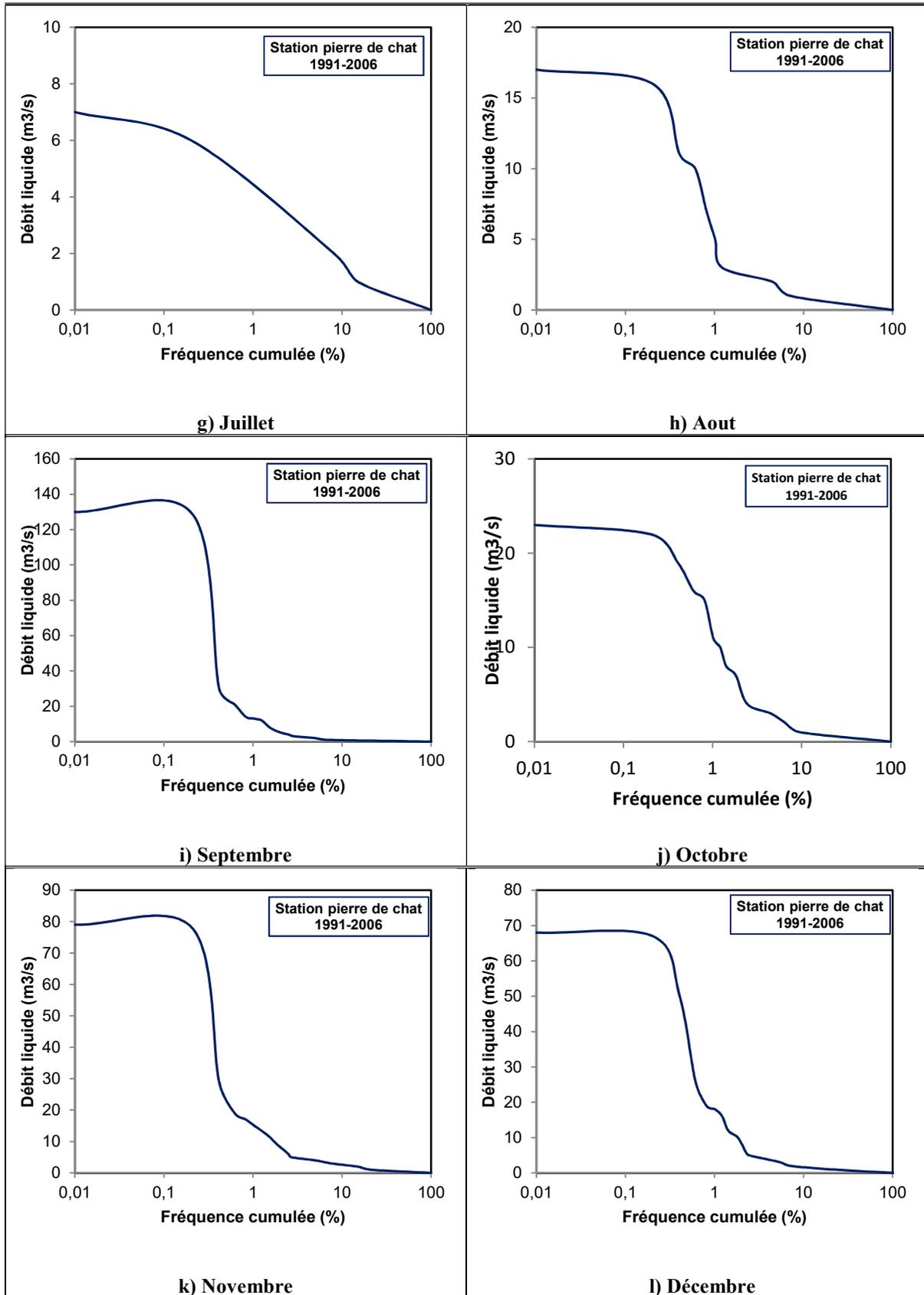


Figure IV.12. Courbe des fréquences cumulées des débits liquides moyens journaliers à l'échelle mensuelle.

Tableau IV.9. Moyenne et écart type

Période	Taille	Moyenne (m <sup>3</sup> /s)	Ecart type
Janvier	492	1,765	5,058
Février	456	1,801	3,423
Mars	492	8,187	57,434
Avril	480	1,293	4,142
Mai	492	1,572	5,837
Juin	480	0,849	1,424
Juillet	492	0,333	0,774
Aout	492	0,275	1,198
Septembre	480	0,651	6,273
Octobre	492	0,481	1,999
Novembre	480	1,076	4,271
Décembre	492	1,133	4,301

#### b) Apports solide en suspension

Mois par mois, le modèle  $Q_s = K Q^A$  combiné avec la courbe des fréquences cumulées correspondant, nous a permis d'évaluer le débit solide moyen en suspension relatif au mois considérés, qui nous ont permis de déterminer les apports mensuels en découlant. L'apport moyen interannuel est déduit par sommations des apports mensuels ( $AS_A = \sum_{n=1}^{12} AS_i$ ). Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau IV.10.

Tableau IV.10. Apports solide dans l'oued Tafna

Période	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	octobre	Novembre	Décembre
Débit liquide moyen journalier (m <sup>3</sup> /s)	1,87	1,94	9,34	1,61	1,88	1,17	0,86	0,71	1,22	0,90	1,42	1,32
Concentration Spécifique (g/l)	2,04	1,46	26,85	2,61	7,13	0,13	0,12	1,08	62,85	7,18	23,53	4,47
Débit solide en suspension (kg/s)	3,81	2,82	250,7 4	4,19	13,4	0,16	0,10	0,76	76,67	6,49	33,50	5,92
Apport solide (10 <sup>3</sup> t/Mois)	120,20	6,81	671,59	10,87	35,90	0,41	0,27	2,05	198,73	17,39	86,83	15,86
Apport solide annuel (10 <sup>6</sup> t/an)	1,17											
Dégradation spécifique (t/km <sup>2</sup> ,an)	196,11											

Les figures IV.13, IV.14, IV.15 résument les variations mensuelles des apports liquides, des apports solides et des concentrations solides de l'oued Tafna.

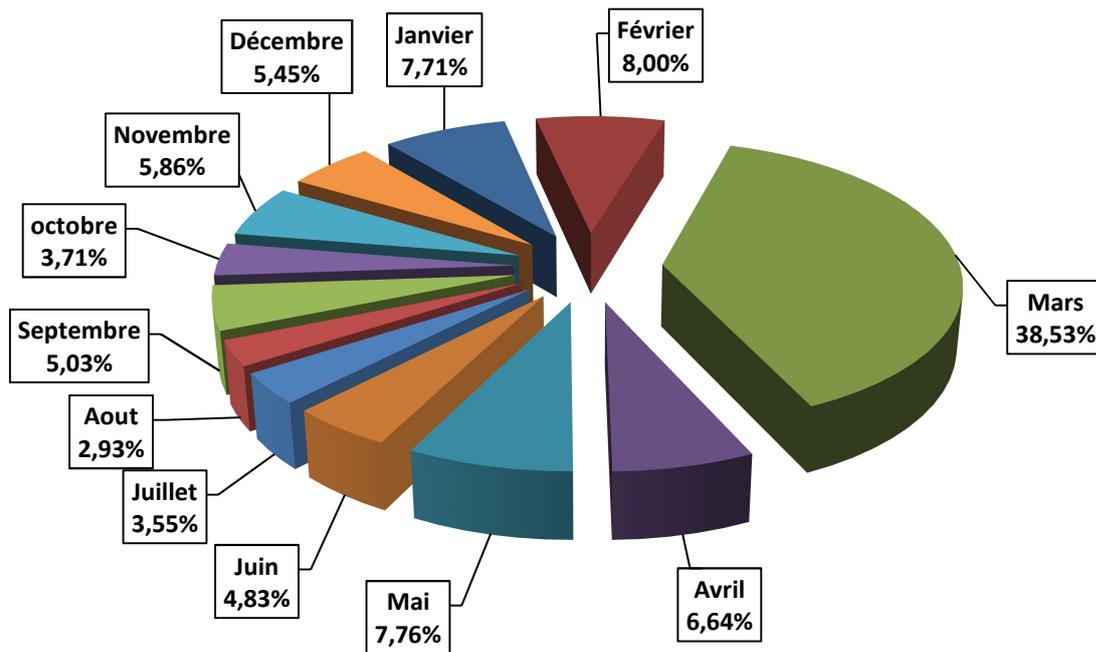


Figure IV.13. Variation mensuelle des apports liquides de la Tafna

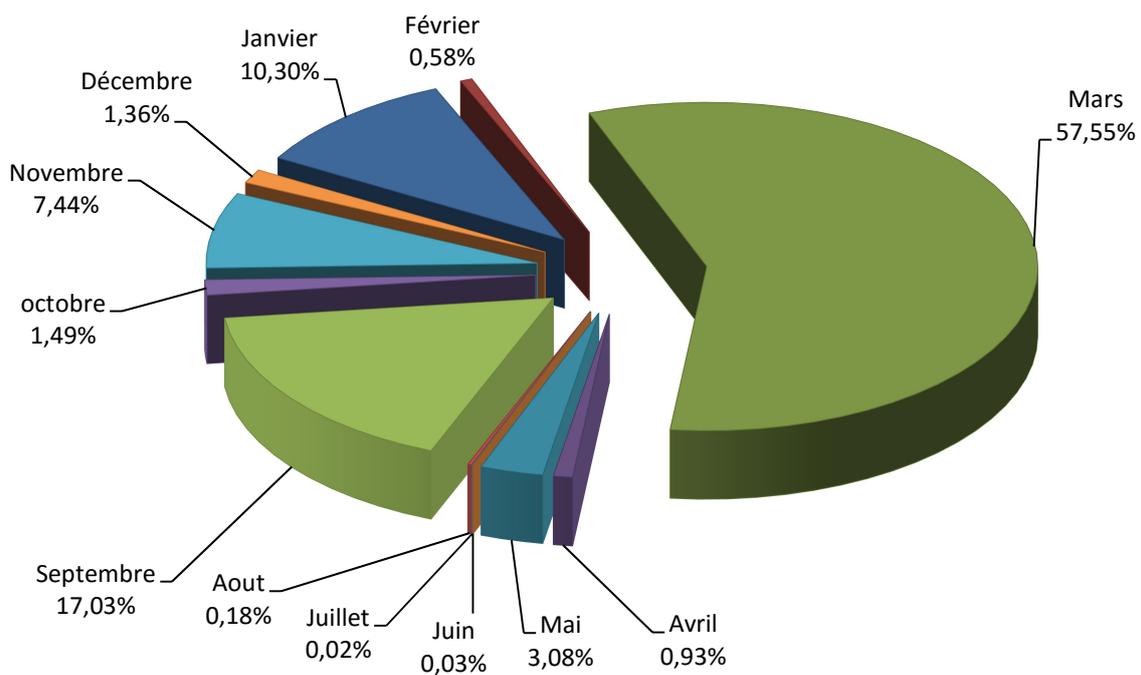


Figure IV.14. Variation mensuelle des apports solides de la Tafna

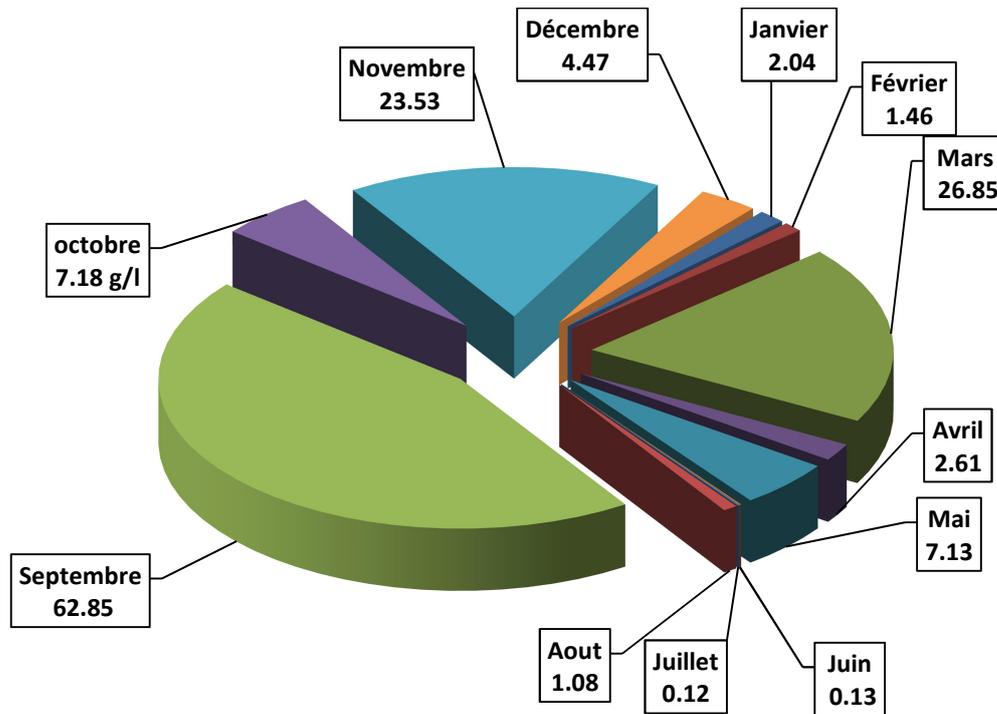


Figure IV.15. Variation mensuelle des cocentrations solides de la Tafna

#### IV.3.4. Discussion des résultats

Les résultats des modèles d'ajustement: débit solide - débit liquide sont assez significatifs, puisque le coefficient de corrélation varie entre 85% et 95% (tableau IV.8) pour tous les mois à l'exception du mois de Mai ou nous avons obtenu un coefficient de corrélation de 72%, ce qui confirme que le phénomène est bien cerné à l'échelle mensuelle. Les coefficients de corrélation les plus importants sont enregistrés durant les mois allant de novembre à avril (>91%) ceci s'explique par une certaine régularité des apports en ces mois. Les coefficients les plus faibles s'explique par l'irrégularité des apports et à l'intervention importante des crues exceptionnelles durant ces mois. Dans l'ensemble l'influence mensuelle sur le phénomène est visible dans cette étude. Les liaisons débit liquide - débit solide reste en général significatives.

La dégradation spécifique au bassin versant de la Tafna parait important (196,11 t/km<sup>2</sup>/an), car est soumis à des conditions physiques et climatiques très variables et elle est proche aux résultats obtenus par Bouchelkia et Benhadj en 1994 dans une étude antérieure sur le même bassin versant (entre 197 et 255 T/km<sup>2</sup>/an) en utilisant des données antérieurs à celles utilisées dans cette thèse (1970-1990) mais reste toujours supérieur aux apports solides en suspension

que nous avons trouvé dans le bassin versant de Oued Mouillah (entre 17,73 et 28,41 t/km<sup>2</sup>/an sur la période 1974 - 1999) (Bouchelkia et al, 2011) se trouvant au sein du bassin de la Tafna.

Ces résultats sont supérieurs au résultat trouvé par Terfous et al. (2001) pour le bassin versant de Mouillah (126 t/km<sup>2</sup>/an sur une période d'étude de 1977 à 1993), et même il est loin de la valeur obtenue par MEGNOUNIF et al. (2003) pour une dégradation spécifique dans un sous-bassin de Tafna en utilisant des données sur cinq années d'observation (1120 Mg · km<sup>-2</sup> par an), mais il convient de noter que leur estimation ne tient pas compte des fréquences des débits liquides.

Il est à signaler qu'en mars les apports solides sont les plus importants (671,59 · 10<sup>3</sup> tonnes) et ils représentent 57,55% des apports (figure IV.14) car en cette saison les débits liquides sont plus importants, plus réguliers et les crues plus fréquentes qu'en d'autres mois.

En comparons les résultats entre les trois modes d'estimation (annuelle, saisonnière et mensuelle) (Tableau IV.11) ils s'avèrent différents les uns des autres, toute fois l'importance et la nature de l'ouvrage sera prédéterminante dans le choix de l'application appropriée. Une confrontation de ces derniers avec les mesures sur terrain et expérimentales, nous permettra de faire le meilleur choix.

**Tableau IV.11.** Récapitulatif des résultats

Application	Annuelle	Saisonnière	Saisons Humide et sèche	Mensuelle
Apport solide annuel "A <sub>SA</sub> " (10 <sup>6</sup> t/an)	2,08	3,21	4,28	1,17
Dégradation spécifique « D <sub>S</sub> » (t/km <sup>2</sup> .an)	301,45	464,56	621,11	196,11

**CHAPITRE V :**

**INTERRELATION**

**PRECIPITATION-TRANSPORT SOLIDE**

**CHAPITRE V :****INTERRELATION PRECIPITATION-TRANSPORT SOLIDE**

Au chapitre III nous avons étudié les précipitations au sein du bassin versant de la Tafna, au chapitre IV vous avons déterminé la production de sédiments en suspension dans ce dernier, il convient dans ce chapitre d'essayer de trouver la relation liant le transport solide transitant par la station de Pierre du Chat aux précipitations enregistrées au sein du bassin de la Tafna.

Afin de parvenir à cette fin, nous utiliserons les résultats de l'estimation mensuelle des apports solides que nous lierons aux données de toutes les stations pluviométriques traitées. Pour bénéficier de toutes les données des postes pluviométriques, nous utiliserons une moyenne pondérée en utilisant la méthode des polygones de Thiessen. Nous essayerons dans cette partie de trouver une relation directe (précipitation- apport solide) et une relation indirecte (précipitation-débit liquide-apport solide)

Cette étude peut avoir une importance capitale puisque en finalité l'estimation des apports solides en suspension peut être déduite juste à la base de précipitations enregistrées dans le bassin versant.

**V.1. DONNEES SUR LES PRECIPITATIONS :**

Les données des précipitations moyennes mensuelles de toutes les stations étudiées au chapitre III seront utilisées dans cette partie.

**V.2. EVALUATION REGIONALE DES PRECIPITATIONS**

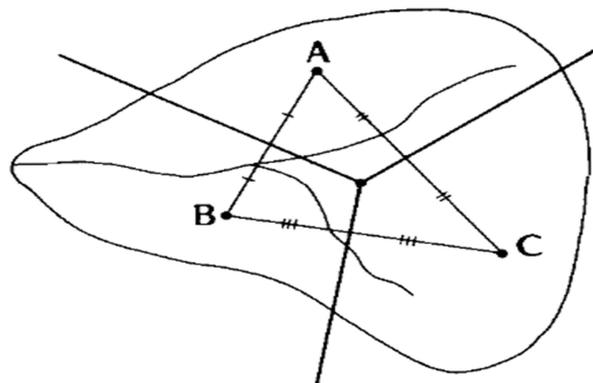
Le passage des mesures ponctuelles des précipitations à une estimation spatiale de celles-ci, souvent nécessaire en hydrologie, est délicat. Pour ce faire, plusieurs méthodes sont utilisées ; Les méthodes les plus simples et les plus couramment utilisées sont les méthodes de calcul de moyennes ou les méthodes d'interpolation des données pluviométriques collectées localement. Parmi les méthodes généralement proposées pour calculer la moyenne des pluies à partir de l'ensemble des mesures ponctuelles obtenues à plusieurs stations pluviométriques sur le bassin ou à proximité, on distingue la méthode de la moyenne arithmétique, la méthode des polygones de Thiessen ou l'utilisation d'isohyètes. Le choix de la méthode dépendra notamment de la longueur de la série de données dont on dispose, la densité du réseau de mesure, et la variation du champ pluviométrique.

### V.2.1. Calcul de la moyenne pondérée - méthode des polygones de Thiessen

La méthode du polygone de Thiessen est une méthode arithmétique, est la plus couramment utilisée, parce que son application est facile et précise ; elle donne en général des résultats satisfaisants. Elle convient notamment quand le réseau pluviométrique n'est pas homogène spatialement (pluviomètres distribués irrégulièrement). Cette méthode permet d'estimer des valeurs pondérées en attribuant à chaque pluviomètre un poids proportionnel à une zone d'influence ; Ces zones d'influences sont déterminées par une discrétisation géométrique du bassin sur une carte topographique présumée, telle qu'un point situé dans cette zone soit plus près, en distance horizontale, du pluviomètre correspondant que de tout autre pluviomètre. La méthode ne tient donc compte que de la distribution spatiale en plan des stations. Considérons, un bassin pourvu de trois pluviomètres A, B et C figure V.1, Joignons AB, BC et AC et en traçons les médiatrices de ces trois segments : elles sont concourantes et partagent le bassin en trois zones I, II et III. D'après les propriétés des médiatrices, un point situé dans la zone 1 est plus près de A que de B ou de C. La construction réalise donc bien la condition précitée. Si  $P_A$ ,  $P_B$  et  $P_C$  représentent les pluies tombées en A, B et C,  $S_r$ ,  $S_n$  et  $S_m$ , les surfaces respectives des trois zones,  $S$  la surface totale du bassin,  $P$  la pluie moyenne sur le bassin. D'après Thiessen, la précipitation moyenne  $P$  pour le bassin considéré, se calcule alors en effectuant la somme des précipitations  $P_i$  de chaque station, multipliées par leur facteur de pondération (aire  $S_i$ ), le tout divisé par la surface totale  $S$  du bassin. La précipitation moyenne sur le bassin est déduite comme suit :

$$P = \frac{P_A S_r + P_B S_n + P_C S_m}{S} \dots \dots \dots (V.1)$$

(Bennis, 2014 ; Mahzoume, 2009 ; Morel, 1999 ; Roche, 1963)

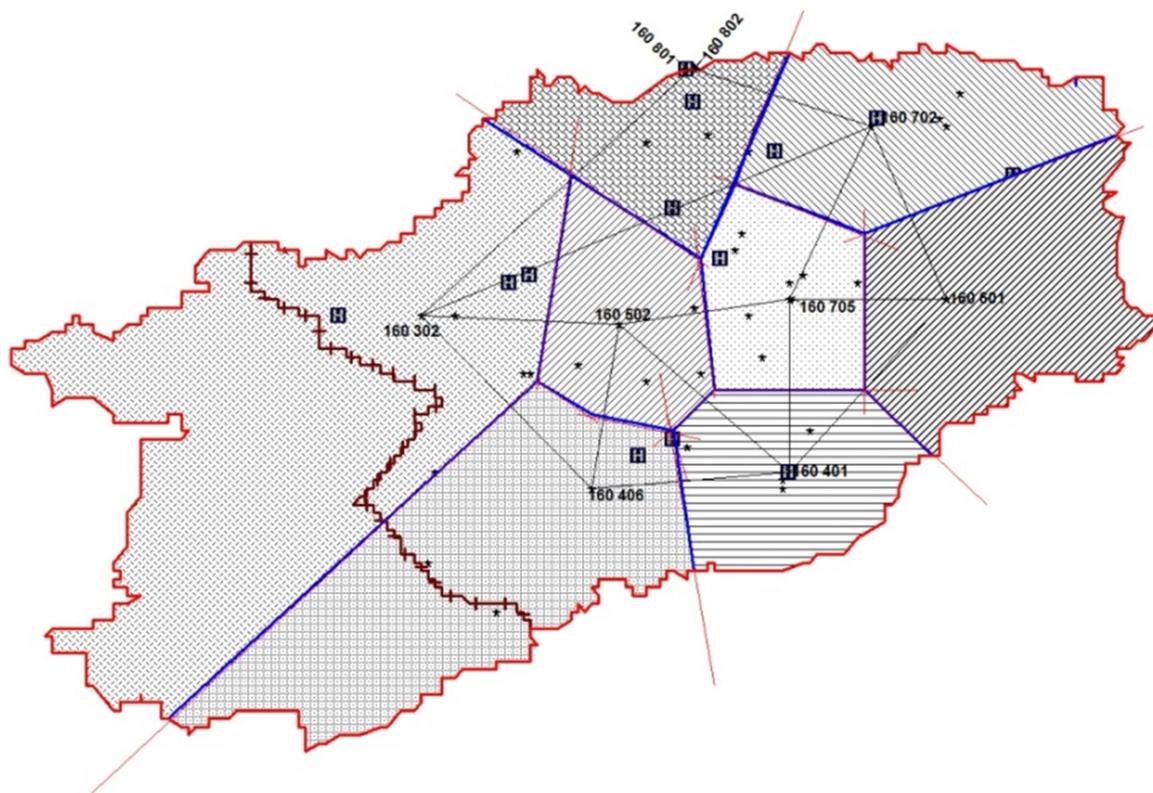


**Figure .V.1.** Méthode des polygones de Thiessen (Roche, 1963)

Avec :  $P$  : précipitation moyenne sur le bassin,  
 $S$  : aire totale du bassin,

**V.1.2. Polygones de Thiessen, Bassin de la Tafna :**

Nous disposant d'une carte du bassin versant de la Tafna numérisé par un SIG issue de l'ANRH-Alger ; sur cette carte sont mentionnés : le réseau hydrographique, orographie du bassin ; les différents sous bassins, les positions des stations hydrométriques et des postes pluviométrique. En utilisant le logiciel Map Info 6.5, Nous avons délimité notre bassin, identifier les positions des huit postes pluviométriques dont les données sont utilisées dans cette thèse, et selon les actions de la méthode des polygones de Thiessen cité précédemment, nous sommes arrivé à déterminer les surfaces d'influences de chacune des huit stations. Le découpage en polygones du bassin de la Tafna est représenté dans la figure V.2, les autres données sont résumées dans les tableaux V.1. Nous rappelons que la surface contrôlée par la station Pierre du Chat est de 6900Km<sup>2</sup>.



**Figures V.2.** Polygones de Thiessen, Bassin versant de la Tafna

Tableau V.1. Polygone de Thiessen

Code de la Stations	Stations	Surface d'influence (Km <sup>2</sup> )	%
160401	Sebdou	380,50	5,5
160406	Beni bahdel	1289,14	18,7
160705	Meffrouche	432,48	6,3
160502	Sabra	490,70	7,1
160601	Chouly	861,85	12,5
160702	Bensekrane	703,83	10,2
160302	<b>Maghnia</b>	2276,78	33,0
160802	Pierre du chat	464,71	6,7
$\Sigma$		6900	100,0

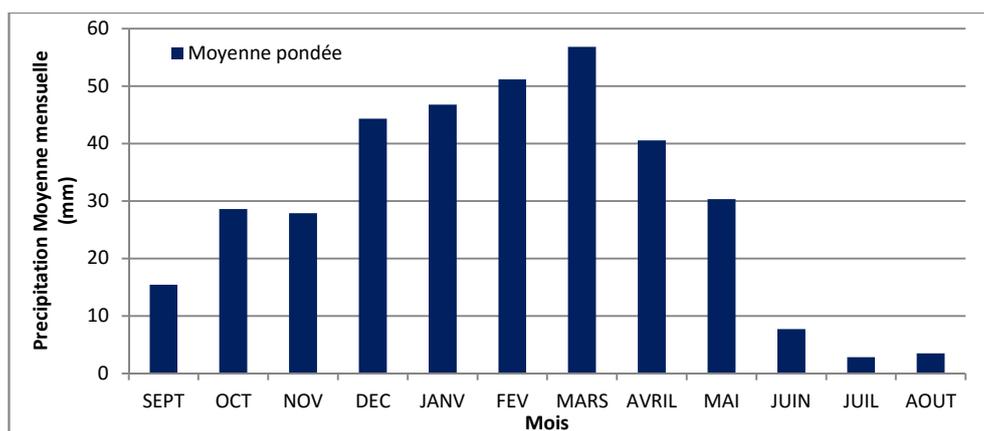
Après avoir estimé la surface d'influence de chacune des huit stations et le calculé des précipitations moyennes mensuelles pour chaque station, nous sommes arrivé à calculer mois par mois les moyennes pondérées des précipitations mensuelles, selon la méthode des polygones de Thiessen. Les données des précipitations relatives à chaque station ainsi que les précipitations moyennes mensuelles du bassin versant de la Tafna sont résumées dans le tableau V.2.

La figure V.3 résume l'évolution de ces moyennes pondérées mois par mois.

Tableau V.2. Précipitations (mm) moyennes mensuelles -Tafna

STATIONS	SEPT	OCT	NOV	DEC	JANV	FEV	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL	AOUT
Beni Behdel	16,23	17,93	44,67	56,41	61,23	57,97	66,35	39,16	27,86	10,86	3,03	2,07
Maghnia	12,67	21,4	7,94	28,99	26,6	37,45	37,87	35,26	27,05	5,6	2,45	4,08
Sebdou	28,27	36,88	47,39	51,22	55,22	46,84	51,14	54,18	33,7	6,26	3	5,65
Sabra	13,34	25,01	12,23	11,83	44,81	55,83	66,16	20,96	20,43	3,99	2,27	2,18
Bensekrane	17,41	46,9	34,81	63,22	65,5	62,35	64,02	50,73	39,35	9,92	1,53	2,6
Meffrouche	16,34	52,72	61	85,49	70,78	82	100,97	71,45	44,98	13,71	4,45	4,25
Chouy	16,52	34,37	23,7	47	53,04	56,4	66,2	41,9	35,73	7,8	5,08	4,53
Pierre du chat	12,26	29,63	45,69	42,16	38,24	42,19	48,72	32,85	23,65	5,25	0,53	3,15
Pmoy arth (mm)	16,63	33,11	34,68	48,29	51,93	55,13	62,68	43,31	31,59	7,92	2,79	3,56
<b>Pmoy (P Tiesen) (mm)</b>	15,41	28,60	27,86	44,29	46,77	51,13	56,83	40,53	30,33	7,70	2,81	3,51
Majoration (%)	-7,34	-13,61	-19,66	-8,29	-9,94	-7,26	-9,34	-6,43	-4,00	-2,76	+0,50	-1,53

D'après les résultats du tableau V.2, nous signalons que dans la quasi-totalité des mois, les moyennes arithmétiques dépassent les moyennes pondérées des précipitations avec des majorations allant de 1.5 à 19.66%, exception faite pour le mois de juillet,



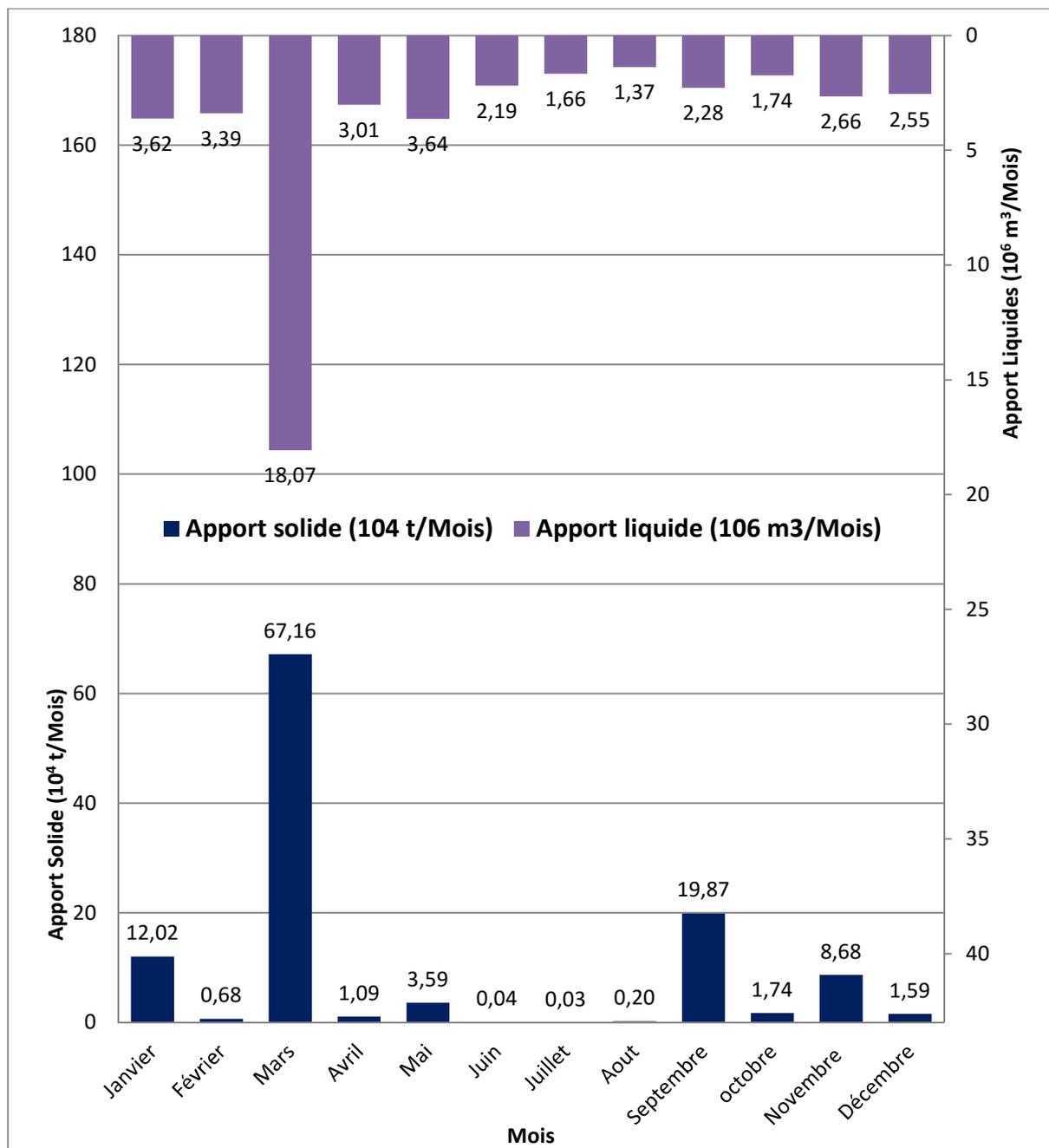
**Figure V.3.** Evolution des Précipitations moyennes mensuelles du bassin versant de laTafna  
 Nous remarquons que la pluviométrie moyenne mensuelle croit mois après mois jusqu'à atteindre une valeur maximale au mois de mars (56,83mm), puis décroît mois après mois jusqu'à une valeur minimale au mois de juillet(2.81mm).la période la plus pluvieuse s'étale de décembre à avril ou les moyenne des précipitations dépasse les 40mm/mois, pour les mois de septembre, octobre, novembre et mai les précipitations moyenne dépassent les 15mm/mois, mais arrive à peine à 30mm/mois. Les mois les plus secs sont juillet et aout pour lesquels la moyenne ne dépasse pas les 5mm.

### V.3. DONNEES SUR LE TRANSPORT SOLIDE :

En reprenant les résultats obtenus au chapitre IV, selon le mode d'estimation mensuel, nous avons le tableau suivant

**Tableau V.3.** Apport liquide et solide du bassin de la Tafna

Période	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	octobre	Novembre	Décembre
Débit liquide moyen journalier (m <sup>3</sup> /s)	1,87	1,94	9,34	1,61	1,88	1,17	0,86	0,71	1,22	0,90	1,42	1,32
Concentration Spécifique (g/l)	2,04	1,46	26,85	2,61	7,13	0,13	0,12	1,08	62,85	7,18	23,53	4,47
Débit solide en suspension (kg/s)	3,81	2,82	250,74	4,19	13,40	0,16	0,10	0,76	76,67	6,49	33,50	5,92
Apport liquide (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /Mois)	3,61	3,39	18,06	3,01	3,63	2,19	1,66	1,37	2,28	1,74	2,65	2,55
Apport solide (10 <sup>4</sup> t/Mois)	12,02	0,68	67,16	1,09	3,59	0,04	0,03	0,20	19,87	1,74	8,68	1,58
Dégradation Spécifique D <sub>s</sub> (t/Km <sup>2</sup> .Mois)	17,42	0,99	97,33	1,57	5,20	0,06	0,04	0,30	28,80	2,52	12,58	2,30



**Figure V.4.** Evolutions des apports liquides et apports solides Bassin Versant Tafna

En analysant les résultats représentés sur la figure V.4 ci-dessus qui correspond à la variation du débit solide et le débit liquide, nous constatons que les débits solides varient proportionnellement par apport aux débits liquides et que la valeur maximale du débit liquide et solide est atteinte en moi de mars ; dont les valeurs sont respectivement (18.07 10<sup>4</sup> t/Mois et 67.7 10<sup>4</sup> t/Mois),les valeurs minimales du débit solide sont obtenues en période d’été (de juin à aout), d’autre part nous avons constaté qu’en mois de février, la valeur du transport solide est très faible (0.68.10<sup>4</sup> t/Mois) malgré l’importance des précipitations durant ce mois , ce qui est due probablement au lessivage du cours d’eau suite à l’abondance des débits liquides des mois précédents.

### V.4. INTERRELATION PRECIPITATION-DEBIT SOLIDE

Nous avons effectué deux types de corrélations ; la corrélation directe et la corrélation indirecte.

#### V.4.1. Corrélation directe :

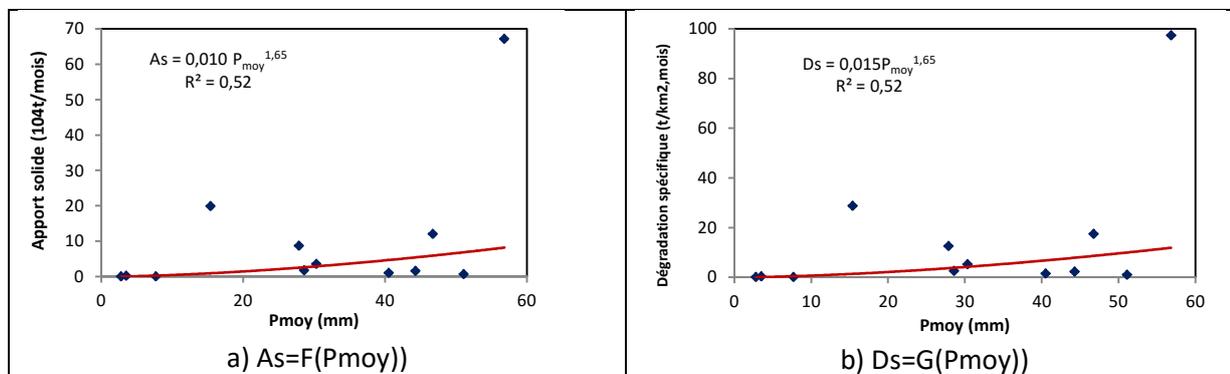
En portant les données du transport solide et de précipitations sur Excel, et en analysant le nuage de points correspondant, nous avons essayé de trouver la meilleure relation les reliant. Plusieurs courbes de tendances ont été testées (linéaire, logarithmique, polynomiale et puissance). Nous avons tenté de faire des corrélations liant directement les précipitations moyennes mensuelles aux apports solides ( $As=F(P_{moy})$ ) en premier lieu et des corrélations entre précipitation et dégradation spécifique ( $Ds=G(P_{moy})$ ) au second lieu.

Le tableau qui suit résume les différentes données à corrélées

**Tableau V.4** Les données mensuelles corrélées ( $P_{moy}$ ,  $Ds$  et  $As$ )

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	octobre	Novembre	Décembre
$P_{moy}$ (mm)	46,77	51,13	56,83	40,53	30,33	7,70	2,81	3,51	15,41	28,60	27,86	44,29
Apport solide "As" ( $10^4$ t/Mois)	12,02	0,68	67,16	1,09	3,59	0,04	0,03	0,20	19,87	1,74	8,68	1,59
Dégradations Spécifique "Ds" ( $t/km^2$ .mois)	17,42	0,99	97,33	1,57	5,20	0,06	0,04	0,30	28,80	2,52	12,58	2,30
log (P Tiessen)	1,67	1,71	1,75	1,61	1,48	0,89	0,45	0,55	1,19	1,46	1,44	1,65
log (Dégradations)	1,24	-0,01	1,99	0,20	0,72	-1,23	-1,41	-0,53	1,46	0,40	1,10	0,36

En premier lieu les nuages obtenus ( $As=F(P_{moy})$ ) et ( $Ds=G(P_{moy})$ ) ont été ajustés à une loi puissance, les courbes d'ajustements et les nuages de points sont résumés dans la figure V.5. Le tableau V.5 résume les relations obtenues et leurs coefficients de corrélations.



**Figure V.5.** Ajustement à une loi puissance

**Tableau V.5** : Relations et coefficient de corrélations

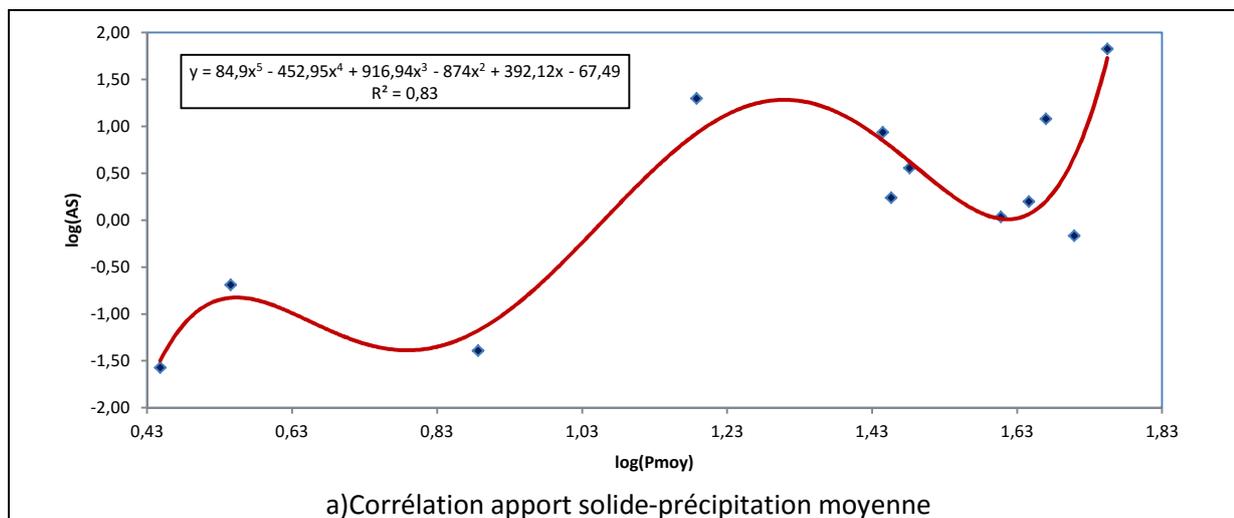
	Relation	Coefficient de corrélation
As=F(Pmoy)	$As = 0,010 \cdot Pmoy^{1,65}$	72%
Ds=G(Pmoy)	$Ds = 0,015 \cdot Pmoy^{1,65}$	72%

Les valeurs des Coefficients de corrélation obtenus sont assez élevées (72%) ce qui montre que les apports solides et la dégradation spécifique du bassin versant de la Tafna peuvent être exprimés en fonction des précipitations par une relation puissance.

Nous avons continué nos investigations sur les nuages afin de trouver des expressions plus significatives, ainsi en effectuant le changement de variable en prenant le logarithme des paramètres étudié avec :

$X = \log(Pmoy)$ ,  $Y = \log(As)$  et  $Z = \log(DS)$ ,

Après plusieurs tentatives d’essai de plusieurs relations il s’est avéré que la relation polynomiale d’ordre 5 les exprime mieux (Tableau V.6) et (figures V.6).



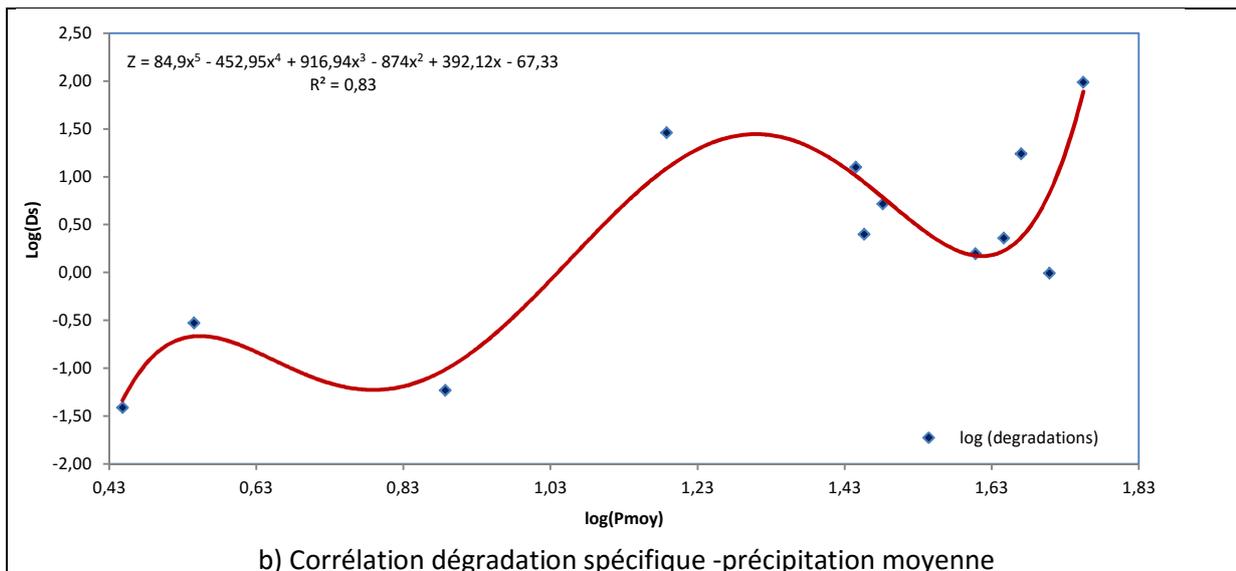


Figure V.6.Courbe exprimant la relation entre les données ajustées (Pmoy,Ds et As)

Tableau V.6 : Relations et coefficient de corrélations

	Relation	Coefficient de corrélation
Log(As)=F(log(Pmoy))	$y = 84,9x^5 - 452,95x^4 + 916,94x^3 - 874x^2 + 392,12x - 67,49$	91%
Ds=G(Pmoy)	$Z = 84,9x^5 - 452,95x^4 + 916,94x^3 - 874x^2 + 392,12x - 67,33$	91%

Les résultats obtenus, exprime mieux les paramètres corrélés du fait que le coefficient de corrélation est de 91%.

**V.4.2. Corrélation indirecte**

Puis que la réponse directe d’un bassin versant à un évènement pluvieux étant le ruissellement d’eau, c’est à dire, des débits liquides ; nous avons jugé intéressant d’entamer des corrélations indirectes ; en premier lieu apports liquides-précipitations moyennes (AL=F(Pmoy)) et en second lieu une relation classique apports solides – Apports liquides (As=G(AL)). Cette méthode indirecte sera intéressante pour les bassins versants disposant de postes pluviométriques et de stations de jaugeages de débit liquide des cours d’eau,mais ne disposant de données des sédiments.

Tableau V.7 Les données mensuelles corrélées (Pmoy, AL, As et Ds)

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	octobre	Novembre	Décembre
Pmoy (mm)	46,77	51,13	56,83	40,53	30,33	7,70	2,81	3,51	15,41	28,60	27,86	44,29
Débit liquide moyen journalier (m3/s)	1,87	1,94	9,34	1,61	1,88	1,17	0,86	0,71	1,22	0,90	1,42	1,32
Apport solide "As" (10 <sup>4</sup> t/Mois)	12,02	0,68	67,16	1,09	3,59	0,04	0,03	0,20	19,87	1,74	8,68	1,59
Dégradations Spécifique "Ds" (t/km <sup>2</sup> .mois)	17,42	0,99	97,33	1,57	5,20	0,06	0,04	0,30	28,80	2,52	12,58	2,30

- **Première corrélation ( $Q_L = F(P_{moy})$ ) :**

Dans cette première corrélation nous avons préféré utiliser les débits moyens mensuels au lieu des apports liquides, car ils sont simples à obtenir à partir des séries d'enregistrement des débits des stations de jaugeage.

En portant directement les données des débits liquides moyennes mensuelles ( $Q_L$ ) et de précipitations moyennes mensuelles sur un graphique, nous avons remarqué que les 12 points du nuage de points ne s'ajustent à aucune courbe de tendance. Mais en effectuant un changement de variable  $Y = \log(Q_L)$ , nous remarquons que le nuage de points peut être approché par une courbe de tendance  $Y = F(P_{moy})$  de type polynomiale. Le nuage de points et la courbe de tendance  $Y = F(P_{moy})$  sont représentés dans la figure V.7.

La relation retrouvée:

$$y = \log(Q_L) = 3 \cdot 10^{-5} \cdot P_{moy}^3 - 0,003 \cdot P_{moy}^2 + 0,063 \cdot P_{moy} - 0,29$$

Avec  $Q_L$  en (m<sup>3</sup>/s) et  $P_{moy}$  en (mm)

Coefficient de corrélation : **R = 93%**

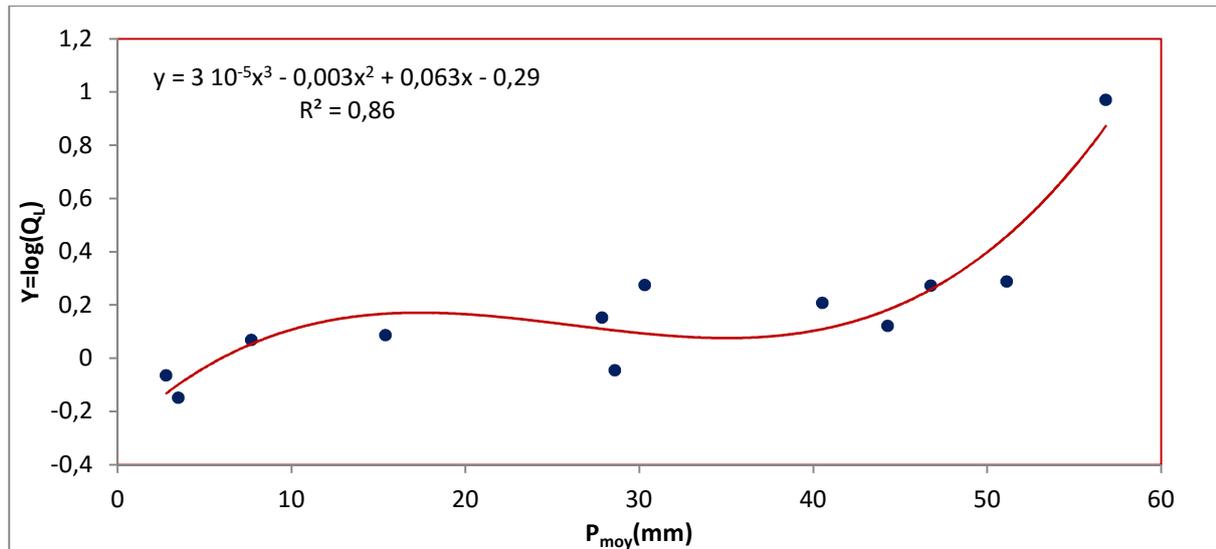


Figure V.7. Corrélation apport liquide-précipitation moyenne

- *Seconde corrélation ( $A_S = G(Q_L)$ ) :*

Les données des apports solides et des débits liquides sont reporté sur un graphique, et nous tentons de les liés par une courbe de tendance la plus appropriée. En premier, nous avons essayé la fameuse courbe en puissance, en second lieu nous avons tentés de trouver une relation qui pourrait être mieux explicite que cette dernière. Après plusieurs tentatives nous avons trouvé que la régression linéaire simple s'ajuste très bien. La figure V.8 résume les nuages des points et les relations de corrélations retrouvées.

Le tableau V.8 résume les relations retrouvées, leurs paramètres et leurs coefficients de corrélations

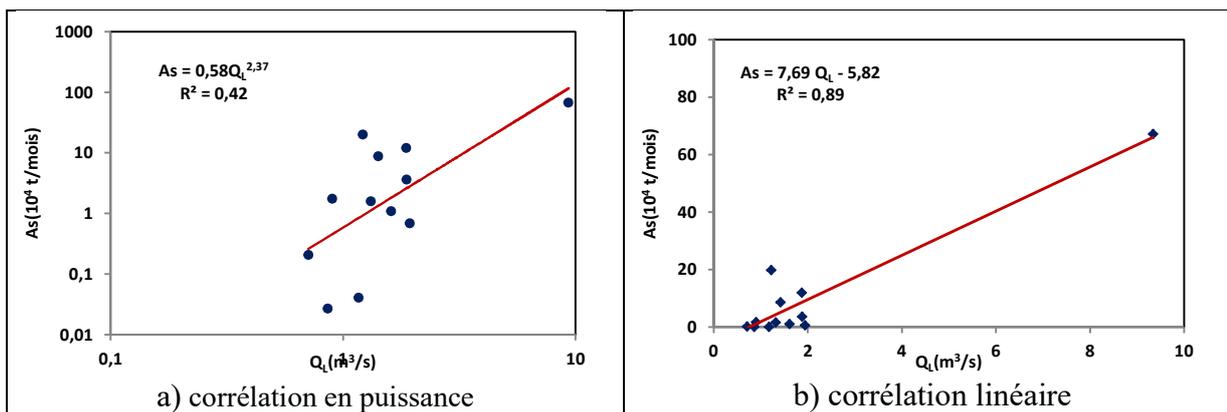


Figure V.8. Seconde corrélation (apport solide-débit liquide)

Remarque : L'apport solide est en  $(10^4 \text{ t/mois})$

Tableau V.8 : Seconde corrélations (apport solide-débit liquide)

	Relation	Coefficient de corrélation
Relation puissance	$As = 0,58 \cdot Q_L^{2,37}$	65%
Relation linéaire	$As = 7,69 Q_L - 5,82$	94%

Nous remarquons que le modèle linéaire est plus représentatif, du fait que son coefficient de corrélation est de 94%, nettement supérieur à celui du modèle en puissance.

Nous avons même tenté de lier la dégradation spécifique au débit liquide, et le résultat retrouvé confirme que le modèle linéaire est celui qui les représente le mieux.

La relation retrouvée:  $Ds = 11,15 Q_L - 8,44$

Avec  $Ds$  en  $(t/km^2/mois)$  et  $Q_L$  en  $(m^3/s)$

Coefficient de corrélation :  $R = 94\%$

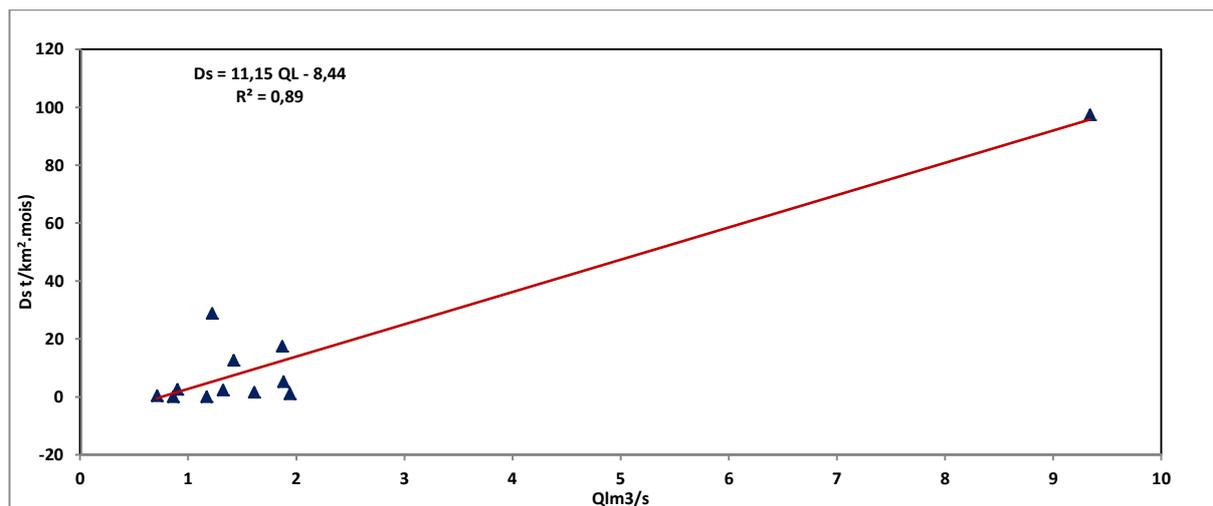


Figure V.9. Seconde corrélation (dégradation spécifique-débit liquide)

### V.5. DISCUSSION DES RESULTATS :

A terme de cette étude, des modèles liant le transport solide aux précipitations ont été déterminées, tous les modèles retrouvés sont significatifs du faite que tous les coefficients de corrélations sont assez importants (>65%). Un modèle directe et un modèle indirecte ont été définis. Dans le premier, les relations en puissance et la relation polynomiale ont donnés les meilleurs corrélations, mais le modèle polynomiale d'ordre 5 cerne mieux ces interrelations avec un coefficient de corrélation de 91%, notant que ce dernier à nécessité un changement des variables cause et conséquence ( $X = \log(P_{moy})$ ,  $Y = \log(A_s)$  et  $Z = \log(DS)$ ).

Dans le modèle indirecte qui nécessite deux corrélations, en premier, une corrélation entre débit liquide et précipitations, car les débits liquides sont la conséquence directe des précipitations qui s'abattent sur le bassin versant et en second, une corrélation entre apport solide (dégradation spécifique) et débit liquide moyens mensuels. Pour la première corrélation ( $Q_L = F(P_{moy})$ ) le modèle polynomiale d'ordre 3 a donné la meilleure représentativité avec un coefficient de corrélations de 93%. Pour la seconde corrélation ( $A_s = G(Q_L)$  ou  $Ds = G(Q_L)$ ) la relation en puissance et le modèle linéaire sont les plus représentatifs du phénomène, mais le modèle linéaire donne le meilleur coefficient de corrélation (94%) d'où une bonne représentativité du phénomène.

Notons, la finalité de cette étude est l'estimation des apports solides ou des dégradations spécifiques, cette dernière présente plus d'intérêt car un modèle d'estimations de la dégradation spécifique en fonction des précipitations avec ou sans les débits liquides est la plus simple à extrapoler sur d'autres bassins de caractéristiques semblables ou proche.

**CONCLUSION**

## **Conclusion**

Ce présent travail est un complément aux divers travaux réalisés sur la variation pluviométriques et l'évolution du phénomène de transport solide en suspension de la région de l'Ouest du pays, plus particulièrement sur le bassin versant de la Tafna. Ce bassin est caractérisé par sa forme assez allongée ( $Kc= 1.16$ ) (Belarbi, 2010) il présente en général un relief modéré et assez fort. L'étude de la géologie de ce dernier nous a permis de découvrir des affleurements calcaires surtout des dolomies au jurassique supérieur dans les monts de Tlemcen; Il est sillonné par l'un des plus importants Oued de l'Ouest du pays : la Tafna, qui coule de l'Ouest à l'Est, depuis le Maroc jusqu'à la mer méditerranée (à côté de Beni Saf), ce dernier prend sa source dans les monts de Tlemcen.

L'importance de prendre en considération de la variation des précipitation et de la maîtrise du phénomène de transport solide dans les travaux hydrauliques futures et la gestion des infrastructure notamment en périodes de crues qui sont les principales sources des apports solides, qui a leurs tour peuvent se déposés et se consolider lentement et créer en conséquent la perturbation du bon fonctionnement des infrastructures hydraulique et la diminution des capacités des ouvrages mobilisation.

Notre présente thèse a visée trois objectifs principaux :

✓ L'étude de la variabilité des précipitations dans le bassin versant de la Tafna ; ou nous avons constaté qu'il y a une variabilité apparente des précipitations mensuelles et saisonnières pour toutes les stations étudiées, ce qui nous amène à détecter le changement de la variabilité de ces dernières.

L'étude de la variabilité des précipitations mensuelles nous a permis de constater des stations et des mois ayant des tendances positives qui signifient une augmentation de la pluviométrie dans le mois au sein d'une station, (le mois de novembre pour la station de Maghnia), et négatives qui confirment une diminution de la pluviométrie mensuelle dans la région (mois de février de la station de Sabra). D'autre part, certains mois de quelques stations n'ont pas de tendance perceptible vu la valeur du coefficient de corrélation qui est très faible (le mois de juin pour la station de Bensekrane  $R^2 = 0,0003$  et le mois d'aout de la station de Chouly  $R^2=0,0007$ ).

La distribution saisonnière de la précipitation dans le bassin versant de la Tafna est variable selon les stations analysées, mais pas homogène; Il est signalé que l'essentielle des précipitations sont enregistrées en hiver et en automne pour la plupart des stations. Nous avons remarqué qu'il y a deux saisons qui se partagent le maximum ; l'hiver ou le total de pluie varie entre 253.75mm à 101.92mm et l'automne avec des valeurs comprises entre 144,93mm et 49,07mm ; nous pouvons dire aussi que le printemps est une saison qui est relativement pluvieuse (83,38mm) qui représente 21%. En outre, l'été est la saison la plus sèche avec une pluviométrie moyenne de 22,98mm

L'étude de la stationnarité été effectuée sur les totaux annuels, en utilisant les tests de Man Kendall et le test de Pettitt.

L'application du test de Man Kendall sur les totaux annuels montre la présence d'une tendance significative à la baisse au niveau du seuil de 5% pour la plupart des stations étudiées.

L'application du test de Pettitt, montre une rupture de la stationnarité sur les totaux annuels observée pour la totalité des stations (chaque station présente sa propre année de rupture).

Une réduction de la moyenne avant et après la rupture a été constatée avec des valeurs comprises entre (10% et 38%) pour l'ensemble des stations.

L'ajustement de la pluviométrie mensuelle a des lois de probabilité, montre que les données de nos stations s'ajustent mieux à la loi racine normale,

✓ Une étude d'estimations des apports solides a été menée sur le bassin versant de Tafna contrôlé par la station Pierre du Chat ; plusieurs modes d'estimation ont été entrepris, une estimation à l'échelle annuelle, une estimation à l'échelle saisonnière (saisons conventionnelles, saison sèche et saison humide) et à l'échelle mensuelle.

Dans le premier mode d'estimations (annuelle et saisonnière), les données de la station de Pierre du Chat située à l'exutoire du bassin versant de la Tafna durant la période 1990-2006 ont été utilisées. L'estimation été basée sur des débits moyens journaliers aussi bien que les liquides moyens que pour les couples débits liquide - débits solides (pour le modèle  $Q_s = F(Q)$ ) enregistrés durant la période en question. Les résultats obtenus ont montré que les apports solides en hiver sont les plus abondants et réguliers. Ils attestent bien que le bassin versant de la Tafna est d'une érodabilité très importante, puisque la valeur maximale des apports solide trouvée est de  $6,21 \cdot 10^6$  t/an. En considérant les résultats de Bouchelkia et Benhadj (1994) sur la même région, on remarque que la dégradation de ce bassin s'est accentuer cette dernière vingtaine années, bien que les apports liquide ont diminué (sécheresse et construction de deux barrages « Hammam Boughrara et Sekkak »; cette accentuation est

surement dû aux modifications importantes subit par ce bassin en cette période, en particulier les feux de forêts.

Dans le second mode d'estimations à échelle mensuelle, les données de la même station sur la période 1995-2011 ont été utilisées. L'estimation été basée comme la première sur des débits moyens journaliers. Les résultats obtenus ont montré que les apports solides en hiver sont les plus abondants et réguliers. Ils attestent bien que le bassin versant de la Tafna est d'une érodabilité très importante, puisque la valeur des apports solide trouvée est de  $1,17 \cdot 10^6$  t/an. En considérant les résultats de Bouchelkia et Benhadj (1994) sur le même bassin versant on remarque que la dégradation de ce bassin s'est accentuée; cette accentuation est surement due aux modifications importantes subites par ce bassin en cette période.

D'une application à une autre, les résultats différents les uns des autres, toute fois l'importance et la nature de l'ouvrage sera prédéterminante dans le choix de l'application appropriée. Une confrontation de ces derniers avec les mesures sur terrain et expérimentales, nous permettra de faire le meilleur choix.

✓ A terme de cette étude, des modèles liant le transport solide aux précipitations ont été déterminées, tous les modèles retrouvés sont significatifs du fait que tous les coefficients de corrélations sont assez importants (>65%). Un modèle directe et un modèle indirecte ont été définis. Dans le premier, les relations en puissance et la relation polynomiale ont donnés les meilleures corrélations, mais c'est le modèle polynomiale d'ordre 5 qui cerne mieux ces interrelations avec un coefficient de corrélation de 91%, notant que ce dernier a nécessité un changement des variables cause et conséquence ( $X=\log(P_{moy})$ ,  $Y=\log(As)$  et  $Z=\log(DS)$ ).

Les résultats de cette étude peuvent être utilisés comme un moyen simple et directement applicable pour l'estimation des apports solide sur tous les bassins versants algériens. Tout fois une confrontation de ces résultats avec les mesures expérimentaux sur terrain, nous permettra de vérifier la fiabilité de nos résultats.

L'estimation de la dégradation spécifique en fonction des précipitations avec ou sans les débits liquides est la plus simple à extrapoler sur d'autres bassins de caractéristiques semblables ou proches.

Ce travail ne peut être qualifié de parfait; il peut être complété par d'autre travaux plus poussées en particulier :

Pour l'étude des précipitations, nous espérons le compléter avec d'autres études, en se basant sur des données sur un nombre plus important de stations et sur des périodes d'observations plus importantes, pour une meilleure représentativité de la région.

Pour l'estimation des apports solides nous souhaitons vérifier nos résultats avec des données réelles du transport solide, améliorer les modes d'estimation par l'intégration d'autres paramètres contribuant au phénomène et explorer d'autres techniques d'estimations.

A la fin de cette thèse, nous avons essayé de lier le transport solide aux précipitations, bien que nous sommes parvenus à les modéliser par différents modèles satisfaisants, elle demeure simpliste, du moment que tout le travail s'articulait sur 12 données mensuelles, il convient de le compléter dans le futur par une étude faisant intervenir plus de données, à titre d'exemple utiliser les données annuelles estimées et observées année après année sur une période assez longue.

**RÉFÉRENCES**

**BIBLIOGRAPHIQUES**

## Références bibliographiques

- **AAC et MAPAQ, 2008**, Diagnostic et solution des problèmes d'érosion des berges des cours d'eau, fiche technique, édition agriculture et agroalimentaire, Canada, services régionaux, région du Québec.
- **ACHIT M., 2000**, Contribution à l'analyse multi variée de la variable "transport solide": cas du bassin versant de l'oued Mina (wilaya de Ghelizane), thèse de Magister, ENSH, Blida,
- **ACHITE M. et MEDDI M., 2004**, Estimation du transport solide dans le bassin versant de l'oued Hadad (Nord-ouest Algérien, Sècheresse; 15(4), pp367-373,
- **ACHITE M., OUILLOON S., 2007**. Suspended sediment transport in a semiarid watershed, Wadi Abd, Algeria (1973–1995). Journal of Hydrology. Vol. 343 p. 187–202.
- **ADJIM H., 2003**, Evaluation et affectation des ressources hydriques superficielles du bassin versant de la Tafna, mémoire de magister, Université de Tlemcen.
- **ADMANE O., HOENG Ky. et OUAKLI N, 1992**, Statistique (cours et exercices) Editions Office des publications universitaires
- **AGENCE DE BASSIN HYDROGRAPHIQUE, ORANI-CHOTT CHERGUI, 2006**, document de synthèse. [www.abhoranie.dz](http://www.abhoranie.dz) consulté le (12/07//2017)
- **ARABI M., 1991**. Influence de 4 systèmes de production sur le ruissellement et l'érosion en milieu montagnard méditerranéen (Médéa, Algérie). Grenoble. Thèse doctoral en géographie, Université Grenoble. pp 276.
- **ASSABA. M., LABORDE J. P., RAZAK S., 2013**, Les effets d'une baisse de l'oluvimétrie sur les volumes régularisables des barrages d'Algérie. Revue scientifique et technique. LJEE N°21 et 22. Spécial colloque CIREDD'2013.
- **BALLA F., KABOUCHE N., KHANCHOUL K., BOUGUERRA H., 2017**. Hydro-sedimentary flow modelling in some catchments Constantine highlands, case of Wadis Soultez and Reboa (Algeria). Journal of Water and Land Development. No. 34 p. 21–32.
- **BALAYN P A., 2001**, Contribution a la modélisation numérique de l'évolution morphologique des cours d'eau lors des crues, Thèse de doctorat en mécanique, Université Claude Bernard-Lyon1, France, 222p.
- **BARABE G., 1999**, Identification d'un réseau hydrométrique pour le suivi des modifications climatiques dans la province de Québec, Revue des Sciences de l'eau, 12/2, 425-448.

- **BELARBI F., 2010.** Etude de la pluviométrie journalière dans le bassin versant de la TAFNA. Mémoire de magister en hydraulique, Département d'hydraulique, Université de Tlemcen, Algérie pp. 113.
- **BENABDELI KH., 1996.**Aspects physionomico-structuraux de la végétation ligneuse forestière dans les monts de Dhya et de Tlemcen. (Algérie occidentale). Thèse de doctorat es-sciences Biologie option Ecologie appliquée. Université Djilali liabes de Sidi Bel Abbes.
- **BENAICHA A. C., 2011,** Etude des processus du transport solide et leurs impacts sur l'alluvionnement des barrages, mémoire de magister, Université El Hadj Lakhdar, Batna.
- **BENAVENT C., 2001,** Tests statistique, Professeur a l'IAE de l'Ile
- **BENEST M., 1985,** Evolution de la plateforme de l'ouest Algérien et du Nord-est Marocain au cours du jurassique supérieur et au début du crétacé, Stratigraphie, milieu du dépôt et dynamique sédimentaire, thèse de Doctorat, Université de Lyon
- **BENCHAEKH A, 1996,** Définition d'une méthodologie de quantification automatique des T.S. à partir des débits liquides. Application au BassinVersant de la TAFNA. Agence Nationale des Ressources Hydrauliques, Alger.
- **BENKHALED A et REMINI B, 2003,** Analyse de la relation de puissance: Débit solide débit liquide à l'échelle du bassin versant de l'oued Ouahrane (Algerie), Revue des sciences de l'eau 16/3, pp 333-356
- **BENMOUSSAT A., 2012,** Impact de l'activité agricole sur la qualité des eaux souterraines à travers le bassin versant de la Tafna, Mémoire de Magister Université AbouBekr Belkaid, Tlemcen.
- **BENNIS S., 2014,** Hydraulique et hydrologie, Édition Presses de l'Université du Québec;
- **BERBARA M. et DERRAR A, 1993,** Estimation des apports solides a l'exutoire de bassin versant de Tafna, mémoire d'ingéniera en mathématiques appliquées, Université de Blida.
- **BIGILLON F., 2001,** Etude du mouvement bidimensionnel d'une particule dans un courant d'eau sur forte pente, Thèse de doctorat en Géophysique , Géochimie et Geomécanique, Université Grenoble1- Joseph Fournier, France.
- **BOUANANI A., 2004.** Hydrologie, transport solide et modélisation, Etude de quelques sous bassins de la Tafna (NW – Algérie). Thèse de doctorat en Géologie appliquée: Option: Hydrogéologie, Département d'hydraulique, Université de Tlemcen, pp. 250.

- **BOUCHELKIA H., BELARBI F., REMINI B., 2011**, Quantification du transport solide en suspension par analyse statistique: cas du bassin-versant de l'oued Mouillah. Le journal de l'eau et de l'environnement. No. 19 p. 29–41.
- **BOUCHELKIA H., 2001**, Modélisation du transport solide dans le bassin versant de de Chellif, 1er séminaire national de l'eau, Tlemcen (SNE 2000)
- **BOUCHELKIA H., 2003**, Quantification du transport solide dans le bassin versant Algérien du Chellif, ingénieries N°33-p.45 à 56.
- **BOUCHELKIA H., BELARBI F., REMINI B., 2013**, Estimated flows of suspended solids by the statistical analysis of outfall drainage basin of Tafna (Algeria). Soil & Water Res., 8: 63–70.
- **BOUCHELKIA H., BELARBI F., REMINI B., 2014**, Quantification of suspended sediment load by double correlation in the watershed of Chellif (Algeria). Journal of Water and Land Development. N° 21 p. 39–46
- **BOUGUERRA S., 2014**, Quantification et modélisation du transport solide dans un cours d'eau de l'Algérie septentrionale : cas du bassin versant de l'oued BOUMESSAOUD (Tlemcen). Mémoire de Magister en hydraulique, université de Tlemcen,
- **BOUKERTA K., BELKHERI A., 1995**, mise au point d'une méthode de quantification automatique des apports solides, a partir des débits liquides .mémoire d'ingénieur en génie hydraulique, école polytechnique d'Alger.
- **BOUREGBA N., 2006**, Modélisation du climat et changement climatique (cas de l'Algérie) mémoire de Magister, centre universitaire de Mascara.
- **BOUZERIA H., GHENIM A., N., KHANCHOUL K., 2017**. Using artificial neural network (ANN) for prediction of sediment loads, application to the Mellah catchment, northeast Algeria. Journal of Water and Land Development. No. 33 p. 47–55. DOI: 10.1515/jwld-2017-0018.
- **BOWKER A., H., 1965**, Méthodes statistiques de l'ingénieur. Editions DUNOD, Paris, France.
- **BOUVARD M., 1984**, Barrages mobiles et ouvrages de dérivation. Edition EYROLES, Paris, France.
- **CHENAOUI B., 2004**, Quantification du transport solide en suspension dans le bassin versant d'Oued El Ardjem, Faculté des sciences et science de l'ingénieur. Université de CHLEF. Algérie.
- **CHOW V. T., 1988**, Applied hydrology. Edition Mc Graw-Hill, Singapoeere.

- **CUMPS F., 2008**, Hydrométrie, mesure de débits liquide, mesure de débits solides, [www.vliz.be/imisdocs/publications/88/254188.pdf](http://www.vliz.be/imisdocs/publications/88/254188.pdf) (consulté le 12/02/2018)
- **DAMMAK A., 1982**, Etude sur l'érosion et le transport solide, Thèse de docteur-ingénieur, Université de Paris, France.
- **DEMARÉE G., R., 1990**, Evidence of abrupt climate change from the rainfall data of Mauritanian station .IRM. Series AN°124,pp68-74
- **DUBREUIL P., 1974**, Introduction a l'analyse hydrologique, Edition Masson et Cie ,Paris.
- **DUMAS D., 2008**, Bilan d'érosion d'un cours d'eau alpin : l'Isère à Grenoble (France). Annales de Géomorphologie / Annals of Geomorphology / Zeitschrift für Geomorphologie, Schweizerbart und Borntraeger, 2008, 52 (1), pp.85-103. <halshs-00281933>
- **DROESBEKE J., 1988**, Eléments de statistique. Office des publications universitaires, Alger.
- **ELAHCENE O., REMINI B., 2009**. Corrélation entre la concentration en matière en suspension et le débit liquide dans le bassin versant de l'oued Bellah (Algérie) [Correlation between suspended sediment concentration and water discharge in the Wadi Bellah Watershed (Algeria)]. EuropeanJournal of Scientific Research. Vol. 26 p. 139–46.
- **ELOUISSI A., 2016**, changement climatique, impact et vulnérabilité .Cas du bassin versant de la Macta. Thèse de doctorat en hydraulique. Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen.
- **EMAOUNE. KH, 1996**, Evolution géomorphologique du bassin versant de l'oued Tafna, Tome 1, Thèse de Doctorat d'état Université de Savoie.
- **FOURNIER F., 1967**, Mesure de l'érosion, principe de base et incidence de l'instrumentation nouvelle sur l'établissement des réseaux de mesure, publication n°67 de l'A.I.S, symposium planification des réseaux de mesure hydrologique, pp343-355
- **GHENIM A, 2001**. Contribution à l'étude des écoulements liquides et des dégradations du bassin versant de la Tafna: cas d'oued Isser, oued Mouillah et de la Haute Tafna, mémoire de Magister, Université de Tlemcen.
- **GHENIM A., SEDDINI A., TERFOUS A. 2008**, Production et exportation des sédiments en suspension lors des événements de crue cas du bassin versant d'Oued Mouillah.Larhyss Journal.No.06 p. 35–44.
- **GHENIM A., N., MEGNOUNIF A., 2013**, Analyse des précipitations dans le Nord-Ouest algerien. Sècheresse 24 : 107-14. doi : 10.1684/sec.2013.0380

- **GLIZ M., REMINI B., ANTEUR D., MAKHLOUF M. 2015.** Vulnerability of soils in the watershed of Wadi El Hammam to water erosion (Algeria). *Journal of Water and Land Development*. No. 24 p. 3–10
- **GRAF W., 2000,** *Hydraulique Fluviale*. Presse Polytechnique, Romande.
- **GUYOT G., 1997,** *Climatologie de l'environnement*, Masson, 507 p
- **HARRANG C, 1970,** *La mesure des précipitations monographiques N°78 de la météorologie nationale.*
- **HENENSAL P., 1986,** *l'érosion extrême des sols par l'eau : approche et mécanismes.* Rapport de recherche L.P.C.N°138, Paris, Mars 1986.
- **HOUBIB H., 2013,** *Analyse Multicritère des composantes du milieu à l'aide des techniques de la géomatique pour un aménagement intégré de la vallée d'oued Mellagou-Bouhmama, Wilaya de Khenchela, mémoire de magister , Université El Hadj Lakhdar, Batna.*
- **JACOB J, 1974,** *Transport solide du chelif, Sidi belattar, note hydrologique, Note technique N°27/SHYL, journal de ORSTOM collection de référence N°7684Hydr*
- **KELLER E. A., VALENTINE D. W., GIBSES D. R., 1997,** *Hydrological response of small watersheds following the southern California painted cave fire of June 1990.* *Hydrological process* vol11, pp 400-414
- **KENDALL M., G., 1975,** *Rank correlation methods, 4th Edition Charls Grffin, London, pp202.*
- **KHANCHOUL K., BOUKHRISSA Z. E., MAJOUR H., 2012.** *Statistical modelling of suspended sediment transport in the Cherf drainage basin, Algeria. Comunicações Geológicas. Vol. 99. No. 1 p. 27–32.*
- **KHENTOUCHE A., 2005,** *Contribution à l'étude quantitative de l'érosion dans le bassin versant de l'oued Nafla (W de Batna), mémoire de magister, département des sciences de la terre, Université El Hadj Lakhdar Batna, Algérie.*
- **LABORDE J., P., MOUHOUS N., 1998,** *Notice d'utilisation du logiciel Hydrolab (Version 98.2 pour EXCEL4, EXCEL5 et EXCEL97*
- **LAHLOU A., 1990,** *Envasement du barrage Mohamed Ben Abdelkrim Al Khattabi et lutte anti-erosive du bassin versant montagneux situe à l'amont.*
- **LAGACE R., 2011,** *Notions d'hydraulique en milieu rural (Cours GAE-3005) Université Laval. [www.grr.ulaval.ca/gae\\_3005/Documents/Notes\\_A2013/CH\\_11\\_USLE.pdf](http://www.grr.ulaval.ca/gae_3005/Documents/Notes_A2013/CH_11_USLE.pdf) (Consulté le 22/01/2017)*

- **LARFI B., REMINI B., 2002**, Quantification du transport solide dans le bassin versant de l'oued Isser, application à l'envasement du barrage de Beni Amrane, Proceeding du 2eme colloque Méditerranéen sur l'eau et l'environnement, Alger
- **LE MAITRE F., 2002**, Recensement des tests de détection de tendance ou de rupture adapté a l'analyse se stationnarité des régimes de crues en France, Rapport de fin d'études, TPE, CEMAGREF.
- **LUBES H. et AI, 1994**, Caractérisation de fluctuation dans une série chronologique par application des tests statistiques, étude bibliographique, rapport n°3 programme ICCARE, ORSTOM Montpellier, 21 p.
- **LUBES H, MASSON J., M., RAOU P., TAPIAU M., 1994**, Logiciel de calcul statistique et d'analyse fréquentielle adapté a l'évolution du risque en hydrologie, Notice Safarhy.
- **L'HOTE Y., 1993**, Mesure et étude des précipitations en hydrologie .Ingénieur de recherche université de Montpellier II USTL ORSTOM, Laboratoire d'Hydrologie DEUST - génie hydro sanitaire et aquacole.
- **ŁUKASZ B., SZCZEPAN K., LUDWIK D., 2013**, Spatial distribution of sediments in Suchedniów reservoir, Journal of Water and Land Development. No. 19 p. 13–22
- **MAHZOUME H., 2009**, Etude du fonctionnement hydrologique du bassin du Lunain, Master 2 Sciences de l'Univers, Environnement, Ecologie, Laboratoire Sisyphe, Université Pierre et Marie Curie (Paris VI)
- **MALAVOI J. R., 2005**, Le transport solide par charriage, état des connaissances, ENGREF, France.
- **MOREL M., 1999**, Acquisition et construction d'une information hydrologique de base, Ecole Polytechnique de Lausanne, Edition H\*G\*A\*, Bucares.
- **MEDDI M., TALLA., A., BEKOUSSA B., 2003**, Evolution du régime hydro-pluviométrique du Bassin Versant de la Tafna. Nord-Ouest de l'Algérie
- **MEDDI M., MEDDI H., 2005**, Sècheresse et spatialisation des précipitations dans le nord-ouest de l'Algérie. « Eaux et espace : ressources, enjeu et aménagement » IVe Colloque du Département de Géographie Tunis, 10-12 mars 2005.
- **MEDDI M., MEDDI H., 2009**, Variabilité des précipitations annuelles du Nord-Ouest de l'Algérie. Sécheresse ; volume 20, n°1 : 57-65
- **MEGNOUNIF A., 2007**, Etude du transport des sédiments en suspension dans les écoulements de surface, Thèse de Doctorat, Université de Tlemcen, 168p.

- **MERLE J., P., 1989**, Transport des sédiments (ouvrage en rivière, résultats expérimentaux). La houille blanche n°3/4, pp 273-280.
- **MINISTERE ALGERIEN DE L'AGRICULTURE, 2011**, Type et Superficie de l'Agriculture de la Wilaya de Tlemcen et Ain Temouchent; Ministère Algérien de l'agriculture: Alger, Algérie, (In French)
- **MUSY A., HIGY C., 2004**, Hydrologie, une science de la nature, collection gérer l'environnement, édition Presse polytechnique et universitaire Romandes, Suisse
- **MUSY A., 2005**, Hydrologie Générale, <http://echo2.epfl.ch/e-drologie> (Consulté le 02/01/2016)
- **National Agency of Hydrologic Resources (ANRH), 2003**, Map of Annual Rainfall in the North of Algeria; ANRH Alger, Algeria,.
- **PETTITT A. N., 1979**, Non-parametric Approche to the change-point Problem, Applied Statistics, 28N°2, pp126-135.
- **PROBST J L et AMIOTTE SUCHET P, 1992**, Fluvial suspended sédimente transport and mécanique érosion in the Maghreb (North Africa), Hydrological sciences –journal- des sciences hydrollogiques, 37,6,12/1992 ; PP 621-637
- **PNUE, 1998**, Directive pour la cartographie et la mesure des processus d'érosion hydrique dans les zones côtières méditerranéennes, programme d'action prioritaire, centre d'activité régionale, Split, Croatie.
- **ONM, 2017**, Bilan climatique de l'année 2017.
- **OUARDA T. B. M. J, RASSMUSSEN P. F., GATINJ F., BOBEE B., LAURENCE R., HOA V., D., BARABE G., 1999**, Identification d'un réseau hydrométrique pour le suivi des modifications climatiques dans la province de Québec, Revue des Sciences de l'eau, 12/2, 425-448.
- **OLIVERY J. C., BRICQUET J. P., THIEBAUX J .P, 1989**, Bilan annuel et variation saisoniere des flux particuliers du Congo a Brazzaville et de l'Oubangui a Bangui.LA HOULLE BLANCHE N°3/4,pp311-315.
- **RADOANE M., RADOANE N., 2005**, Dams sediment resources and reservoir silting in Romania, Department of Geography, University "Stefan cel Mare", Suceava, 5800, Romania Received 1 5 December 2002; received in revised form 8 April 2004; accepted 9 April 2004 Available online 22 April 2005 Abstract Romania ranks among countries with the greatest ...
- **RAKOTOMALALA R., 2011**, Tests de normalité, Techniques empiriques et tests statistiques

- **REMAOUNE M., 2007** , Crues et sècheresses en Algérie cas du moyen Chellif. Thèse de doctorat d'état en géologie appliquée, option hydrologie, Université Houari Boumediene.
- **REMINERAS G., 1979**, Hydrologie de l'ingénieur. Edition Eyrolles, Paris, France.
- **REMINI B., HALLOUCHE W., 2004**, Le dragage des barrages. Quelques exemples Algériens. Revue Internationale la Houille Blanche n°3, octobre.
- **REMINI B., HALLOUCHE W., ACHOUR B., 2009**. L'Algérie: plus d'un siècle d'envasement des barrages (Chapitre 08).Ouvrage intitulé : Etat des ressources en eau au Maghreb en 2009. Rabat. UNESCO p. 123–142.
- **REMINI B., LEDUC C., HALLOUCHE W., 2009**. Évolution des grands barrages en régions arides : quelques exemples algériens. Sécheresse, 20, 96-103.
- **REMINI B., BENFETTA H., 2015**, Le barrage réservoir de gargar est- il menace par l'envasement ? LARHYSS Journal, ISSN 1112-3680, N°24, Décembre 2015, pp. 175-192
- **REMINI B., BENSALIA D., NASROUN T., 2015**, Impact of sediment transport of the Chellif River on silting of the Bougezoul reservoir (Algeria). Journal of Water and Land Development. N° 24 p. 35–40.
- **RIVERAIN J. C., 1997**, Les épisodes orageux à précipitations extrêmes sur les régions méditerranéennes de la France, Phénomènes remarquables 4, Météo France,
- **ROCHE M., 1963**, Hydrologie de surface, Office de la recherche scientifique et technique Outre- Mer .GAUTHIER - VILLARS ÉDITEUR - PARIS,
- **ROOSE E., 1980**, Erosion et ruissellement en Afrique de l'ouest, vingt années de mesures en petites parcelles expérimentales. Travaux et doc. de l'ORSTOM n° 78.
- **ROUX C., 2010**, Analyse des précipitations en hydrologie urbaine.Exemple de la Seine-Saint-Denis To cite this version: HAL Id: tel-00529474 <https://pastel.archives-ouvertes.fr/tel-00529474> Submitted on 25 Oct 2010
- **SELMI K., KHANCHOUL K., 2016**, Sediment load estimation in the Mellegue catchment, Algeria. Journal of Water and Land Development. No. 31 p. 129–137.
- **SNEYER R., 1975**, Note technique n°143 sur l'analyse statistique des séries d'observation OMM n° 415, GENEVE, SUISSE.
- **SUMMER G., 1988**, Precipitation process and analysis, John Wiley & sons, 455 p
- **TACHI S. E., OUERDACHI L., REMAOUN M., DERDOUS O., BOUTAGHANE H. 2016**, Forecasting suspended sediment load using regularized neural network: Case study of the Isser River (Algeria). Journal of Water and Land Development. No. 29 p. 75–81.

- **TALEB A., BELAIDI, N., GAGNEUR, J., 2004**, Water Quality before and after AAM building on a heavily polluted river in semi-arid Algeria. *River Res. Appl.* 2004, 20, 943–956
- **TALEB A., BELAIDI N.; SANCHEZ-PEREZ J. M., VERVIER P., SAUVAGE S., GAGNEUR J., 2008**, The role of the hyporheic zone of a semi-arid gravel bed stream located downstream of a heavily polluted reservoir (Tafna wadi, Algeria). *River Res. Appl.* 2008, 24, 183–196.
- **TERFOUS A., MEGNOUNIF A., BOUANANI A., 2001**, Etude du transport solide en suspension dans l'oued Mouillah (Nord-ouest Algérien) *Revue des sciences de l'eau* 14/2.
- **THILLET J., 1997**, la météo de montagne, les guides du club Alpin Français, Seuil, pp 189.
- **TOUAHIR S., 2007**, Etude comparative du transport solide en suspension entre les sous bassins des oueds Zeddine et Tikazole (Chellif), mémoire de magister, école nationale supérieure d'hydraulique, Blida
- **TOUAZ M., 2001**, Evaluation des ressources en eaux acquisition de bases de données a références spatiales et temporelles en Algérie du nord.
- **UNESCO, 1986**, problèmes d'érosion, transport solide et sédimentation dans les bassins versants. Projet 5.3 du programme hydrologique international, rapport préparé sous la présidence de SAUDBARG A. Directeur de la WITH W.R.
- **VALET H., 1966**, Barrage réservoirs tome 1, Hydrologie-Géologie, Editions Eyrolles,
- **VANNITSEN S., DEMAREE G., 1991**, Détection et modélisation des sécheresses au Sahel. *Hydrologie continentale*, Volume 6, N°2, pp155-171 Version 2.0, Université Lumière Lyon2.
- **WHITE W. R., 1986**, Problème d'érosion, transport solide et sédimentation dans un bassin versant, Rapport préparé sous la présidence A. Sandbourg , publié par l'organisation des nations unies à Paris.
- **WISCHMEIER W. H., 1960**. Cropping--management factor evaluations for a universal soil loss equation. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 24:322--326.
- **WISCHMEIER, W. H., 1962**. Rainfall erosion potential -- geographic and locational differences of distribution. *Ag. Eng. ASAE* 43(4):212--215, 225.
- **YLES F., BOUANANI A., 2012**, Quantification et modélisation du transport solide dans le bassin versant de l'oued Saida (hauts plateaux algériens), *Sècheresse* 2012 ; 289-96.

- **YLES F., 2014**, Hydrologie –Modélisation pluie-débit et transport solide dans les zones steppiques Algériennes : cas du bassin versant de l’oued Saida. Thèse de doctorat, université de Tlemcen.
- **YLES F., BOUANANI A., 20016**, Sediment en suspension et typologie des crues dans le bassin versant de l’oued Saida (haut plateaux) , Revue des sciences de l’eau, terre et environnement,29 (3) (2016) 213-229.
- **ZETTAM A., TALEB A, SAUVAGE S., BOITHIAS L., BELAIDI N., MIGUEL SÁNCHEZ-PÉREZ J., 2017**, Modelling Hydrology and Sediment Transport in a Semi-Arid and Anthropized Catchment Using the SWAT Model: The Case of the Tafna River (Northwest Algeria). Academic Editor: Sylvain Ouillon 2017, 9, 216; doi: 10.3390/w9030216.

## Résumé

Les précipitations sont un paramètre hydrologique clé et qui ont une influence sur le phénomène de transport solide. Au début de cette thèse nous avons traité l'évolution des précipitations dans le temps; consistant l'étude de la variabilité, la stationnarité en appliquant des test de stationnarité et l'ajustement a des lois de probabilité des séries de données pluviométriques (annuelles, mensuelles et saisonnières) de quelque stations au sein du bassin versant de la Tafna;

Afin de permettre une réponse rapide à la demande des ingénieurs pour la quantification du transport solide à l'exutoire d'un bassin versant, un outil simple, facile à mettre en œuvre a été mis au point. Ainsi une estimation du transport solide dans le bassin versant de Tafna contrôlé par la station Pierre de Chat a été effectuée à l'aide de divers modes d'estimation; une estimation à l'échelle annuelle, une estimation à l'échelle saisonnière (saisons conventionnelles et saison sèche et saison humide) et à l'échelle mensuelle ont été entrepris. Les résultats obtenus attestent que le bassin versant de la Tafna est d'une érodabilité très importante.

A terme de cette étude, nous avons essayé de lier le transport solide aux précipitations; des modèles liant le transport solide aux précipitations ont été déterminées afin de faire ressortir la relation liant les apports solides aux précipitations; un modèle directe et un modèle indirecte ont été définis.

### Mots clé :

Bassin versant, précipitations, débit, transports solide, test, modèle, stationnarité, Tafna, station.

---

## Abstract

Precipitation is a key hydrologic parameter influencing the sediment transport phenomenon. At the beginning of this thesis we treated the evolution of precipitation over time; consisting of the study of variability, stationarity by applying stationarity tests and the adjustment to probability distributions of pluviometric data series (annual, monthly and seasonal) of some stations within the Tafna catchment;

In order to allow a rapid response to engineers' demand for the quantification of sediment transport at the outlet of watershed; a simple and easy-to-implement tool has been developed. Thus, an estimate of sediment transport in the Tafna watershed controlled by the Pierre de Chat station was carried out using various estimation methods; an annual scale estimate, a seasonal scale estimate (conventional and dry season and wet season) and a monthly scale estimate have been undertaken. The obtained results show then that the watershed of Tafna is of a very important erodibility.

At the end of this study, we tried to link sediment transport with precipitation; models linking sediment transport to precipitation have been identified to highlight the relationship between sediment loads and precipitation; a direct model and an indirect model have been defined.

### Keywords:

Watershed, Precipitation, flow, sediment transport, test, model, stationarity, Tafna, station

---

## المخلص

الأمطار هي عامل هيدرولوجي رئيسي مؤثر على ظاهرة النقل الصلب في الاحواض الساكنة . في بداية هذه الأطروحة ، عالجنا تطور الأمطار بمرور الوقت ؛ تتألف من دراسة التباين والإحصاء من خلال تطبيق اختبارات الإقتران وتعديل التوزيعات الاحتمالية لسلسلة بيانات التساقطات (السنوية والشهرية والموسمية) لبعض المحطات داخل حوض التافنا ؛

من أجل استجابة السريعة لطلب المهندسين لتقدير كمية النقل الصلب في مخرج الاحواض الساكنة ، تم تطوير أداة بسيطة وسهلة التنفيذ. وبذلك ، تم إجراء تقدير لكمية النقل الصلب في الحوض الساكن للتافنا الذي تراقبه محطة "حجرة القط" باستخدام طرق تقدير مختلفة (تقدير سنوي ، وتقدير موسمي تقليدي وموسمي "جاف و رطب" ، وتقدير شهري). تظهر النتائج التي تم الحصول عليها أن حوض التافنا له قابلية عالية للنحت.

في نهاية هذه الدراسة، حاولنا ربط النقل الصلب مع الأمطار. وقد تم تحديد نماذج تربط بين النقل الصلب و الأمطار لإبراز العلاقة بين كمية النقل الصلب و الأمطار ؛ حيث تم تعريف نموذج مباشر ونموذج غير مباشر.

### مفتاح الكلمات :

الحوض الساكن ، الترسيب ، التدفق ، النقل الصلب ، الاختبار ، الموديل ، المحطة.

---