

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE AKHLI MOAND OULHADJE-BOUIRA



Faculté des Sciences et des sciences appliquées  
Département Génie Civil

**Mémoire de fin d'étude**

Présenté par :

**AIZEL Rezki**

**MECHERI Noureddine**

En vue de l'obtention du diplôme de **Master 2 en hydraulique**

Option : **génie hydrotechnique**

**Thème :**

**Contribution à l'estimation du transport solide dans le sous bassin d'oued  
EL MALEH (Algérie du Nord)**

**Devant le jury :**

**M<sup>r</sup> MERIDJA Madani**

**M<sup>me</sup> BALOUL Djouhra**

**M<sup>me</sup> REZIG Amina**

**M<sup>r</sup> DJAFER KHOJA hakim**

**MCA(UAMOB)**

**MAA(UAMOB)**

**MAA(UAMOB)**

**MAA(UAMOB)**

**Président**

**Promotrice**

**Examinatrice**

**Examineur**

**Année Universitaire 2017/2018**

# Remerciment

*Avant tout, je remercie DIEU qui a illuminé mon chemin et qui m'a armé de courage pour achever mes études.*

*Et « quiconque ne remercie pas les gens, ne remercie pas Dieu»*

*Je remercie fortement mon promotrice : M baloule dj de m'avoir orienté par ses conseils judicieux dans le but de mener a bien ce travail.nos vifs remerciement vont également à nos enseignants*

*Je tiens à remercier aussi :*

-  *Les membres de jury pour avoir accepté d'évaluer mon travail*
-  *Tout ceux qui ont contribué de près ou de loin dans l'élaboration de mon mémoire..*

# Dédicace



*Je rends un grand hommage à travers ce modeste travail, en signe de respect et de reconnaissance envers :*

*- Ma mère qui a beaucoup sacrifiée pour moi et pour l'affection qui m'a toujours portée.*

*- Mon père qui m'a tout donné pour que j'atteigne mon but dans son sens spirituel.*

*Je le dédie également à*

*Mes frères et mes sœurs*

*Mes amis: Amen..Mohamed ,brahim ,ramdan , omar. Hafid ..*

*, à toute ma famille, mes amis et tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à ma formation.*



*rezki*

# Sommaire

---

## Introduction général

## Chapitre I Le phénomène d'érosion et transports solides

Introduction .....	01
I - Les différentes types de l'érosion.....	01
I.1 Erosion éolienne.....	01
I.2 Erosion hydrique.....	01
I.2.1 Définition d'érosion hydrique.....	01
I.2. 2 Formes d'érosion hydrique.....	01
I.2.3 Les agents de l'érosion hydrique.....	01
I.2.4 Les formes d'érosion hydrique.....	04
I.2.4.1Erosion en nappe (sheet érosion).....	04
I.2.4.2 Erosion linéaire (micro-channel ou Rill érosion).....	05
I.2.4.3Erosion par ravinement.....	05
I.2.5 Quantification de l'érosion hydrique.....	06
I.2.6 Transport solide.....	06
I.3 Mode de transport solide.....	07
I.3.3.11 Charge de fond.....	08
I.3.3.2 Charge En Suspension.....	08
I.3.3.3 saltation.....	09
I.4.1 Calcul du débit solide en suspension.....	12
I.4.1 Méthode liée à la mesure de la turbidité .....	12
I.4.1.2 La corrélation et la régression .....	14
I.4.2.La construction d'un bon modèle.....	14
I.4.2.1 Principaux modèles existants .....	14
I.5 Choix des modèles régressifs.....	17
I.5.1 La correction du modèle .....	18
Conclusion .....	19

## **Chapitre II caractéristique de région**

<b>Introduction</b> .....	20
<b>II.1 Situation géographique et les limites</b> .....	20
<b>II.2 Morphométrie bassin versant et Caractéristiques de forme</b> .....	21
<b>II.2.1 Caractéristiques hypsométrique</b> .....	22
<b>II.3 Le climat et précipitations</b> .....	26
<b>II.3.1 Les éléments du climat</b> .....	26
<b>II.3.1.1 La Températures</b> .....	26
<b>II.3.1.2 Evapotranspiration</b> .....	27
<b>II.3.1.3 les précipitations</b> .....	28
<b>II.3.1.3.1 Etude des précipitations mensuelle</b> .....	28
<b>II.3.1.3.2 Etude des précipitations saisonnières et annuelle</b> .....	29
<b>II.3.1.4 le Vents</b> .....	33
<b>II.4 caractéristiques de surface et la géologie de bassin</b> .....	33
<b>II.4.1 Couvert végétal</b> .....	33
<b>II.4.2 La pente</b> .....	34
<b>II.4.3 Lithologie de bassin oued El Maleh</b> .....	35
<b>II.5. Evaluation des apports solides au niveau des deux stations</b> .....	36
<b>II.5.1 Les stations de Mezahim et bni sleman</b> .....	37
<b>II.5.2. station de bni sleman</b> .....	37
<b>II.5.2.1 Variation annuelle des apports liquides et solide( Bni Sleman)</b> .....	37
<b>II.5.2.2 Variation mensuelle des apports liquides et solides ( bni sleman)</b> .....	38
<b>II.5.1.3 Variation saisonnière des apports liquides et solides (Bni Sleman)</b> .....	39
<b>II.5.3. station mezahim</b> .....	39
<b>II.5.3.1 Variation saisonnière des apports liquides et solides (st mezahim)</b> .....	39
<b>II.5.3.2 Variation mensuelle des apports liquides et solides (st mezahim)</b> .....	40
<b>II.5.3.3 Variation saisonnière des apports liquides et solides (st mezahim)</b> .....	41
<b>- Conclusion</b> .....	42

## **Chapitre III Etude de cas**

<b>Introduction :</b> .....	43
<b>III.1 Collecte et mise en forme des données</b> .....	43
<b>III.2 Dépouillement des données</b> .....	43
<b>III.3.1 Classification des données</b> .....	44
<b>III.3.2- Répartition de la totalité des données</b> .....	44
<b>III.3.3 Sélection du modèle</b> .....	45
<b>III.3.1 Erreur d'estimation E (%)</b> .....	50
<b>III.3.3.1 l'observation de résultats</b> .....	50
<b>III.3.3.2.1A l'échelle annuelle</b> .....	51
<b>III.3.3.3 A l'échelle mensuelle</b> .....	51
<b>III.3.3.4 A l'échelle saisonnière</b> .....	51
<b>III.4 Application des coefficients de correction</b> .....	53
<b>III.4.1 Efficacité d'un modèle</b> .....	56
<b>Conclusion</b> .....	57
<b>Conclusion Générale -</b>	

# Liste des tableaux

Tableau II.1 : Caractéristiques physiographiques des bassins.....	21
Tableau II.2: Variation de surface en fonction de l'altitude .....	24
Tableau II.3 : Températures enregistrées aux stations de Beni-Slimane.....	26
Tableau II.4 : stations pluviométrie du bassin versant oued El Maleh.....	28
Tableau II.4 :Précipitations moy mensuelles aux st de bni sleman et tablat.....	28
Tableau II.5 : Paramètres d'échantillon.....	30
Figure. II.6. Précipitations moyennes annuelles aux st de Tablat et bni sleman.....	31
Tableau II.7 :Caractéristiques des deux stations hydrométriques .....	36
Tableau III.1 : l'équation $aQ^b$ (a et b) à différentes échelles à la station de BniSleman.....	46
Tableau III.2 : L équation $aQ^b$ (a et b ) à différentes échelles a starion mezahim.....	48
Tableau 11 : Apports mesurés, s deux modèles au niveau de la station de Mezahim (St01)..	49
Apports mesurés, deux modèles au niveau de la station de Bni Sleman(St02).	
Tableau II.13 Coefficient de correction sur les deux station .....	55
Tableau 15 : coefficients $R^2$ des $a_1$ et $a_2$ avant et après application des coefficients de correction pour chaque regroupement Station bni sleman et mezahim.....	56

## LIST DES FIGURES

Figure I.1 : l'influence de couvert végétale sur les pluies.....	03
Figure I.2: Erosion en nappe.....	05
Figure .I.3: Erosion par ravinement.....	06
Figure I. 4 : diagramme de hjulstrom.....	07
Figure I. 5 : Modes de transport solide dans un cours d'eau.....	07
Figure I.6: Critères de suspension.....	09
Figure I.7 : répartition des verticales.....	12
Figure I.8 : Epure des vitesses.....	13
Figure I.9 : Epure du débit solide sur toute la section de mesure.....	13
Figure II.1 : La carte de bassin versant d'Oued Maleh.....	20
Figure II.2 : carte hypsométrique oued El maleh ouest.....	24
Figure II.3 carte hypsométrique oued El maleh Est.....	25
Figure II.4: Courbe hypsométrique du bassin versant l'Oued El Maleh est.....	25
Figure II.5: courbe hypsométrique du bassin versant l'oued El maleh Ouest.....	25
Figure II.6 : carte hydrographiques de bassin versant de Oued El maleh.....	25
Figure II.7 Variation mensuelle des températures au niveau de station bni sleman.....	27
Figure .I.8: courbe de variation des précipitations mensuelle des statiosn bni sleman et tablat.....	29
Figure I.9 : Histogramme des précipitations saisonnières des statiosn bni sleman et tablat .....	32
Figure II.1 :Variation interannuelle des précipitations au niveau de la station bni sleman .....	32
Figure II.11:Variation interannuelle des précipitations au niveau de la station de Bni sleman.....	32
Figure II.12 carte de occupation de sol .....	34
Figure II.13 : Carte des pentes du bassin versant de l'oued El Maleh.....	35
FIGURE II.14:Carte lithologique du bassin versant étudié.....	36
Figure II.16 : Variation mensuelle des apports liquides et solides du station st MEZAHIM.....	38
Figure II.17 : pourcentage des apports liquides et solides saisonnière du st MEZAHIM.....	39
Figure II.18 : Variation inter annuelle des apports liquides et solides du st bni sleman .....	40
Figure II.19 : Variation mensuelle des apports liquides et solides du st bni sleman .....	41
Figure II.20 : pourcentage saisonnière des apports liquides et solides st bni sleman .....	41

Figure III.1: Répartition Concentration- débit liquide : totalité des données st de bni sleman.....	44
Figure III.2: Répartition Concentration – débit liquide : totalité des données st de mezahim.....	44.
Figure. III.3. Variation des coefficients de détermination au niveau de la station de Bni Sleman...	45
Figure III.4. Représentation des modèles a1 et a2 appliques pour la totalité des données de station Bn Sleman.....	46
Figure. III.5. Variation des coefficients de détermination au niveau de la station de Mezahim.....	48
Figure.III.6. modèles a1 et a2 appliques pour la totalité des données de station mezahim.....	48
Figure. III.7. Variation des erreurs partielles au niveau des deux stations Echelle annuelle.....	51
Figure. III.8. Variation des erreurs partielles au niveau des deux stations Echelle mensuelle.....	52
Figure. III.9. Variation des erreurs partielles au niveau des deux stations Echelle saisonnière.....	53
Figure III.10 Evaluation des apports solides en suspension mesures ,estemes et corrigés a u niveau de station Station Mezahim.....	56
Figure III.11. Evaluation des apports solides en suspension mesures ,estimes et corrigés au niveau de station Bni Sleman.....	56

يعتبر انجراف التربة مشكل كبير في الجزائر. يصبح خطير إذا تجاوز العتبة المسموحة بها. الكثير من الأعمال أنجزت على انجراف التربة والنقل الصلب من أجل تقييم فقدان التربة و الحمولة الصلبة و تستنتج عموما ابتداء من قياسات مباشرة أو على أساس معادلات رياضية النقل الصلب اخترنا أن نركز هذا العمل في استعمال نماذج لقياس انجراف التربة و النقل الصلب من خلال تقدير تركيز المواد الصلبة بدلالة التدفق المائي عن طريق معادلة اسية خطية و غير خطية و عند تقييم النموذجين أظهر أن النموذج الأكثر فعالية وقدرة هو النموذج الغير خطي بدقة 98 % في محطة مزاهيم و 92% ب بني سلمان هذا في حوض واد المالح.

## Résumé

En Algérie l'érosion est un problème majeur, elle devient dangereuse dès qu'elle dépasse le seuil tolérable, il est la conséquence partielle de la perte en terre des sols au niveau du bassin versant.

Plusieurs travaux ont été effectués sur l'érosion et le transport solide pour évaluer les pertes en sol et la charge solide est donnée généralement à partir des mesures directes ou à base des équations mathématiques.

Nous avons choisi de focaliser ce travail sur l'utilisation des méthodes pour la quantification de l'érosion et le transport solide pour estimer des concentrations de matière en suspension en fonction de débit liquide par deux modèles ( linéaire et non linéaire) et l'évaluation des performances de ces deux modèles a montré que Le modèle non linéaire avec une précision de 98% à la station Mezahim et à 92% avec Beni Slemane dans le bassin d'oued Al Maleh.

## Abstract

Erosion is a major problem in Algeria, it becomes more dangerous when it exceeds the tolerable threshold, partially, it is responsible of the loss in soil et the watershed

Many works were been done on erosion and solid transportation for evaluate sol losses and solid charge which is get usually from direct measurement based on mathematic equation

We choose to focus this work on the use of methods for the quantification of erosion and solid transportation to estimate the suspension concentration depending on the liquid flow by two models (linear and non linear)

The performance evaluation of this two models has demonstrated that the nonlinear model gives a precison of 98% at the Mezahim Station and 92% at Beni Sliman at Oued EL-Maleh

## Introduction

Le mot érosion vient du verbe latin « erodere » qui signifie ronger, l'érosion défini comme un Processus qui concerne l'arrachement, le transport et la sédimentation des particules par l'eau, Le vent ou la gravité Il représente l'ensemble des phénomènes qui contribuent, sous l'action d'un agent climatique, notamment l'eau, à modifier les formes de relief. L'érosion hydrique est une des causes majeures de la dégradation des sols dans le monde. Ce phénomène affecte aussi la qualité des eaux et la capacité de stockage des barrages. Au sens large, l'érosion est un phénomène géologique de tout temps et de tout lieux

## I. Les différents types d'érosion

### I.1 Erosion éolienne

Le vent possède une force qui agit sur la surface du sol. Le vent est actif généralement dans les zones qui souffrent d'un déficit pluviométrique et d'une température prédominante importante. C'est le cas des régions arides et semi-arides (Zachar, 1981) où il est accentué pendant les saisons sèches. Avec l'effet de surpâturage qui induit la disparition du couvert végétal, il laisse des surfaces importantes sans protection et exposées à la détérioration.

### I.2 Erosion hydrique

#### I.2.1 Définition Erosion hydrique

Le phénomène d'érosion hydrique est le résultat de l'action combinée de plusieurs processus dont le détachement, le transport et le dépôt de particules, sous l'action de la pluie et du ruissellement.

#### I.2.2 Formes d'érosion hydrique

Son facteur moteur réside dans les précipitations. L'érosion hydrique Comporte deux processus qui sont le détachement des particules comme phase préparatoire puis leurs transports à un lieu de dépôt.

#### I.2.3 Les agents de l'érosion hydrique

##### ❖ Climat

Le climat est l'élément moteur de l'érosion. Les changements de température, l'intensité et la hauteur de précipitation ainsi que le vent ont des effets prépondérants sur la désintégration de la roche. Ailleurs les variations saisonnières des orages, leur localisation, leur fréquence et le régime des vents exercent une influence sur l'érosion des sols.

##### ❖ Les paramètres pluie liés à l'érosion

La hauteur des précipitations est peu liée à l'importance de l'érosion. Tandis que l'intensité est le facteur principal de l'érosion. Plus l'intensité est grande, plus l'effet de battage du sol est prononcé.

L'érosivité d'une pluie est donc fonction de ses caractéristiques physiques : le diamètre des gouttes et la vitesse d'impact des gouttes

## ❖ Etat de surface des sols

L'état de la surface du sol, à savoir l'encroûtement de surface, la rugosité, la couverture végétale ou les résidus ont une influence importante sur les taux d'infiltration, de ruissellement et l'érosion.

Pour étudier les phénomènes de pertes en sols, en plus de la pente et du type de sol, qui sont des caractéristiques permanentes au cours d'une saison pluvieuse, les caractéristiques dynamiques les plus pertinentes pour décrire et classer ces unités en ce qui concerne l'érosion en nappe sont l'encroûtement de surface (les faciès), la rugosité de surface, et autres caractéristiques de surface.

## ❖ Rugosité

La rugosité de surface est une propriété qui influe sur plusieurs processus en relation avec le sol tels que l'infiltration, la capacité de stockage temporaire, le dépôt ou le détachement de particules. Elle évolue rapidement sous l'influence du travail du sol et des précipitations.

## ❖ précipitations

Une pluie est caractérisée par son volume (pluviosité), son intensité (I) et sa durée (T). L'intensité est le paramètre le plus important. D'une part, elle joue sur le débit du ruissellement, et donc sur le détachement et la capacité de transport de l'écoulement et d'autre part, elle influence directement le détachement du sol par le splash. L'énergie cinétique d'une goutte de pluie lors de son contact au sol est :

$$Ec = \frac{1}{2}mV^2 \dots\dots\dots(I.01)$$

Avec : Ec : Energie cinétique (joule) ; m : Masse de la goutte (kg) ; V : Vitesse en m/s.

## ❖ ruissellement

Le ruissellement est le plus important agent de transport et dans certains cas le principal agent de détachement dès lors que le volume non infiltré dépasse la capacité de détention superficielle du sol (Camuzard, 2003).

Manning a proposé une formule reliant la vitesse d'écoulement à la pente et l'état du sol :

$$V = \left(\frac{1}{n}\right) Rh^{2/3} I^{1/2} \dots\dots\dots(I.02)$$

Rh : Rayon hydraulique ; I : Pente de terrain ;

1/n : Coefficient dépendant de la rugosité des parois et du fond du canal(Guillobez, 1990).

Le ruissellement est régi par le sol, la couverture végétale et la topographie.

## ❖ Le sol

L'eau des précipitations qui parvient à l'interface sol-atmosphère entre en contact d'abord avec la végétation; puis avec le sol. Quand la pluie atteint le sol nu, elle le bat provoquant l'effet de battance et de rejaillissement qui dépendent de la nature du sol (texture, et structure) ; puis l'eau s'infiltré dans le sol qui intervient par ces propriétés hydrodynamiques pour régir l'infiltration (état hydrique du sol, réserve en eau, coefficient d'infiltration). Cette infiltration varie en fonction des conditions d'humectation qui sont fonction de :

Etat hydrique du sol avant la pluie et L'intensité de la pluie, sa durée, l'état de surface et son évolution au cours de la pluie (Guillobez, 1990).

## ❖ Couvert végétale

C'est un facteur primordial de protection du sol contre érosion. L'interception des gouttes de pluie dissipe l'énergie cinétique et donc diminue l'effet Splash. Son système racinaire maintient le sol et favorise l'infiltration.

L'érosion est une fonction décroissante de la couverture végétale qui est elle-même fonction croissante de la pluie

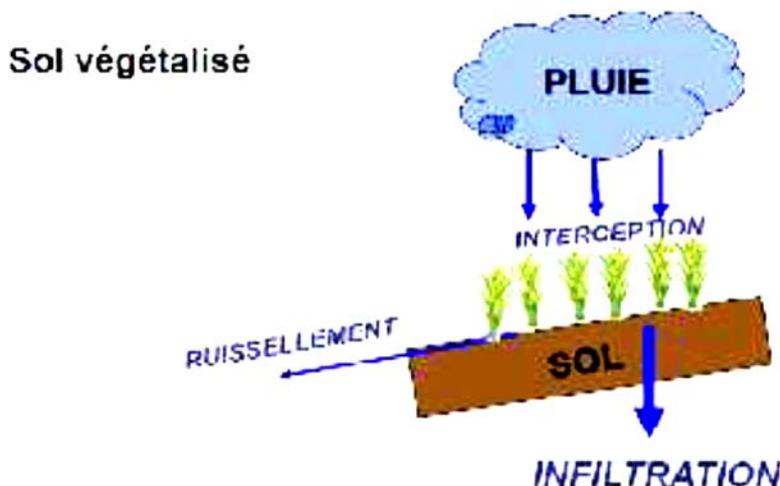


Figure I.1 : l'influence de couvert végétale sur les pluies

## ❖ La topographie

Plusieurs chercheurs ont mis en évidence l'effet de la topographie sur l'érosion. Nombreux sont ceux qui ont montré que la topographie agit sur le ruissellement et les pertes en sol par deux composantes :

-la longueur de la pente car plus la pente est longue, plus les eaux ont tendance à se concentrer graduellement dans les fissures ou rainures, ce qui entraîne un apport considérable en eau et en sédiments.

- le degré de la pente car plus le degré de l'inclinaison des versants est important, plus l'énergie cinétique de l'écoulement et le détachement des particules du sol sont importantes.

### ❖ Facteur d'origine anthropique

Les activités humaines qui ont la plus grande influence sur l'érosion des sols sont l'agriculture, l'élevage, les exploitations minières, l'abattage du bois, la construction de routes et l'urbanisation.

Les activités de construction peuvent avoir l'effet le plus important à cause à la fois de la suppression de la végétation, des modifications topographiques et de la destruction de l'équilibre du sol. Des actions anthropiques non contrôlées telle que les incendies, le défrichage, la déforestation, le surpâturage sont à l'origine de processus aggravant l'intensité de l'érosion des terres.

Pour estimer les pertes en sol Il existe plusieurs formules qui relient les facteurs qui causent l'érosion et ceux qui minimisent le phénomène.

La quantification peut se faire par mesure direct et a l'aide de formules existantes.

### I.2.4 La forme d'érosion hydrique

#### I.2.4.1 Erosion en nappe (sheet érosion)

L'érosion en nappe est le stade initial de la dégradation des sols par l'érosion. Elle entraîne la dégradation du sol sur l'ensemble de sa surface. Une fois que les particules sont préparées par l'effet splash, le ruissellement se déclenche lorsque l'intensité devient supérieure à la vitesse d'infiltration.

Une couche mince de sol uniforme est entraînée par le ruissellement avec des vitesses relativement faibles sur pentes douces (Xiaoqing, 2003).

L'importance de l'érosion en nappe dépend à la fois :

- de l'intensité maximale des pluies qui déclenchent le ruissellement ;
- de l'énergie des pluies qui détachent les particules susceptibles de migrer ;
- de la durée des pluies et de l'humidité du sol avant les pluies.



**Figure I.2: Erosion en nappe**

## I.2.4.2 Erosion linéaire (micro-channel ou Rill érosion)

Lorsque l'intensité des pluies dépasse la capacité d'infiltration de la surface du sol, il se forme d'abord des flaques; ensuite ces flaques communiquent par des filets d'eau et lorsque ces filets d'eau ont atteint une certaine vitesse, 25 cm par seconde d'après( Hjulström 1935 ) 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 ).

## I.2.4.3 Erosion par ravinement

La ravine est une rigole approfondie où se concentrent les filets d'eau. La rigole se transforme en ravine lorsque sa profondeur interdit son nivellement par des simples instruments aratoires.

Le ravinement constitue un stade avancé de l'érosion .Les ravines peuvent atteindre des dimensions considérables. L'approfondissement des ravines remonte du bas vers le haut de la pente (érosion régressive).

Les phénomènes de mouvement de masse on peut citer :

### -Les glissements :

Sont des décollements d'une couche plus ou moins épaisse de sol, glissant sur un horizon plus compact (souvent de la roche altérée),

### - les Coulées boueuses et laves torrentielles :

Ce sont des mélanges d'eau et de terre à haute densité ayant dépassé le point de liquidité et qui emportent à grande vitesse des masses.



**Figure .I.3: Erosion par ravinement**

### **I.3.1 Quantification de l'érosion hydrique**

La quantification de l'érosion hydrique devient une nécessité, car elle permet de délimiter les terres vulnérables et prévoir des moyens de lutte.

La quantification de l'érosion peut se faire soit :

- Par la mesure directe du transport solide au niveau des stations de mesure.
- Par des formules expérimentales.

La quantification de l'érosion hydrique est identifiée à travers le calcul de l'érosion spécifique définie comme étant la quantité de sédiments arrachés au bassin versant et charriés par le cours d'eau rapportée à l'unité de surface (Touaibia ; 2000).

### **I.3.2 Transport solide**

C'est la deuxième processus constituant l'érosion hydrique. Il est par définition la quantité des sédiments (ou débit solide) transportée par un cours d'eau. Ce phénomène est limité par la quantité de matériaux susceptible d'être transportée (selon la fourniture sédimentaire). Il est régi par deux propriétés du cours d'eau:

#### **- La compétence :**

Elle est mesurée par le diamètre maximal des débris rocheux que peut transporter le cours d'eau (Musy et Higy, 2003). Cette caractéristique est fonction de la vitesse d'eau comme la montre le diagramme de Hjulstrom qui se divise en trois parties principale comme illustré dans la figure I.4

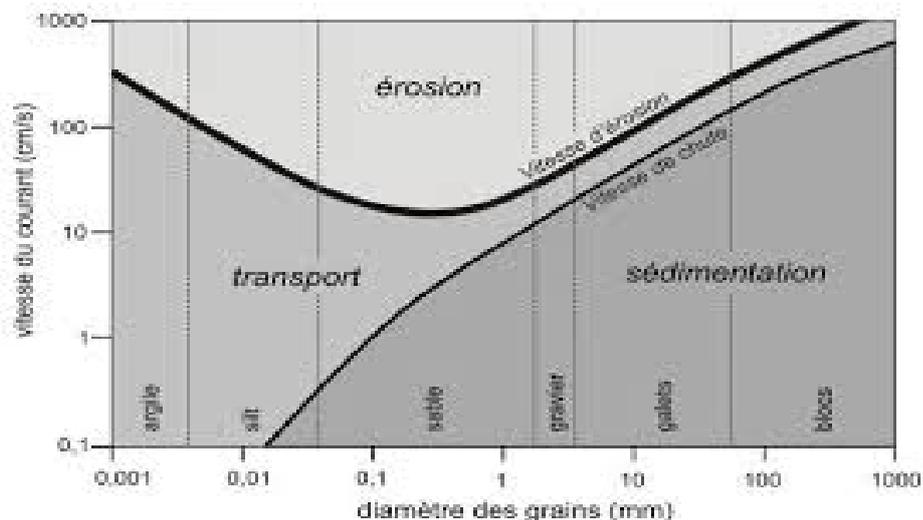


Figure I.4 diagramme de Hjulstrom

## La capacité :

C'est la quantité maximale de matériaux solides que peut transporter dans le cours d'eau. Elle est fonction de la vitesse de l'eau, du débit et des caractéristiques de la section (forme, rugosité, etc...)

### I.3.3 Mode du transport solide

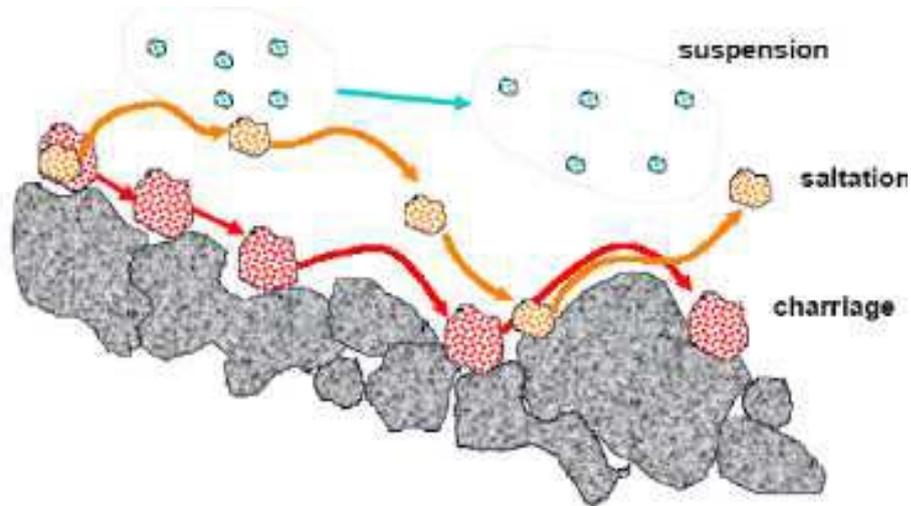
On distingue deux catégories de transports solides : les matières en suspension et le charriage de fond. Ce dernier comprend les particules qui glissent, roulent ou sautent sur le fond ou près du fond.

#### ❖ Charriage

Qui correspond au transport des sédiments sur le fond, par roulement ou sauts successifs, Ce mode de transport concerne les éléments les plus grossiers et les plus denses du transport solide. Ils sont par nature non-cohésifs.

#### ❖ Suspension

Qui concerne les éléments les plus fins transportés dans la lame d'eau. Elle est le résultat de l'équilibre entre la turbulence de l'écoulement et la chute des particules, dépendant de leurs caractéristiques. On distingue dans cette catégorie des éléments cohésifs tels les argiles et non-cohésifs, tels les sables.



**Figure I. 5 : Modes de transport solide dans un cours d'eau.**

### **I.3.3.1.1 Charge de fond**

#### **❖ Définition**

Le transport par charriage est l'un des principaux types de transport solide dans un cours d'eau, il Le transport solide par charriage, représente la progression de sédiments grossiers (sables, gravier, galets et blocs), de diamètre supérieur à 1mm, qui se déplacent par roulement ou glissement, au voisinage immédiat du fond du cours d'eau, et parcourent des distances relativement petites et discontinues dans le temps et dans l'espace .

#### **❖ Description du phénomène :**

Les mesures sur le terrain du transport solide par charriage sont très onéreuses à cause des perturbations de l'écoulement. De ce fait, les évaluations de ce type de transport son difficiles à mener en l'absence de bases de données.

La conceptualisation faite du charriage est basée sur l'équilibre entre l'énergie

Appliquée par l'écoulement sur la particule, balancée par les forces de frottements. On considère ainsi qu'une particule se met en mouvement quand la contrainte cisailant due à l'écoulement devient supérieure à celle de frottement. La masse volumique du fluide, sa viscosité, sa hauteur et la pente du lit conditionnent la force de frottement du fluide sur la particule, alors que la gravité, le diamètre caractéristique de la particule (par exemple son diamètre sphérique équivalent), sa densité, sa vitesse de chute contrôlent la force de frottement.

## I.3.3.2 Charge En Suspension

### ❖ Définition

Le transport par suspension est le deuxième type de transport solide dans un cours d'eau. Le transport solide en suspension représente le transport de sédiments fins (argiles, limons, sables fins), de taille micronique, maintenues en suspension sur toute la hauteur de la masse liquide du cours d'eau, sous l'action des fluctuations turbulentes de l'écoulement. Les sédiments se déplacent sur des grandes distances et le débit solide croît de l'amont vers l'aval.

Le transport en suspension se fait par Flottaison et ne comporte que très épisodiquement des retombées des sédiments sur le fond. La turbulence est le facteur principal de la suspension des sédiments.

### ❖ Description du phénomène

Au fur et à mesure que la vitesse du courant s'accroît dans le cours d'eau, l'intensité de la turbulence s'accroît également jusqu'au stade où les particules en saltation atteignent une hauteur au-dessus du fond où les forces extensionnelles fluctuantes dues à la turbulence dépassent le poids des particules. A partir de ce moment, les particules ne suivent plus une trajectoire définie, mais elles suivent des trajectoires aléatoires dans l'épaisseur du fluide.

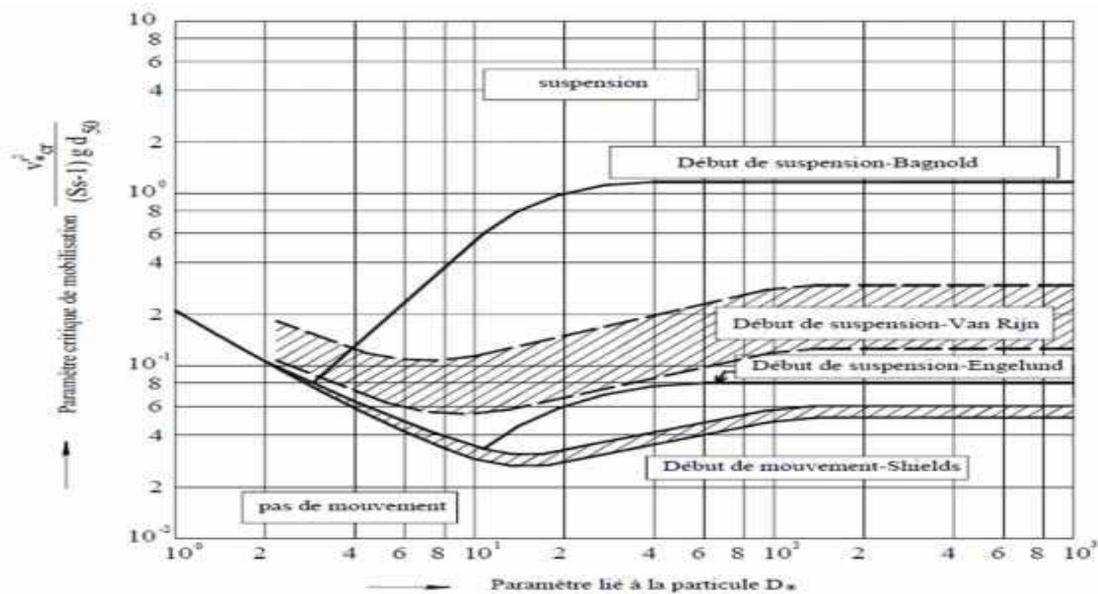


Figure I.6 : Critères de suspension

## I.3.3.4 Saltation :

### ❖ Description de phénomène

On explique la progression par saltation de la façon suivante: un grain glisse sur le fond du lit, puis rencontre un obstacle, il se bute alors sur cet obstacle. La différence de pression entre l'amont et l'aval du grain augmente, il bascule, puis est arraché, entraîné par le courant et, par gravité, retombe au fond où le processus recommence.

Il est évident que les composantes multiples de la vitesse, qui caractérisent la turbulence, jouent un rôle important dans la saltation.

## I.4 Prédiction d'érosion hydrique

Il existe plusieurs formules qui relient les facteurs qui causent l'érosion et ceux qui minimisent le phénomène. Parmi ces formules on cite :

### a. Formule universelle de Wischmeier (1959) :

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

Elle s'écrit sous la forme :

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \dots\dots\dots(I.03)$$

Dans laquelle :

A : Perte de terre (tonne/ha/an) ; R : Facteur d'agressivité climatique

K : Indice d'érodibilité du sol ; L : Facteur longueur de pente ; S : Facteur de pente

C : Facteur agronomique ; P : Facteur des aménagements anti-érosifs.

### b. Formule de Cavrilovic

Il a défini l'érosion spécifique, comme étant proportionnel à la température, à la pluie et à un coefficient d'érosion, l'équation est donnée par l'expression suivante :(Eric herouin (1998))

$$W = T \cdot X \cdot \pi \cdot \sqrt{Z^3} \text{ Et } W_t = W \cdot S \dots\dots\dots(I.04)$$

Avec :

W : Perte en terre (m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/an) ;

W<sub>t</sub> : Perte en terre moyenne sur le bassin versant (m<sup>3</sup>/an) ;

T : Coefficient de température ; X : Pluie moyenne annuelle (mm) ; S : Surface du bassin versant (km<sup>2</sup>) ;

Z : Coefficient de l'érosion relative qui est difficile à estimer. Il est fonction du couvert végétal, de la structure lithologique et pédologique du bassin versant et du degré de processus érosif.

## c. Formule de Fournier

$$As = \frac{1}{36} \left( \frac{Pm}{Pam} \right)^2 2.65 \left( \frac{h}{S} \right)^2 0.46 \dots\dots\dots(I.05)$$

Avec :

As : Apport solide spécifique moyen annuel (tonne/km<sup>2</sup>/an) ;

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

Pam : Précipitations moyennes annuelles (mm) ;

h : Dénivelée moyenne (m) ;

S : Superficie de bassin versant (km<sup>2</sup>).

## d. Formule de Tixeront

Spécifique pour l'Algérie et la Tunisie.

As = 354E<sup>0.15</sup> Pour les bassins Tunisiens As = 92E<sup>0.21</sup> Pour la région Est Algérien As = 200E  
Pour la région Centre Algérien.

As : Apport solide spécifique en(t/km<sup>2</sup>/an) ;

E : Ecoulement en (mm).

## e. Formule de Sogreah

Basée sur les données de 30 bassins Algériens, la formule est :

$$As = a E^{0.15} \dots\dots\dots(I.06)$$

Avec :

As : Apport solide spécifique (tonne/km<sup>2</sup>/an) ; a : Coefficient dépendant de la perméabilité du sol ; E : Ecoulement annuel (mm).

## f. Formule de l'ANRH

$$Tss = 26.62IL + 5.07IP + 9.77CT - 593.59 \dots\dots\dots(I.07)$$

Où :

Tss : Transport solide spécifique moyen annuel (t/km<sup>2</sup>/an)

IL : Indice lithologique (%) ;

IP : Indice des précipitations (%) ;

CT : Coefficient de torrentialité = Dd .F1

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

F1 : Fréquence des thalwegs élémentaires ;

Cette formule s'applique pour les conditions de IL>10% et Pm>300mm.

## I.4.1 Calcul du débit solide en suspension

### I.4.1.1 Méthode liée à la mesure de la turbidité

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

- En vue de sa mesure, des prélèvements d'échantillons par des équipements spéciaux au droit de la station de jaugeage, à différentes positions se font parallèlement au jaugeage de débit au moulinet.

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

-En reportant cette section à un système "XoY" avec en abscisse la largeur de la rivière " rive droite au rive gauche" et en ordonnée les profondeurs à partir de la surface d'eau, n'importe quel point de mesure sera identifié Voir Figure.I.7.

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

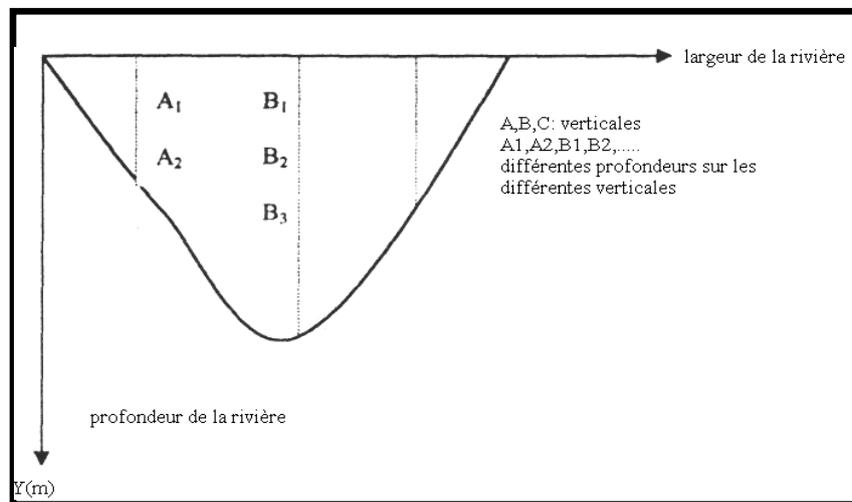
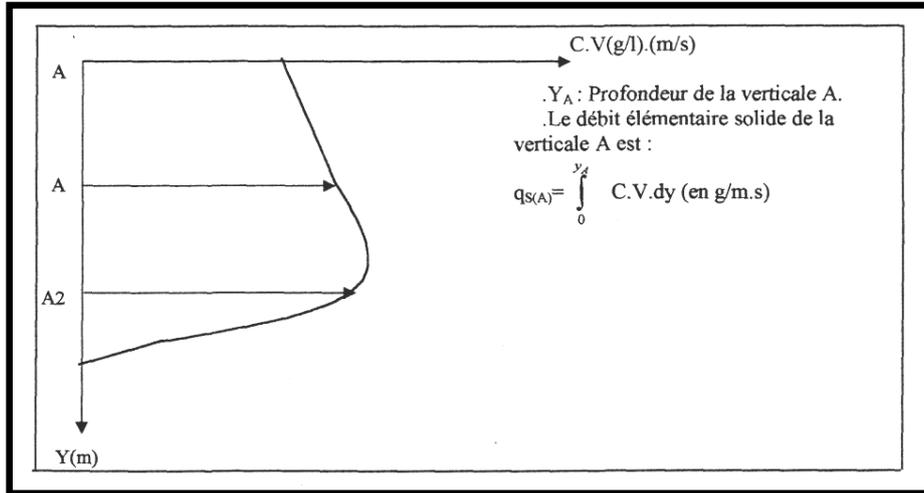
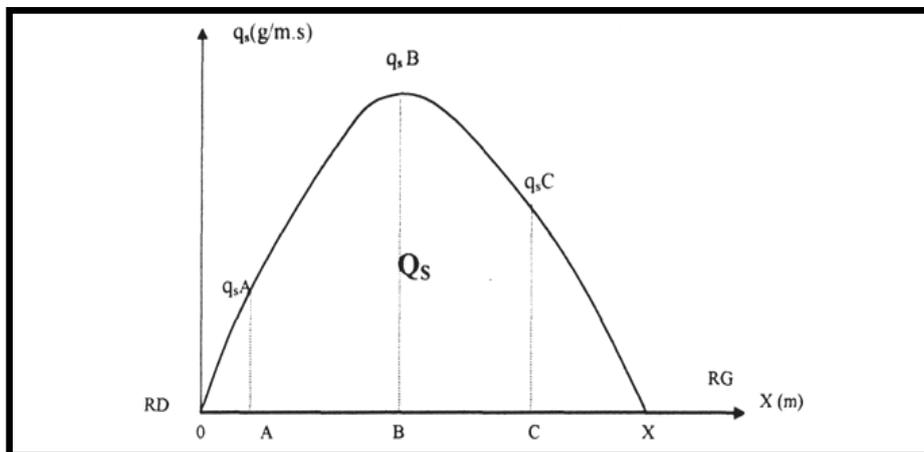


Figure I.7 : répartition des verticales



**Figure I.8 : Epure des vitesses.**



**Figure I.9 : Epure du débit solide sur toute la section de mesure**

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

Le débit solide en kg/s, n'est que l'intégration des différents débits élémentaires des différentes verticales. Représentés un système "XoY" où x représente la largeur de la rivière, et y le débit élémentaire "q<sub>s</sub>", le débit solide total Q<sub>s</sub> est planimétrie. C'est la surface comprise entre la courbe des débits élémentaires et l'axe X, comme montre la (figure. I.9)

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

Pour la détermination de la concentration des matériaux en suspension, les prélèvements d'eau sont filtrés sur les filtres pesés au préalable. Sèches à 100 °C à l'étuve et par double pesés, le poids des matériaux en suspension est déterminé et ramené à l'unité de volume (g/l, kg/m<sup>3</sup>), après calcination de la matière organique si elle existe.

## I.4.1.2 La corrélation et la régression

La régression est une extension du concept de corrélation, elle fournit des équations permettant d'obtenir une variable à laquelle on s'intéresse (variable dépendante) à partir d'une ou plusieurs variables observées de façon courante (variable indépendante) (OMM, 1994). Ainsi, la régression est un bon outil pour la prédiction de la concentration en sédiment en suspension  $C$  (g/l) à partir du débit liquide  $Q$  (m<sup>3</sup>/s).

La méthode des moindres carrés est la technique de régression la plus utilisée récemment. Elle consiste à trouver une expression mathématique d'une relation entre deux variables de façon que la somme des carrés des écarts de  $y$  à la ligne de régression sera minimum (McKinney, 2009).

Suivant la relation qui existe entre deux variables, il est possible d'avoir plusieurs types de modèles. Ceux qui sont connus et disponibles comme fonctions standards des courbes d'ajustement d'Excel, d'autres nécessitent une programmation et une exploitation du complément Microsoft Excel Solver ou l'utilisation de logiciels spécifiques.

## I.4.2 La construction d'un bon modèle

Pour avoir un bon modèle, généralement on retient celui avec un coefficient de détermination  $R^2$  élevé, mais ceci n'est pas toujours adéquat, il faut suivre plusieurs étapes pour pouvoir aboutir au bon modèle :

Selon le nuage de points, on peut détecter si les points semblent alignés suivant une ligne droite ou non.

- Si la relation semble non linéaire, il faut chercher un nouveau  $x$  soit par transformation de  $x$  ou changer une autre variable.
- Si la variation de  $y$  semble différente pour différent niveau de  $x$  (variances non constantes) ou même les deux, cela nécessite une transformation de  $x$  ou de  $y$  dans le but d'avoir une régression linéaire. Mosteller et Turkey (1977) ont établi une méthode qui aide au choix du type de la transformation: une transformation avec  $0 > 1$  peut être utilisée pour rendre la pente positive plus symétrique. Allant en haut on fait monter l'échelle de  $x$  par augmentation de sa puissance ( $x^2$ ,  $x^3$  etc.) et allant en bas on fait baisser  $x$  par l'application d'une transformation avec  $0 < 1$  ( $\log x$ ,  $\sqrt{x}$ ,  $1/x$ , etc.) (Helsel et Hirsch, 2002).

Est l'exposant de la force soit : 1, 2, 3...pour  $0 > 1$ , ou 0, 1/3 ...pour  $0 < 1$

### I.4.2.1 Principaux modèles existants

Parmi les modèles existants pouvant être appliqués dans le domaine de l'hydrologie et du transport solide on cite:

#### A -Le modèle linéaire

Parmi les relations qu'on peut établir entre deux variables, la relation linéaire est

la plus simple et la plus pratique mais elle ne s'applique pas dans tous les cas (Bobee, 1978 Helsel et Hirsch, 2002). Sa propriété principale est la proportionnalité de x et y. Elle est appliquée surtout pour vérifier l'existence d'une relation.

- Le modèle linéaire est donné sous la forme :

$$y_i = ax_i + b + \varepsilon_i \dots\dots\dots(I.10)$$

Les vrais valeurs de a et b sont inconnues cependant il est possible d'établir une équation de la droite de régression sous la forme :

$$\hat{y} = ax + b \dots\dots\dots(I.11)$$

Où :

Yi : La énième observation de la variable dépendante ;

xi : La énième observation de la variable indépendante ;

b : L'interception ;

a : La pente de la droite ;

εi : Le résidu qui mesure l'écart de l'observation yi à la droite de régression ;

ŷ : La valeur prédite de yi par la droite de régression

La droite de régression passe toujours par le point central des données (x, y), x et y Sont respectivement les moyennes de x et y.

## B -Le modèle logarithmique (Népérien)

Ce modèle utilise l'équation suivante pour calculer les moindres carrés:

$$y = a \ln(x) + b \dots\dots\dots(I.12)$$

Ce modèle n'est qu'une autre forme de la régression linéaire qui consiste en une application de la technique de transformation citée antérieurement de x à ln x (Rakotomalala, 2009).

Il exprime une variation proportionnelle de y au taux de variation de x.

Les paramètres de la droite de régression se déduisent de la même manière que pour le modèle linéaire.

## C- Le modèle polynomiale

Il est sous la forme générale :

$$y = a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3 + a_4 x^4 \dots\dots\dots(I.13)$$

L'exemple simplifié est le polynôme de deuxième ordre :  $y = a_1 x + a_2 x^2$

Selon les signes de ai .

## D- Le modèle exponentiel

Il est sous la forme:

$$Y = \alpha e^{\beta X} \dots\dots\dots(I.14)$$

Où α et β sont des paramètres à déterminer.

Cette relation n'est pas linéaire, elle représente une évolution (croissance ou décroissance) à un taux constant ou en accélération, surtout utilisé dans le cas où  $x = \text{temps}$ . Il est possible de la linéarité par la transformation de  $y$  en  $\ln Y$  et  $x$  en  $X$  et ceci

## E- Le modèle en puissance

Il est sous la forme:  $y = ax^b$ . .....(I.15)

Il est souvent adopté pour la construction des courbes de sédiments où  $y$  représente la variable dépendante  $C$  (concentration) et  $x$  représente la variable indépendante  $Q$  (débit liquide). Il se décompose en :

## F. modèle en puissance logarithmique :

C'est un modèle sous une forme linéaire issu de l'application du logarithme sur les deux cotés du modèle en puissance afin d'avoir une équation linéaire sous la forme.

$$\log y = \log a + b \log x \dots\dots\dots(I.16)$$

Avec :  $\log a$  et  $b$  sont des paramètres de la droite de régression, calculés par la Méthode des moindres carrée.

## G. méthode des moindres carrée.

Ce modèle de la re-transformation logarithmique est appliqué au couple (débit liquide-concentration) pour la première fois par Kennedy en 1895 sous sa forme :  $C = aQ^b$  (Mimikou, 1982 ; Horowitz, 2002 ; Ghenim, 2008) puis par (Campbel) qui l'ont appliqué pour le couple (débit liquide-débit solide).Abrahams et Kellerhals en (1973) ont signalé que le débit solide n'est pas une variable mesurée comme la concentration des sédiments en suspension et qu'il est calculé à partir des valeurs du débit et de la concentration  $Q_s = CQ_l$  ) Ceci revient à corrélér

avec  $(x \times y)$ , ce qui peut produire des conclusions erronées sur  $C$ . Ils conclurent que l'équation sous la forme :  $\log(C) = a + b \log Q + \log \epsilon$  représente mieux la relation entre  $C$  et  $Q$  (Campbell, 1977), où représente l'erreur commise

$\log$ -normalement distribuée et  $a, b$  sont les coefficients de régression dont  $a$  est un index de sévérité d'érosion et  $b$  exprime la force érosive de la rivière (Asselman, 2000). Après retransformassions à l'échelle arithmétique, cette relation s'écrit :

$$C = aQ^b \epsilon \dots\dots\dots(I.17)$$

Où  $\epsilon$  est normalement distribuée.

Ce modèle a été contesté par plusieurs auteurs suite à sa tendance de sous estimer l'apport solide en suspension (Duan (1983), Janson (1985,1997), Walling et Webb (1988), Newman (1992), Asselman (2000), Khanchoul et Janson (2008)

## H. Le modèle en puissance arithmétique :

La fonction de la régression non-linéaire en puissance s'écrit :

$$C = aQ^b + \delta \dots \dots \dots (I.18)$$

où a et b sont les paramètres de la régression et  $\delta$  l'erreur normalement distribuée.

### I. Modèle en puissance avec terme additif :

C'est l'un des modèles appliqués par Asselman (2000), il consiste en un modèle en puissance avec terme additif (p) sous la forme suivante :

$$C = aQ^b + \delta + p \dots \dots \dots (I.19)$$

Ce modèle se résout de la même façon itérative que le modèle non linéaire avec trois paramètres a, b et p.

### J. modèle non linéaire avec maximisation de $r^2$ :

C'est une approche proposée par Crowder et al (2006), elle est sous la forme :

$$\log(y) = \log a + b (\log x)^c \dots \dots \dots (I.20)$$

Avec: y est le débit solide et x est le débit liquide.

Cette tentative est proposée pour le cas des données de certaines rivières qui lors de l'application de la fonction en puissance issue de la transformation logarithmique, le nuage de point du couple  $\log Q_s$  en fonction de  $\log Q_l$  ne s'aligne pas le long d'une ligne droite mais sous forme de courbe concave ou convexe. Ceci engendre une sous estimation du flux sédimentaire pour les débits élevés en cas de station concave, et une sur estimation du flux sédimentaire des débits élevés pour les stations convexes.

La détermination des paramètres résulte de l'emploi de la méthode des moindres carrées pour les deux variables  $\log Q_s$  et  $(\log x)^c$  ou c est une variable déduite itérativement afin d'atteindre la valeur maximum de  $r^2$ .

Pour le cas d'une valeur du paramètre  $c=1$ , on aboutit au modèle (a):

$$\log(y) = \log a + b(\log x) \dots \dots \dots (I.21)$$

Ainsi, les données s'alignent le long d'une ligne droite

### I.5 Choix des modèles régressifs.

les phénomènes naturels sont connus par leur caractère aléatoire d'où résident leurs complexités et difficultés d'obtenir un nuage de point qui adhère à une courbe quelconque. Il est donc utile d'opérer pour une sélection de modèles à base du plus grand coefficient de détermination puis justifier le choix du modèle final en fonction d'autres paramètres qui évaluent la fiabilité d'estimation des modèles.

Plusieurs types de modèles régressifs ont été rencontrés, pour notre cas, la modélisation on utilisant le modèle de régression puissance linéaire et non linéaire.

**I.5.1 La correction du modèle**

D'après la définition des modèles en puissance (logarithmique et arithmétique) que la régression en modèle puissance des données originales on a utilise facteur de correction de ferguson.

$$CF = 10^{1.151.S^2} \dots\dots\dots (I.22)$$

$$S^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (\log C_{obs} - \log C_{cal})^2 \dots\dots\dots (I.23)$$

*CF1* : Facteur de correction de Ferguson

*S*: Erreur standard

*n* : Taille de la série

*Log Cobs* : Logarithme décimal la concentration observée

*Log Ccal* : Logarithme décimal de la concentration calculée par la régression.

L'application de ce coefficient de correction exige une distribution normale des résidus. Duan (1983) propose un autre facteur de correction qui ne dépend d'aucune supposition sur la distribution d'erreur. Il est donné par.

$$CF = \frac{1}{n \sum_i 10^{\epsilon_i}} \dots\dots\dots (I.24)$$

Avec :

$\epsilon_i$ : Résidu de l'observation *i* ;

$$\epsilon_i = \log(C_{obs}) - \log(C_{cal})$$

Après application de coefficient de correction, on aura :

$$C = (aQ^b).CF \dots\dots\dots (I.25)$$

Pour coefficient de Kao al (2005) CF établissent un autre coefficient de correction ( $\beta$ ) applicable pour des données non transformées en domaine logarithmique, il peut s'adapter pour le cas des deux modèles (linéaire ou non linéaire), il est calculé de la manière suivante:

$$\beta = \frac{\sum_i^n (\epsilon_i)}{\sum_i^n aQ^b} \dots\dots\dots (I.26)$$

Avec :  $\epsilon_i = C_{abs} - C_{est}$

Ce coefficient peut être positif ou négatif ;

La concentration des sédiments en suspension corrigée sera donnée par :

$$C_{cor} = (1 + \beta)aQ^b \dots\dots\dots (I.24)$$

Avant d'entamer les calculs, il faut bien choisir le modèle de la relation à envisager. Opter pour un model ou un autre doit s'appuyer sur certaines règles (Belhadi, 2007) :

-La connaissance théorique du phénomène étudié ou du terrain où se déroule l'étude constitue un élément essentiel pour l'adaptation du bon modèle dans le cas des phénomènes à des distributions évidentes.

- Le nuage des points aide considérablement dans le choix de la nature de la courbe la plus proche s'il n'existe pas des connaissances préalables de la distribution du phénomène. Généralement ces deux tentatives n'aboutissent pas à spécifier le modèle le plus représentatif et c'est le cas le plus rencontré puisque la majorité des phénomènes à étudier sont souvent nouveaux. Ainsi, les phénomènes naturels sont connus par leur caractère aléatoire d'où résident leurs complexités et difficultés d'obtenir un nuage de point qui adhère à une courbe quelconque. Il est donc utile d'opérer pour une sélection de modèles à base du plus grand coefficient de détermination puis justifier le choix du modèle final en fonction d'autres paramètres qui évaluent la fiabilité d'estimation des modèles.

### **Conclusion**

Les travaux réalisés en zone semi-aride ont montré la gravité du phénomène de l'érosion hydrique et particulièrement de l'érosion par ruissellement.

Cette synthèse reste une contribution et un appui scientifique et technique à la problématique de l'érosion en Algérie du Nord .La quantification du transport solide par de nombreuses formules et méthodes s'avère plus qu'indispensable, puisqu'elle permet d'anticiper les phénomènes d'envasement des barrages et de prévoir des mesures de lutte et de prévention, pour une meilleure gestion des retenues et ce phénomène en Algérie.

### Introduction

L'érosion et le transport solide sont le résultat de l'action combinée de nombreux facteurs parmi les quels on peut citer les facteurs géométriques, topographiques, pédologiques et les facteurs anthropiques. Tous ces facteurs sont conditionnés par les caractéristiques du bassin versant.

### II.1 Situation géographique et les limites

Le bassin versant de oued El Maleh fait partie du grand bassin d'oued Isser (figure II.1) est localisé en Algérie du Nord entre les 35<sup>ème</sup> et 37<sup>ème</sup> parallèles Nord et les méridiens 2o 45' et 3o 45' Est. L'oued Maleh est le cours d'eau qui draine le bassin du barrage Koudiat Acerdoune. Plusieurs villes et villages d'importance sont situés dans le bassin versant, BENI SLIMANE, barouguia, TABLAT, ect.le bassin versant à l'étude possède déjà un barrage en amont (Ladrat) qui capte les eaux sur près de 2,6 % de la superficie totale du bassin. En raison de la petite superficie du bassin versant en amont.

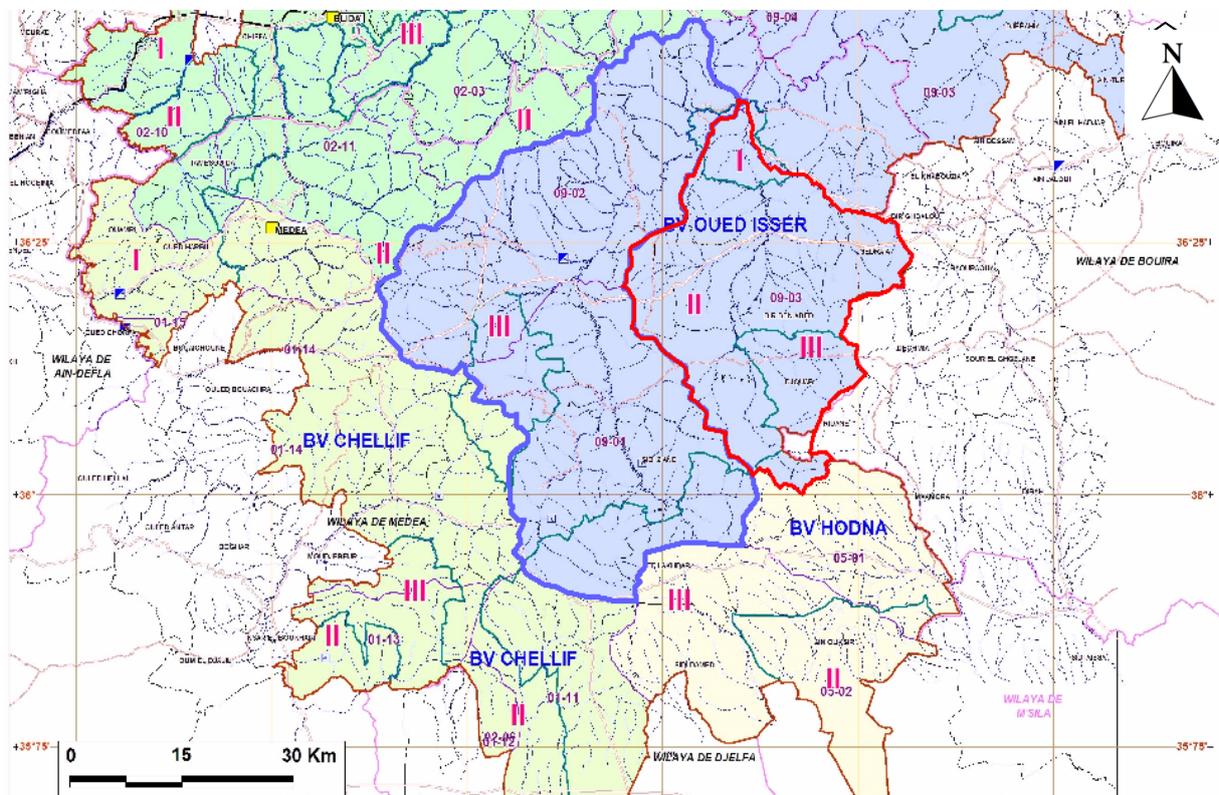


Figure II.1 : La carte de bassin versant d'Oued EL Maleh

### II.2 Morphométrie bassin versant et Caractéristiques de forme

La forme d'un bassin versant est la configuration géométrique telle qu'elle est projetée sur un plan horizontal. Elle influence directement le temps de réponse du bassin, c'est à dire sur le temps de parcours des eaux à travers le réseau de drainage et par conséquent influent sur l'hydrogramme.

Oued EL MALEH c'est un tronçon de lit d'Oued ISSER principal, la longueur totale de son cours d'eau principal d'environ 86.8 km.

Le Bassin versant de 'Oued El maleh Se compose par deux confluences Oued EL Maleh- Est et Ouest, est tous la majorité des valeurs et des paramètres morphologiques sont repris dans le tableau II.1.

**Tableau II.1 : Caractéristiques physiographiques des bassins**

Désignation	Symboles	Les formules	U	Melah ouest	Melah est
Superficies	S	-	km <sup>2</sup>	1438,6	1128.8
Périmètre	P	-	km	326,68	320.2
Longueur du thalweg principal	LP	-	km	86,8	80.7
Indice de compacité	KC	$K_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{S}}$	-	2,4	2.67
Altitudes maximale	Hmax	La courbe hypsométrique	m	1444,6	1788
Dénivelée spécifique	DS	$D_g = I_g * \sqrt{s}$	-	278	174
Altitudes 50%	H50%	La courbe hypsométrique	m	850	640
Altitude 5%	H5%	La courbe hypsométrique	m	460	450
Altitude 95%	H95%	La courbe hypsométrique	m	981,40	1180
Indice de pente globale	Ig	$I_g = \frac{D}{L}$	%	7.35	5.108
Indice de pente moyenne	Ipm	$I_{pm} = \frac{\Delta}{L} = \frac{H_{max} - H_{min}}{L}$	%	12,15	16.52
Temps de concentration h Tc 16	Tc	$T_c = \frac{1.5Lp + 4\sqrt{s}}{0.8\sqrt{H}}$	H	15.30	18.88

L'analyse du tableau II.1 précédent reflète certaines informations:

- La valeur du coefficient de compacité est de 2.4 et 2.67 Elle indique que les deux bassins versant est un allongé (Kc>1) ;
- D'après la classification de l'O.R.S.T.O.M. La dénivelée spécifique du bassin

-oued El Maleh ouest se trouve dans la classe R6 : Relief fort

-oued EL Maleh Est se trouve dans classe R5 : Relief assez fort

-le temps de concentration, il important (long) puisque le temps qu'a mis une goutte d'eau pour arriver au point le plus éloigné de l'exutoire. ci explique la complication des chenaux qui traversent les différentes structures et la forme allongée du bassin versant.

### II.2.1 Caractéristiques hypsométrique

La forme d'un bassin versant peut être traduite par l'indice de compacité de graveleuse Kc qui représente le rapport du périmètre mesuré du bassin versant au périmètre d'un cercle occupant une aire équivalente. D'après les valeurs de cet indice, on constate que les deux bassins versants de oued El Maleh Ouest et Est sont allongés.

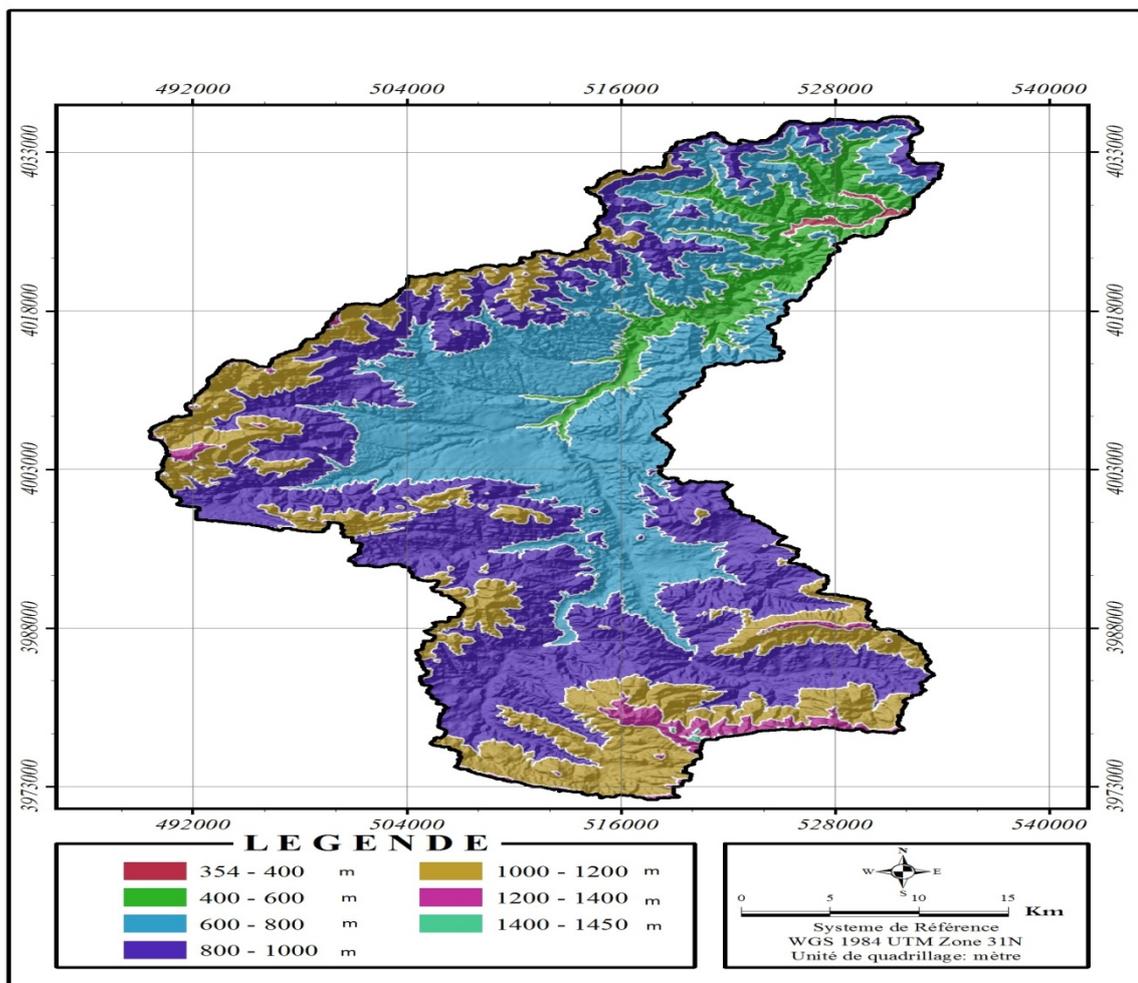
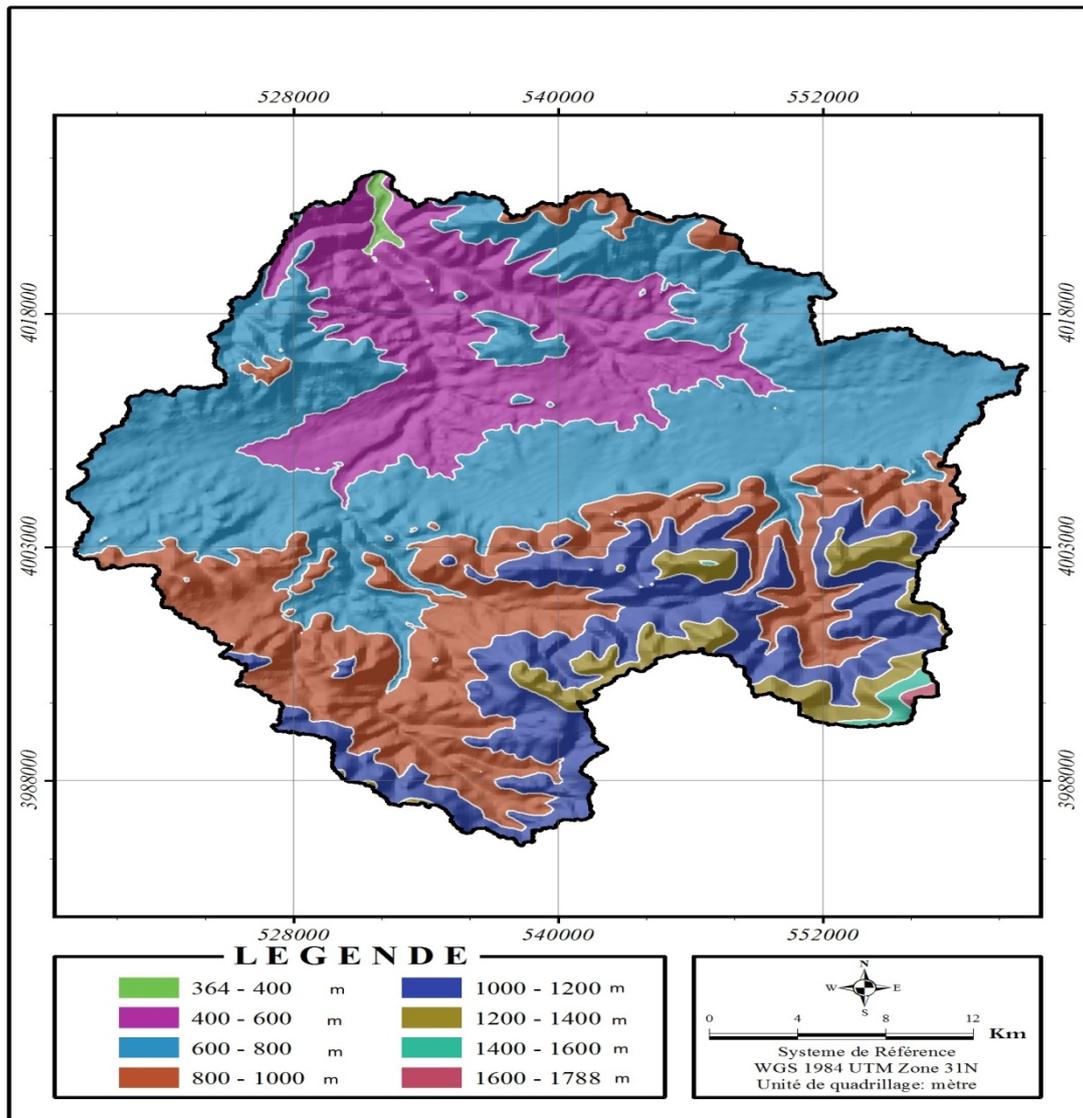


Figure II.2 : carte hypsométrique oued Elmaleh ouest



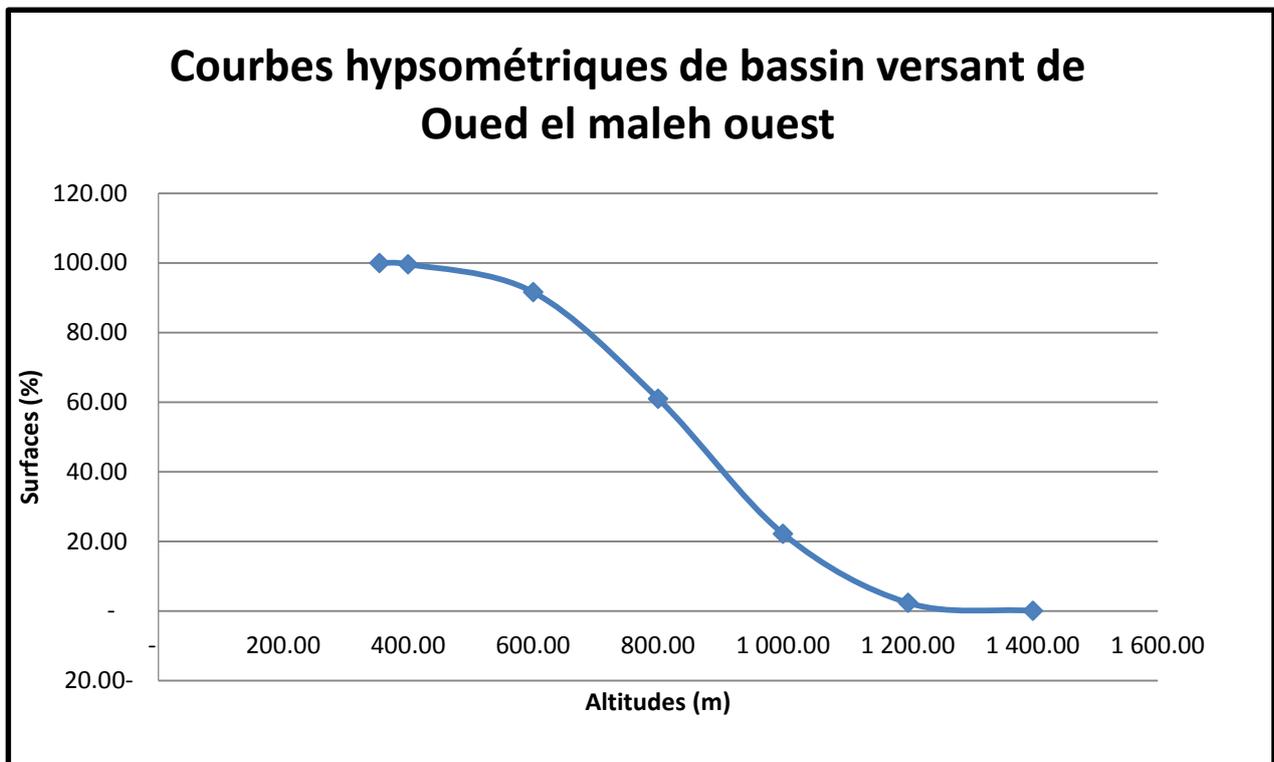
**Figure 11.3 carte hypsométrique oued Elmaleh Est**

La plupart des facteurs climatiques et hydrologiques sont fonction de l'altitude supérieure à 600 m). Il est donc important de déterminer la répartition du bassin versant par des tranches d'altitudes et de dégager les différents paramètres du relief. A partir des courbes hypsométriques et des courbes des fréquences altimétriques (Meddi, 1992), on peut tirer la conclusion suivante: les tranches d'altitude supérieures 600 m à 1000 m sont très grand étendues dans le bassin versant de l'oued Maleh, Ouest par contre on retrouve que l'altitude dominante dans la partie est du bassin versant est celle de 400 m à 800 m.

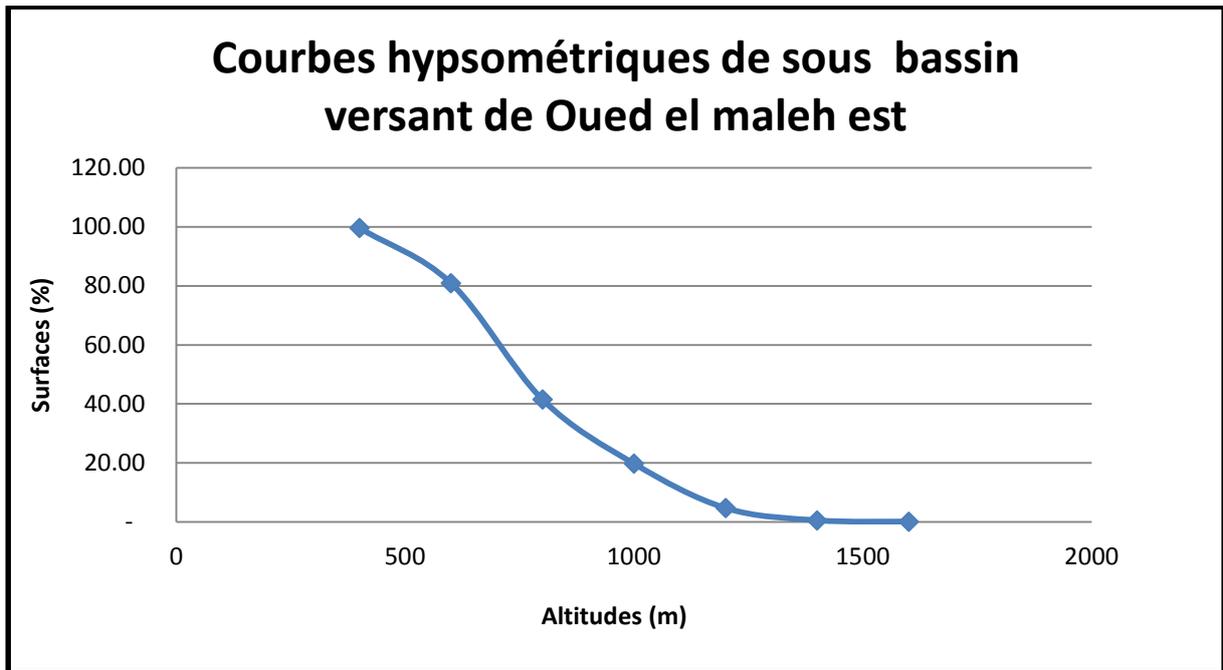
Les courbes hypsométriques fournissent une vue synthétique de la pente du bassin, donc du relief. Ces courbes représentent la répartition du pourcentage de surface du bassin versant en fonction de son altitude (Tableau II.2).

**Tableau II.2: Variation de surface en fonction de l'altitude**

Oued el maleh Est			Oued el maleh Ouest		
Altitudes (m)	Surfaces (km <sup>2</sup> )	Surfaces (%)	Altitudes	Surfaces (km <sup>2</sup> )	Surfaces (%)
364 - 400	3,8	0,34	354 - 400	5,19	0,36
400 - 600	210,86	18,68	400 - 600	115,29	8,01
600 - 800	445,47	39,46	600 - 800	440,15	30,6
800 - 1000	245,69	21,76	800 - 1000	558,29	38,81
1000 - 1200	169,92	15,05	1000 - 1200	285,3	19,83
1200 - 1400	47,07	4,17	1200 - 1400	33,22	2,31
1400 - 1600	4,75	0,42	1400 - 1450	1,16	0,08
1600 - 1788	1,3	0,12	-	-	-
<b>Total</b>	<b>1 128,86</b>	<b>100</b>	<b>Total</b>	<b>1 438,59</b>	<b>100</b>



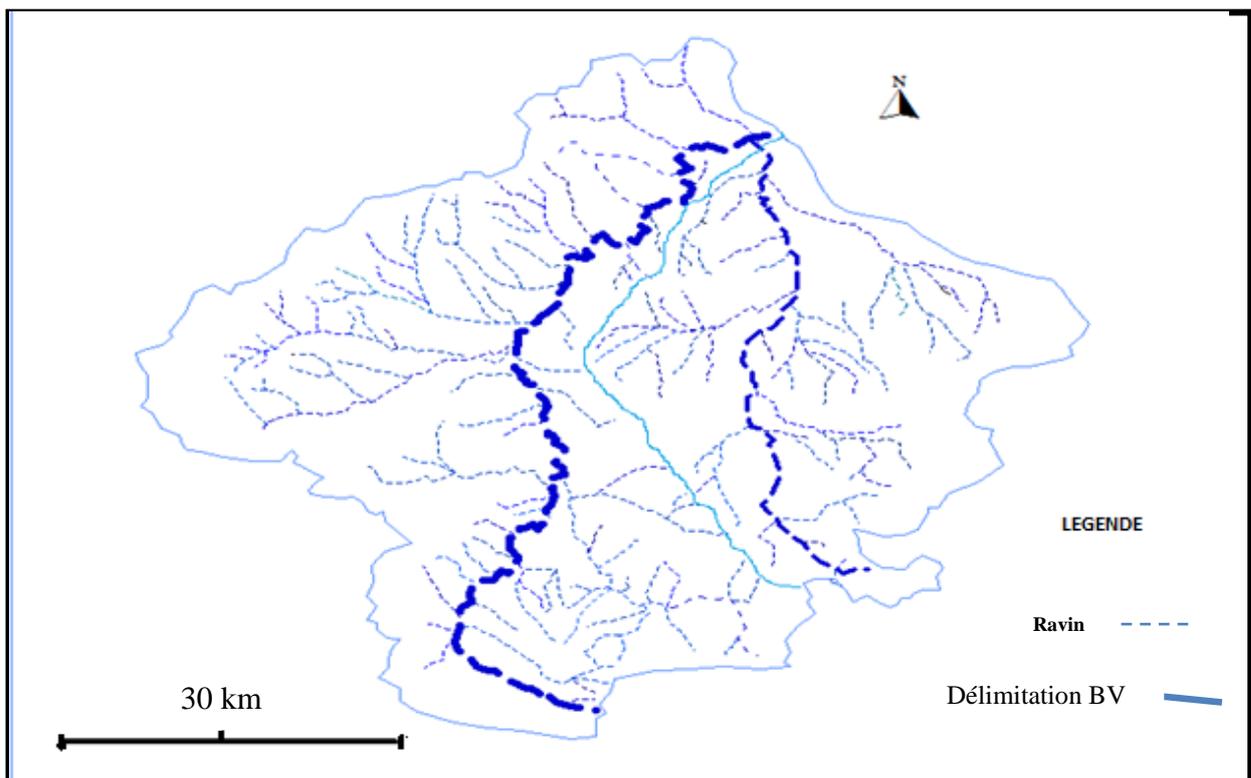
**Figure II.4: Courbe hypsométrique du bassin versant l'Oued El Maleh Ouest**



**Figure II.5: courbe hypsométrique du bassin versant l'oued el maleh est.**

On a constaté sur les deux figures (II.4 II.5) que le bassin versant d'oued El Maleh Est moine dégradable, par pour oued El Maleh Oeust

Le réseau hydrographique désigne l'ensemble des canaux de drainage naturels, permanent ou temporaires, par lesquels s'écoulent les eaux provenant du ruissellement ou restituées par les nappes souterraines.



**Figure II.6 : carte hydrographiques de bassin versant de l'Oued El maleh**

### II.3 Le climat et précipitations

L'Algérie du Nord se distingue par trois domaines biogéographiques différents :

Domaine méditerranéen :

- humide : se localise à l'Est englobant une bonne partie de la Kabylie du Djurdjura; il couvre une large bande littorale dans le Tell Constantinois; sa limite méridionale passe immédiatement au Nord de Guelma et de Souk Ahras;
  - sub-humide : comprend le versant méridional du Tell Constantinois, la chaîne des Bibans, l'Atlas mitidjien de la partie orientale du Dahra jusqu'à Ténès;
  - semi-aride : s'étend du Tell Oranais - y compris la bordure des Hautes Plaines jusqu'aux chaînes atlasiques constantinoises en passant par le versant méridional du Tell Central.
  - Domaine aride : comporte les Hautes Plaines Algéroise et de l'Oranie, la cuvette du Hodna et l'Atlas saharien. Sa limite méridionale englobe une partie plus ou moins large du piémont Sud de l'Atlas;
    - domaine désertique enfin, dont les sols désertiques sont peu évolués et dépourvus d'humus.

Le climat de la région est de type semi-aride méditerranéen, il est caractérisé par une saison humide et autre sèche (pluie d'hiver, sécheresse estivale). La saison des pluies est d'octobre à avril, et la saison sèche dure de mai à août /Septembre. Le bassin versant se trouve dans une zone de transition entre deux milieux différents, un climat plus pluvieux au nord. (ANBT 2007)

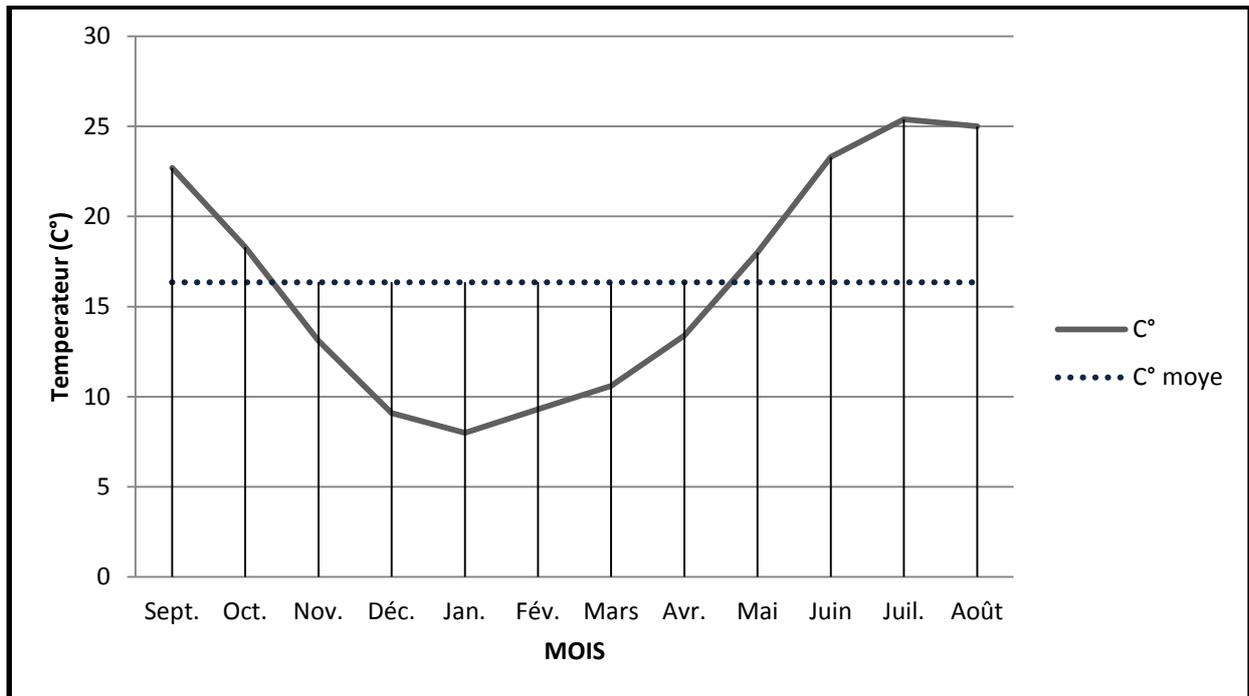
#### II.3.1 Les éléments du climat :

##### II.3.1.1 La Température

Pour la station météorologique il y a une seule station qui existe sur le grand bassin est située au centre du bassin versant de Oued El Maleh, la température moyenne annuelle observée sur le bassin 16,4°C (période non précisée). Les valeurs mensuelles maximales et minimales moyennes sont respectivement de 25,4 °C et 8,0°C.

**Tableau II.3. Températures et ETP enregistrées aux stations de Beni-Slimane**

	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Ann.
ETP (mm)	145	85	40	30	35	45	75	115	150	190	225	210	1345
Température (°C)	22,7	18,3	13,1	9,1	8,0	9,3	10,6	13,4	18,0	23,3	25,4	25,0	16,4



**Figure II.7 Variation mensuelle des températures au niveau de Nom station : BENI SLIMANE**

D'après la figure II.7, on remarque une baisse de température au dessous de la moyenne annuelle qui commence à partir du mois novembre jusqu'au mois d'Avril avec un minimum au mois de Janvier, tandis que la saison sèche s'étale du mois de Mai à Septembre. Cette période joue un rôle essentiel dans la préparation d'un stock de sédiments favorisé par des sols dénudés de végétation et asséchés (Williams, 1989).

### II.3.1.2 Evapotranspiration

L'évapotranspiration notée ETP, implique l'eau utilisée par les procédés d'évaporation et de transpiration. Il est évident que plusieurs facteurs, notamment les facteurs climatiques qui influent l'évaporation affectent aussi l'évapotranspiration. Parmi ces facteurs l'intensité et la durée de la radiation solaire, les conditions du vent, l'humidité relative, le couvert nuageux, la pression atmosphérique.

L'humidité relative, sur ce bassin, en hiver varie de 40mm à 75mm et en été de 150mm à 145mm ETP moyenne annuelle dans la zone d'étude s'élève à environ 98.5 mm (ANRH).

### II.3.1.3 les précipitations

L'étude de la pluviométrie de la région est basée sur les données de la station TABLAT et BENI SLIMANE.

## CHAPITRE II. CARACTERISTIQUE DE LA REGION

**Tableau II.4 : stations pluviomètres du bassin versant oued El Maleh**

N	Station	X(Km)	Y(Km)	Z(m)	Période de la série de donnée
1	TABLAT	548.95	312.4	491	1991 à 2016
2	BENI SLIMANE	557.2	322.65	600	1985 à 2011

### II.3.1.3.1 Etude des précipitations mensuelle

Pour évaluer la variabilité des précipitations sur la région, nous avons employé le coefficient de variation exprimé en pourcentage (%). Le coefficient de variation des pluies est une mesure assez efficace de la variabilité par rapport à la moyenne d'un échantillon. Afin de caractériser la pluviosité propre à chaque année, il convient de tenir compte de "l'écart type" correspondant à l'excédent, ou au déficit des précipitations de l'année considérée rapportée à la moyenne; nous avons relevé toutes les années pluviométriques extrêmes humides et sèches.

Sachant que :

$$Cv = \frac{\sigma}{p}$$

Avec :

p: Moyenne de la série;  $\sigma$ : Écart type.

Les caractéristiques de précipitation mensuelle des stations sont représentées dans le tableau ci-dessous.

**Tableau II.4: Précipitations moyennes mensuelles en mm aux stations de BENI SLIMANE et TABLAT.**

Station	Sept	oct.	nov.	déc.	janv.	fév.	Mars.	Avril.	mai.	Juin.	juil.	Aout.	Annuel
TABLAT	35,75	37,84	79,28	89,22	81,33	71,28	59,63	58,20	45,80	7,50	1,90	6,87	568,95
$\hat{\sigma}$	28,88	30,89	44,11	60,25	62,39	54,12	66,62	44,27	36,75	10,12	3,75	10,82	162,04
Cv	0,808	0,816	0,556	0,675	0,767	0,759	1,117	0,761	0,802	1,349	1,97	1,576	0,990
BNI SLIMEN	28,96	30,55	41,44	43,85	41,33	45,06	37,32	37,39	37,59	10,57	5,41	7,16	365,45
$\hat{\sigma}$	29,56	24,97	16,70	183,38	29,96	24,86	31,77	26,47	29,79	16,63	2,80	12,60	56,16
Cv	0,96	0,78	2,10	22,75	0,69	0,52	0,78	0,75	5,26	1,30	0,47	1,43	0,15

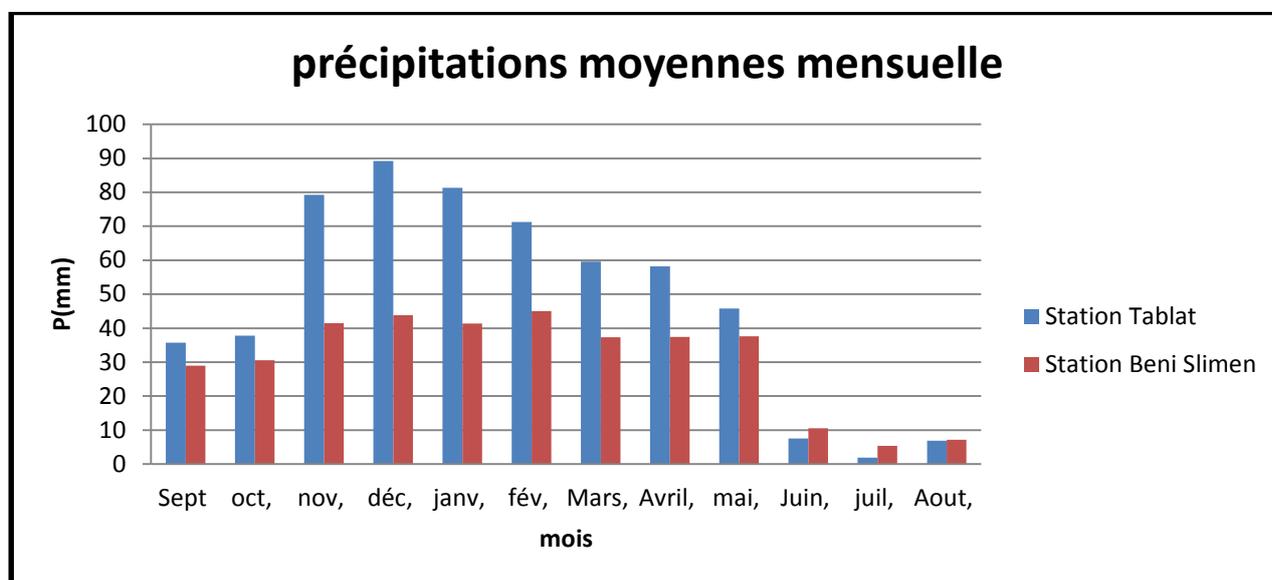
A partir du tableau ci-dessus, on observe que le bassin versant de l'oued Melah est marqué une pluviosité varie entre (365.45 mm et 568.95 mm).

Afin de caractériser la pluviosité propre à chaque année, il convient de tenir compte de "l'écart type" correspondant à l'excédent, ou au déficit des précipitations de l'année considérée rapportée à la moyenne de 26 ans pour station Beni Slimen

## CHAPITRE II. CARACTERISTIQUE DE LA REGION

Et 25 ans POUR Tablat, nous avons relevé toutes les années pluviométriques extrêmes humides et sèches. Sachant que Au niveau de la station de BENI SLIMANE le coefficient de variation mensuels varient entre 0,47 et 2.5, au niveau de la station de TABLAT 0.55 à 1.97. Ceci reflète une grande variabilité générée surtout pour les trois mois d'été qui possèdent les plus fortes valeurs au niveau des deux stations. La représentation sous forme d'histogramme des précipitations mensuelles des deux stations montre une irrégularité mensuelle des précipitations caractérisées par le mois de Décembre le plus arrosé au niveau de la station de TABLAT avec une saison d'hiver plus pluvieuse que le printemps qui lui-même plus humide que l'automne. Le mois le plus sec pour même station correspond au mois de Juillet.

Alors qu'au niveau de la station de BENI SLIMANE le mois le plus pluvieux est celui de Février, avec hiver plus humide, est les mois plus sèche se produit de Juin à Août, Juillet la saison de été le plus sec de l'année

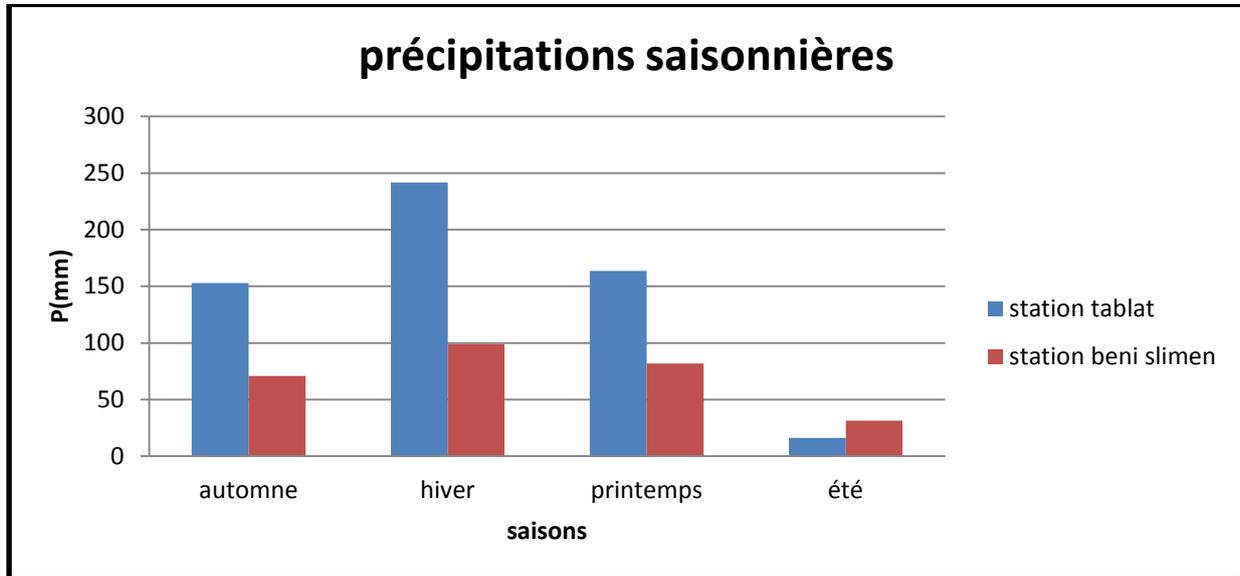


**Figure .II.8: courbe de variation des précipitations moyennes mensuelle des stations BENI SLIMANE(1985 à 2011)et TABLAT(1991 à 2016)**

La répartition saisonnière est particulièrement importante pour le rôle est souvent prédominant dans la physiologie de la végétation. Si les pluies d'automne et de printemps sont suffisantes, elles seront florissantes; si par contre la quantité tombée pendant ces deux saisons est faible, leur extension sera médiocre.

1. Hiver (Décembre, Janvier, Février)
2. Printemps (Mars, Avril, Mail)
3. Eté (Juin, Juillet, Aout)

4-Automne (Septembre, Octobre, Novembre) La distribution saisonnière de la précipitation est aussi variable selon la région analysée comme on peut constater sur la figure suivant la



**Figure II.9 : Histogramme des précipitations saisonnières des stations BENI SLIMANE(1985 à 2011)et TABLAT(1991 à 2016)**

La variation de précipitation saisonnière pour les deux stations BENI SLIMANE et Tablat illustre à la figure II.9 montre que l'été correspond à la saison la plus sèche dans les deux stations. L'hiver et printemps forment une super saison humide ou la plus grande partie des écoulements des deux stations.

**Tableau. II.5. Paramètres d'échantillon**

Station	Max	Min	Ecart type	Moy	Cv (%)
BENI SLIMANE	554,6	240,1	93,4	365	25,6
TABLAT	890,5	352	155,5	568,95	27,3

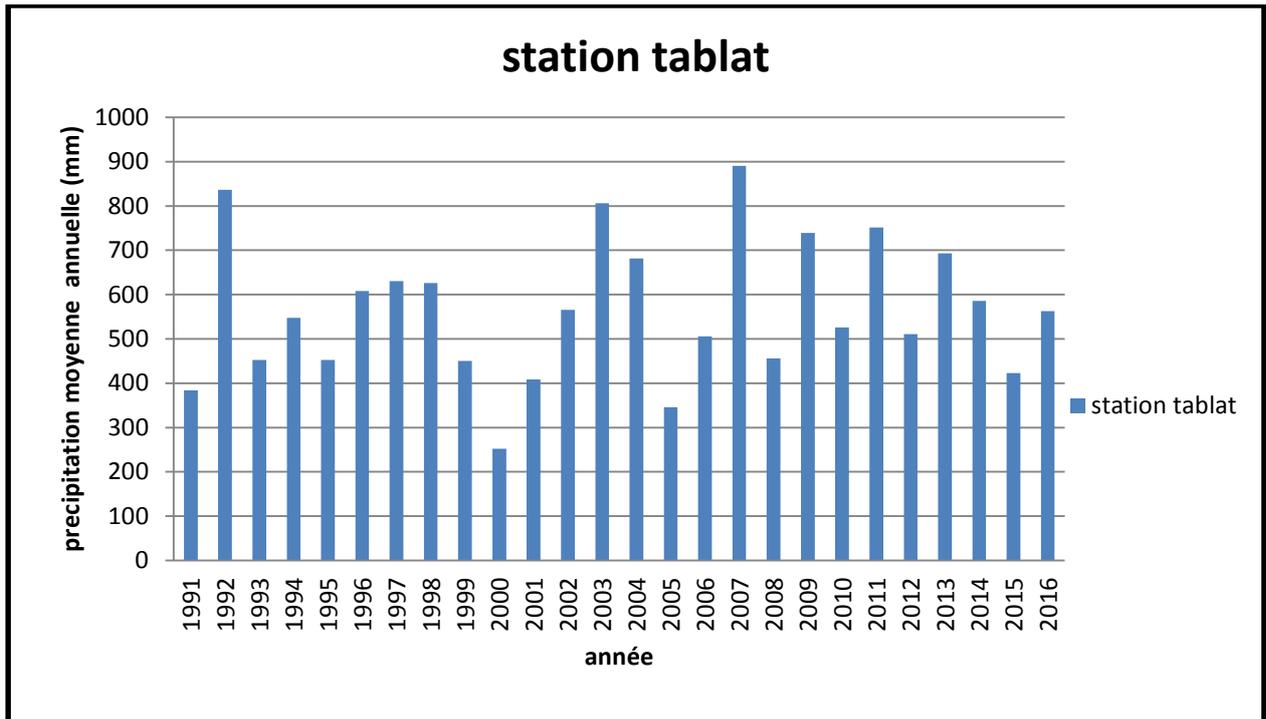
Le tableau II.5 caractérise l'importance de l'écart existant entre l'année la plus humide et l'année la plus sèche au niveau des deux stations. Les coefficients de variation pour la période d'étude sont inférieurs à 30% ce qui indique une variabilité interannuelle faible par rapport à la variation mensuelle.

## CHAPITRE II. CARACTERISTIQUE DE LA REGION

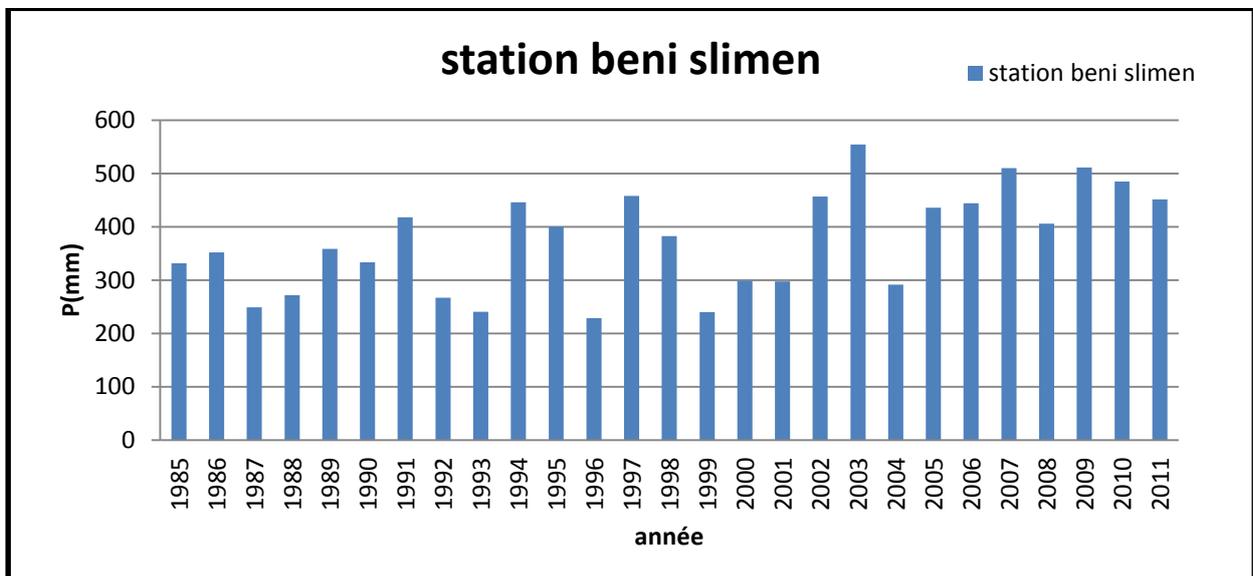
**Figure. II.6. Précipitations moyennes annuelles aux stations de TABLAT et**

### BENI SLIMANE

Station Beni Slimen				Station Tablat			
Année	Pluie Annuelle (mm)	Année	Pluie Annuelle (mm)	Année	Pluie Annuelle (mm)	Année	Pluie Annuelle (mm)
1985	332	1999	240,1	1991	384	2004	681,6
1986	352	2000	299,1	1992	836,4	2005	346,2
1987	249	2001	298	1993	452,4	2006	505,7
1988	272	2002	457,2	1994	547,9	2007	890,5
1989	359	2003	554,6	1995	452,4	2008	456,4
1990	334	2004	291,7	1996	608,3	2009	739,1
1991	418	2005	436,4	1997	630,1	2010	526,3
1992	267	2006	444,6	1998	626,3	2011	751,5
1993	241	2007	510,2	1999	450,3	2012	510,6
1994	446	2008	406,4	2000	352	2013	693
1995	401	2009	511,5	2001	408,8	2014	585,8
1996	229	2010	485,4	2002	565,6	2015	422,6
1997	458	2011	451,4	2003	806	2016	563
1998	383	moyenne	365.45			moyenne	568.95



**Figure II.10: Variation interannuelle des précipitations au niveau de la station de TABLAT**



**Figure II.11: Variation interannuelle des précipitations au niveau de la station de BENI SLIMANE**

D'après la figure II.10 et II.11, la variation interannuelle s'opère d'après l'oscillation des valeurs autour de la moyenne. L'année la plus excédentaire est celle de 2007 pour la station de TABLAT, alors qu'au niveau de la deuxième station BNI SLEMAN on rencontre de l'année la plus humide qui correspond à 2003 avec L'année la plus sèche est l'année 1996 à

BENI SLIMANE, et 2000 à TABLAT avec un indice de précipitation de 1,72 BENI SLIMANE et 1,23 à TABLAT.

Les plus fortes valeurs concernent la pluie journalière maximale où elle est comprise entre 17,9 mm et 77,4 mm. La différence entre les valeurs des précipitations augmentées l'érosion.

### II.3.1.3 Vents

Les vents dominants sont ceux du Sud et ceux du Est-Ouest de mai à août, ils sont chauds et sec : 3 à 8 jours de siroco en juillet et août. En période hivernale, ils viennent du Nord et Nord- Est.

## II.4 caractéristiques de surface et la géologie de bassin

Les facteurs géologie et la surface d'un bassin versant est très important dans la détermination du régime des cours d'eau qui drainent ce bassin. Elle influe directement sur le l'importance de cette phénomène.

### II.4.1 Couvert végétal

la Figure II.12 présent que .La couvert végétal reste un très bon indicateur de la vitesse d'écoulement, parce que l'existence de la végétation peut freiner le ruissellement. Une bonne couverture végétale limite l'érosion en dissipant l'énergie des pluies, en les interceptant, et favorise l'infiltration et le ruissellement hypodermique (Wischmeier S., 1986). En hiver, durant lequel l'évapotranspiration est faible, l'eau interceptée par la végétation est en grande partie restituée au sol par égouttage. Donc, partie des précipitations peut atteindre le sol après un certain temps, et la quantité perdue est négligeable. En été, la quantité interceptée par la végétation est plus importante. En cette période, le pouvoir évaporant est grand par conséquent, cette quantité sera évaporée avant d'avoir atteint le sol (Meddi M. 1992) 70% de la zone du bassin méridional est couvert par une densité variable de végétation. Les forêts couvrent 15.8% de cette zone, principalement de jeunes plantations des pins). Deux formes de couvrent 25% du bassin de captation Tétralines. En plus de la végétation naturelle, la végétation herbacée se compose principalement des collectes de céréale qui forment les principales cultures permanentes.

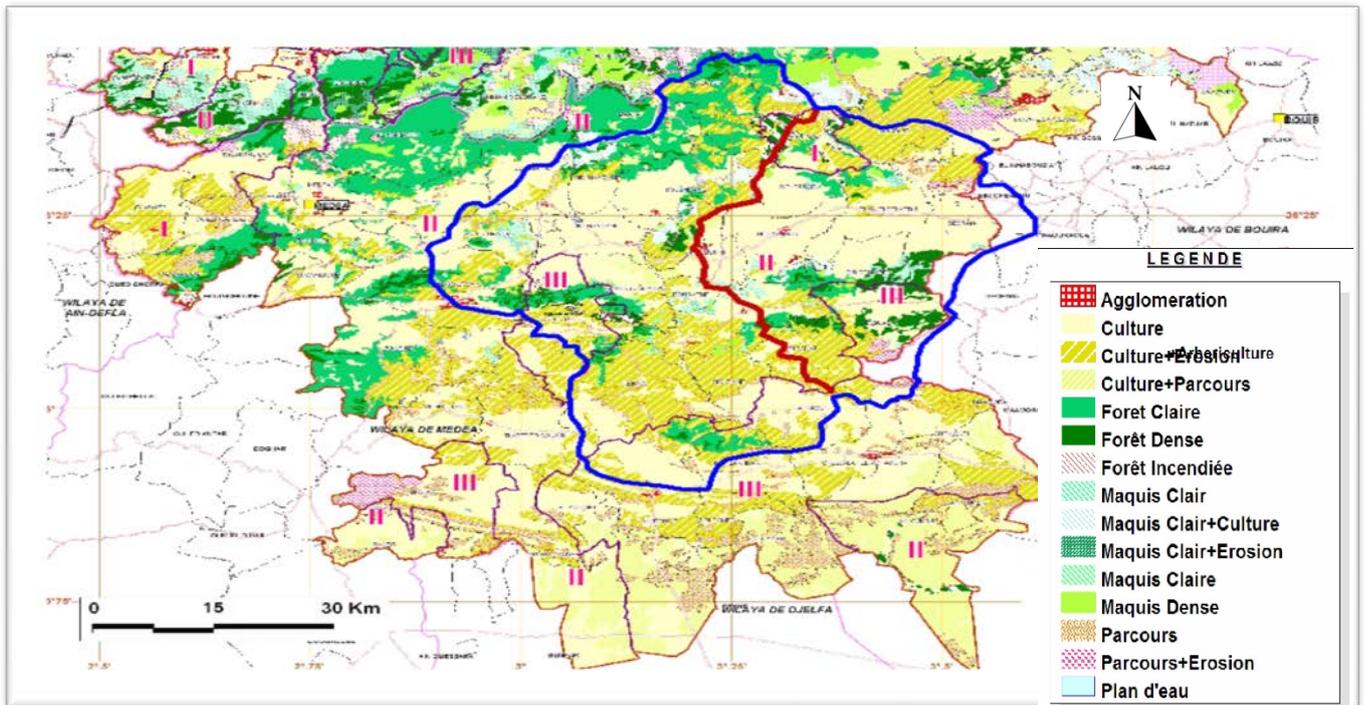


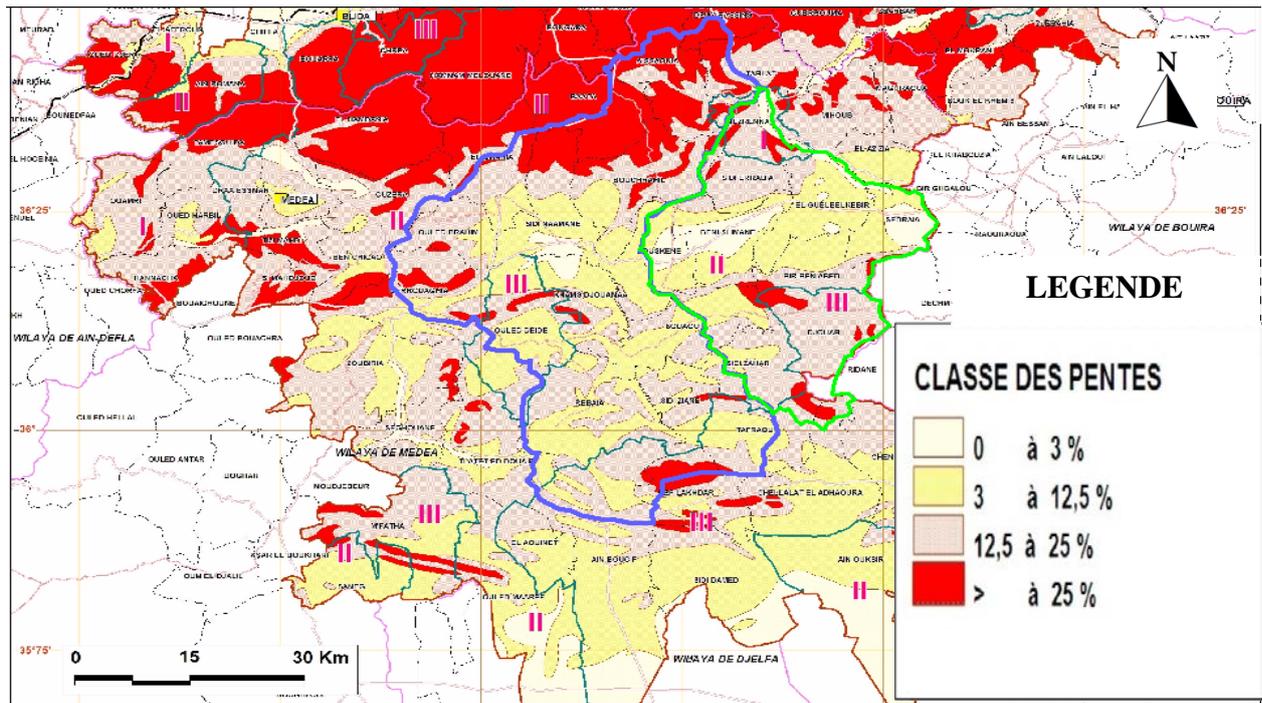
Figure II.12: Carte d'occupation du sol

### II.4.2 La pente

La carte des pentes de bassin montre des pentes entre 3% et 25% sur les montagnes jurassiques. L'érosion hydrique est la plupart du temps intensive dans les parties montagneuses Sud et Nord sur le bassin d'oued EL Melah.

La topographie exerce une influence directe sur la répartition spatiale de la pluie. Cette influence s'exerce également sur les modalités du ruissellement, l'infiltration, le mouvement de la nappe phréatique et la stagnation de l'eau en surface (Pouquet J. 1967).

La conjugaison des facteurs morphométriques : forme, altitude, pente et relief intervient dans les modalités de l'écoulement (Banling H., 1959) disait que la morphométrie peut rendre des services appréciables à condition qu'elle propose des problèmes simples et bien définis.

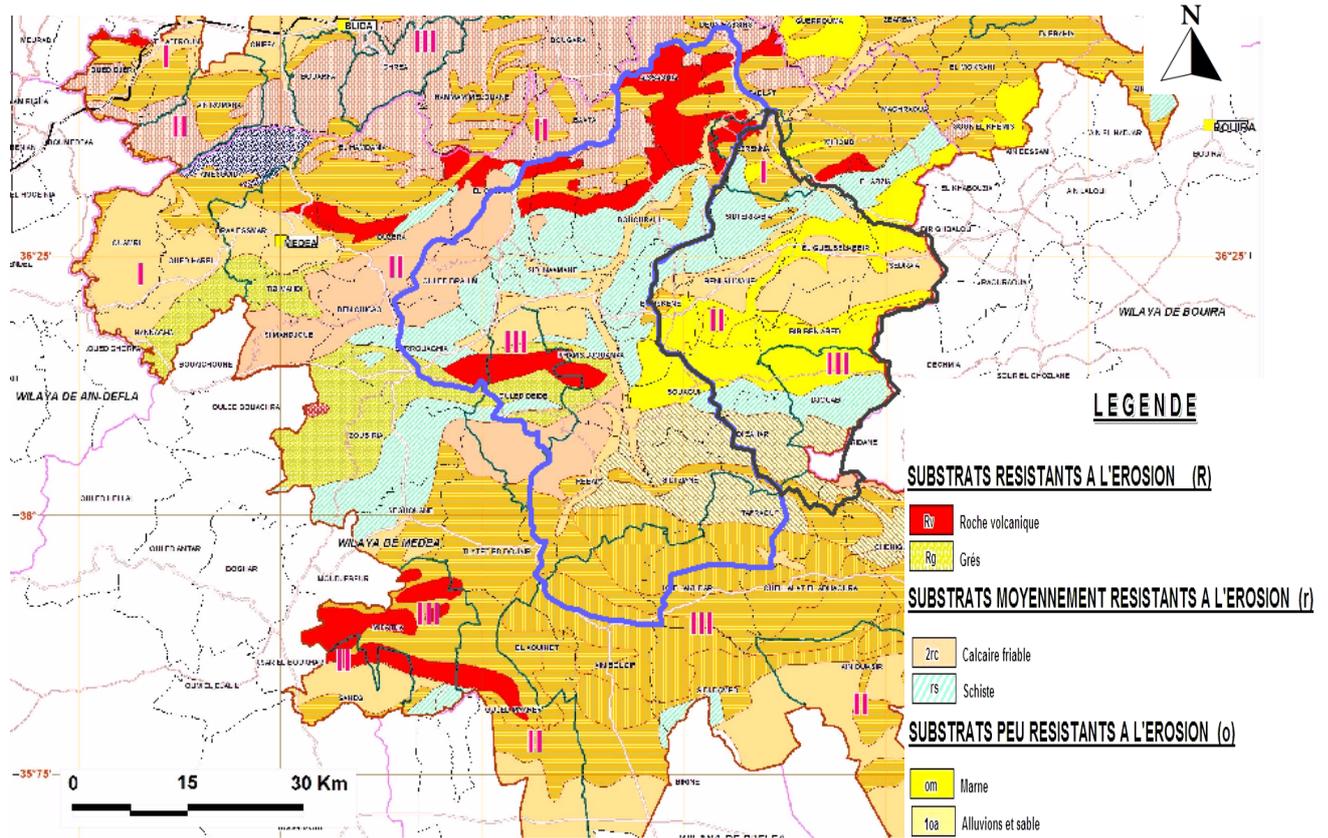


**Figure II.13 : Carte des pentes du bassin versant de l'oued El Maleh**

D'après la Figure II.13 on constate que les pentes qui sont supérieures à 12.5 % occupent dans le bassin versant une grande place 56.8% Elle est située surtout à sud et nord du bassin versant, tandis que les pentes inférieures à 12.5 % occupent 10.8% le reste du bassin. Le pourcentage des terres sur les pentes de 0% à 3% est qui correspondant notamment aux plaines de BENI SLIMANE et précisément à centre de oued. . Ce résultat montre que le centre du bassin joue le rôle d'un bassin de décantation Ce qui diminue la vitesse de ruissellement

### II .4.3 Lithologie de bassin oued El Maleh

La nature de la roche joue un double rôle : Son influence se fait sentir, d'une part, sur le régime du cours d'eau, et, d'autre part, sur l'érosion et le transport solide. La lithologie de bassin oued El Maleh Ouest présente peu de variétés cinq principales formations à savoir : 12,1 % de croûte calcaire, 14,6% les roches volcaniques, 20,5% les schistes, 16,4% les calcaires et 26,6% de grès n (Fig. II.14).. par contre le bassin de oued El Maleh Est on constate que le sous bassin versant est constitué d'une faible occupation de grès 5.7%, Une grande proportion de marne 45.1 % . La formation de calcaire friable et schiste et l'existence d'une zone importante 42.61 % de surface totale, les résultats présentés qui il y a une surface favorisant le phénomène d'érosion



**Figure II.14: Carte lithologique du bassin versant El Maleh.**

### II.5. Evaluation des apports solides et liquide au niveau des deux stations.

Pour mieux comprendre l'importance et l'état du transport solide en suspension dans la région d'étude, on opte pour l'estimation des apports liquides et solides et étudier leurs évolutions temporelles. Afin d'évaluer les valeurs des apports liquides et solides au niveau des deux sous bassins, nous exploitons les données des mesures instantanées au niveau des deux stations hydrométriques « BENI SLIMANE » et « MEZAHIM » qui contrôlent les débits liquides (QI) et les concentrations en sédiments en suspension (C) véhiculés respectivement par les deux cours d'eau Oued Maleh Est et Oued El Maleh ouest., Les caractéristiques des deux stations et l'étendue des séries de mesure sont données au tableau suivant:

**Tableau II.7 : Caractéristiques des deux stations hydrométriques**

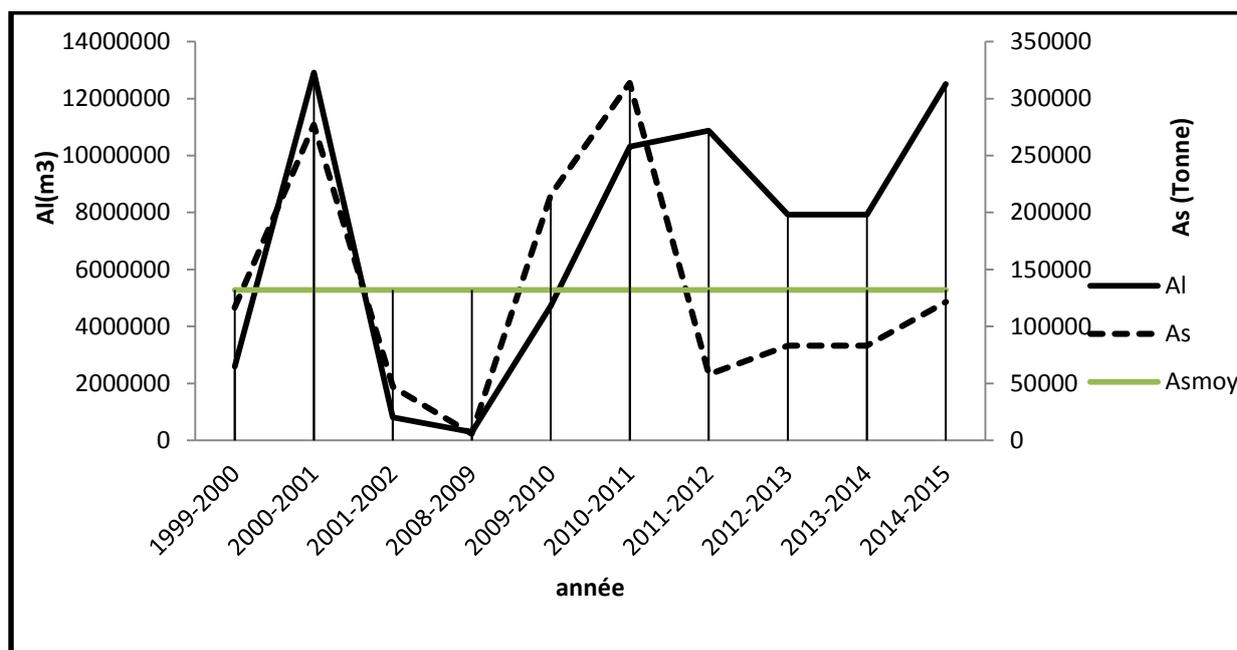
Nom de la station	Code	Coordonnées Lambert			Période de la série de donnée
		X	Y	Z	
BENI SLIMANE a1	090305	322. 250	557. 550	665.0	1999-2000 à 2015
Mezahim a2	090101	322. 650	539 .700	380.0	1985-1986 à 2012

### II.5.1 Les stations de Mezahim et BENI SLIMANE

Nous avons deux stations hydrométriques sur le bassin versant de oued el maleh pour contrôler L'apport liquide et solide au niveau de station Mezahim Pour période de 85-86 à 2011 est estimé à moyenne 284.65 millions de m<sup>3</sup> débit liquide et 9.3 millions tonnes débit solide Et pour la station de BENI SLIMANE avec un période allant de 1999-2000 à 2015 estimé un apport liquide 67.8 millions de m<sup>3</sup> et solide moyen de 1.3 millions de tonnes .

### II.5.2. station de BENI SLIMANE

#### II.5.2.1 Variation annuelle des apports liquides et solide BENI SLIMANE

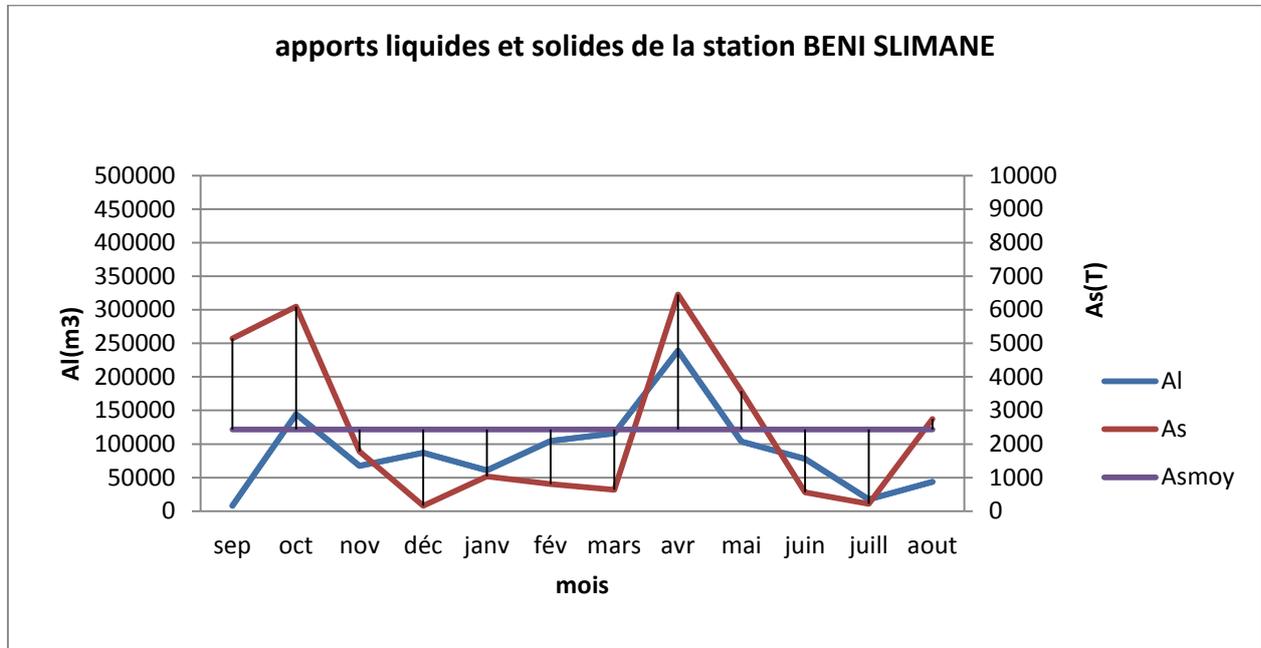


**Figure II.15 : Variation interannuelle des apports liquides et solides de st BENI SLIMANE(1985-1986 à 2012)**

Figure .II.15 permet de constater que la variation inter annuelle des apports solides ne se fait pas parallèlement à celle des apports liquides. L'année hydrologique 2000-2001 se distingue par le plus grand apport liquide de 12.9 millions de m<sup>3</sup> qui engendre 0.27 millions de tonnes de sédiments en suspension, une valeur qui est faible apport solide et grand apport liquide à celle estimé pour l'année 2014-15 véhiculée par un apport liquide de 12.53 millions m<sup>3</sup> et 0.12 million tonne apport solide . Ces deux années hydrologiques quoique leurs apports liquides ne sont pas importants enregistrent la dégradation spécifique la plus élevée est 120.41 tonne/km<sup>2</sup>/an), hydrologique. Le plus faible apport liquide est enregistré pendant l'année 2008-09 avec 1.56 millions de m<sup>3</sup> apport liquide et un apport solide de 0.0057 millions de tonnes tandis que le plus faible apport solide correspond même année.

### II.5.2.2 Variation mensuelle des apports liquides et solides de la station BENI SLIMANE

Par voie de conséquence, La variation mensuelle des apports liquides et solides révèle profondément la nature géologique de la couche superficielle du bassin versant d'une part et confirme le rôle primordial du couvert végétal. Par voie de conséquence,



**Figure II.16 : Variation mensuelle des apports liquides et solides de la station BENI SLIMANE(1999-2015)**

Les valeurs mensuelles montrent que les dégradations spécifiques les plus élevées sont relevées au mois de l'octobre, septembre et avril par les fortes averses après une saison sèche de faible lame d'eau précipitée et de faible apport liquide (Juillet, Août et septembre). L'analyse du graphique (figure. II.16) fait apparaître que le mois de l'octobre (début de l'automne) se caractérise par un fort apport liquide et solide dépassant la moyenne, les mois de Septembre, Octobre, avril et août sont caractérisés par un fort apport solide supérieur à la moyenne et un faible apport liquide, les autres mois se distinguent d'un grand apport liquide dépassant sa moyenne. Les mois restants se caractérisent d'un faible apport liquide et solide.

On constate que le plus fort apport solide en suspension qui est le résultat des sédiments préparés pendant un été sec qui vont être arrachés et véhiculés par les premières pluies de l'année.

### II.5.2.3 Variation saisonnière des apports liquides et solides (BENI SLIMANE)

La distinction mensuelle se propage sur la variation saisonnière des apports liquide et solide. La figure II.17 illustre la contribution en pourcentage de chaque saison en apport liquide et solide. Près de 22.15% des apports liquides sont apportés au niveau de saison l'hiver et 7.62% des apports solides mais pour le printemps 28.05% des apports liquides et 34.32% des apports solides. Tandis que l'automne avec 24.23% d'apport liquide engendre 49.82% apport solide presque la moitié des apports solides totaux apportés durant la période d'étude. Cette forte contribution sur l'apport solide en suspension s'explique par l'intensité des pluies tombantes sur un sol sec et mal protégé (Roose, 1991 ; Bouanani, 2004). Quant à l'été, par un apport liquide de 15.56%, il apporte près de 8.24% de l'apport solide,

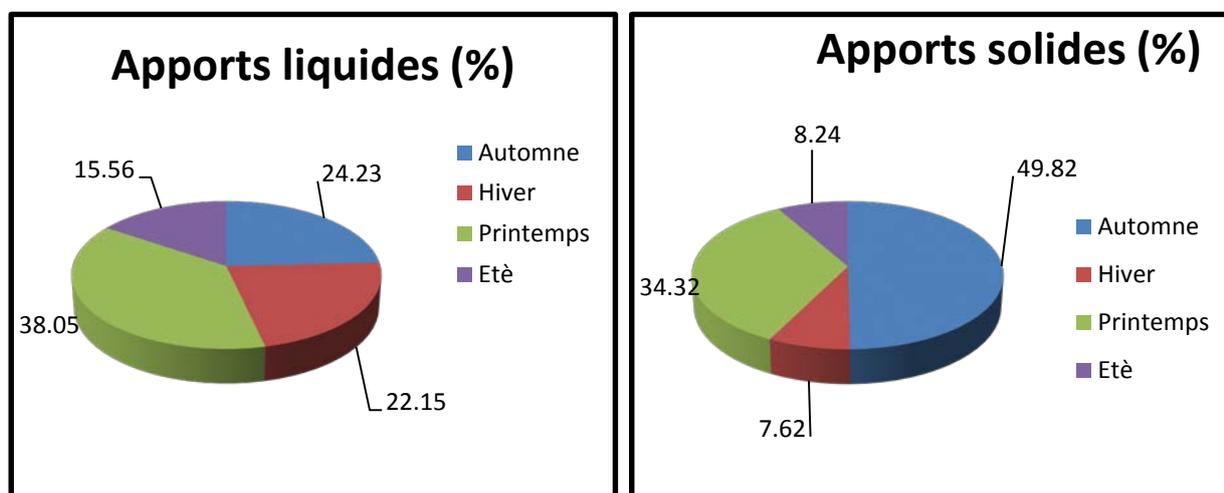
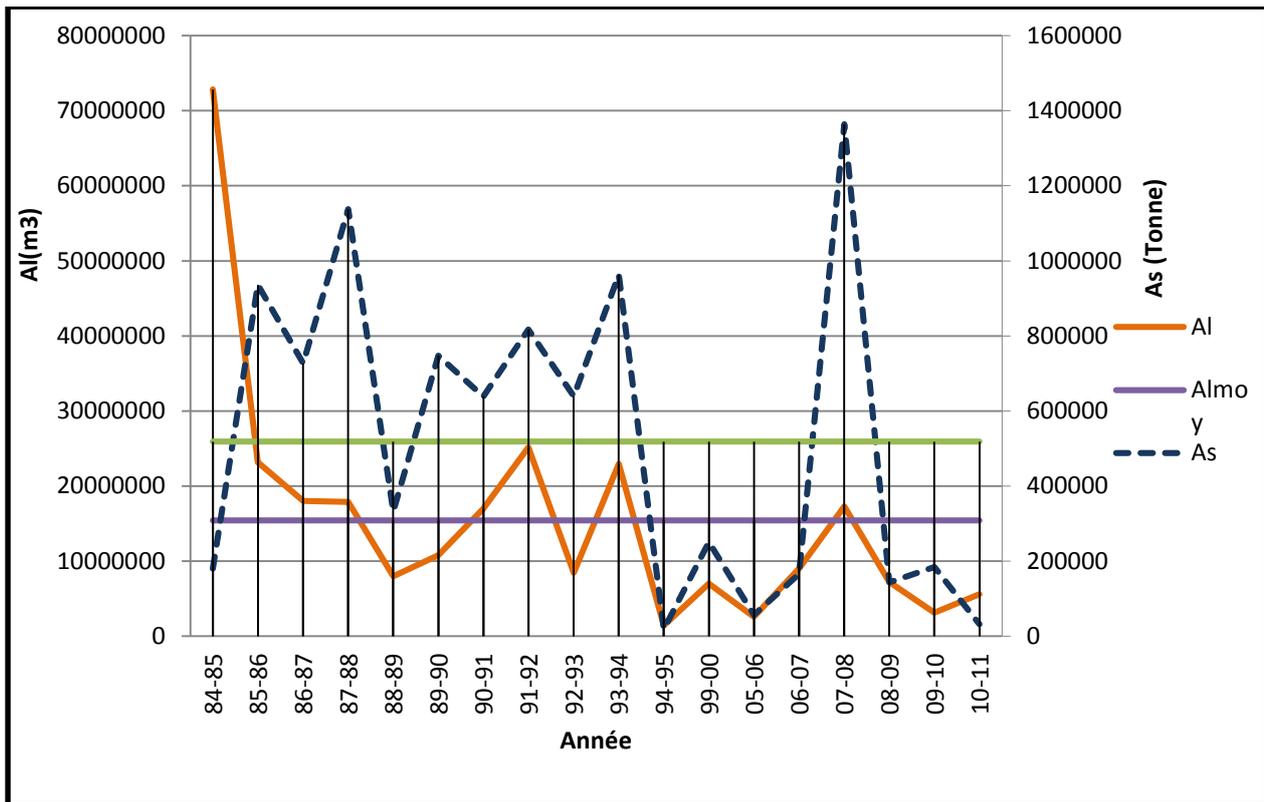


Figure II.17 :Part en pourcentage des apports liquides et solides saisonnière au niveau du Oued El Maleh Est

### II.5.3 stations de Mezahim

#### II.5.3.1 Variation interannuelle des apports liquides et solides (st mezahim)

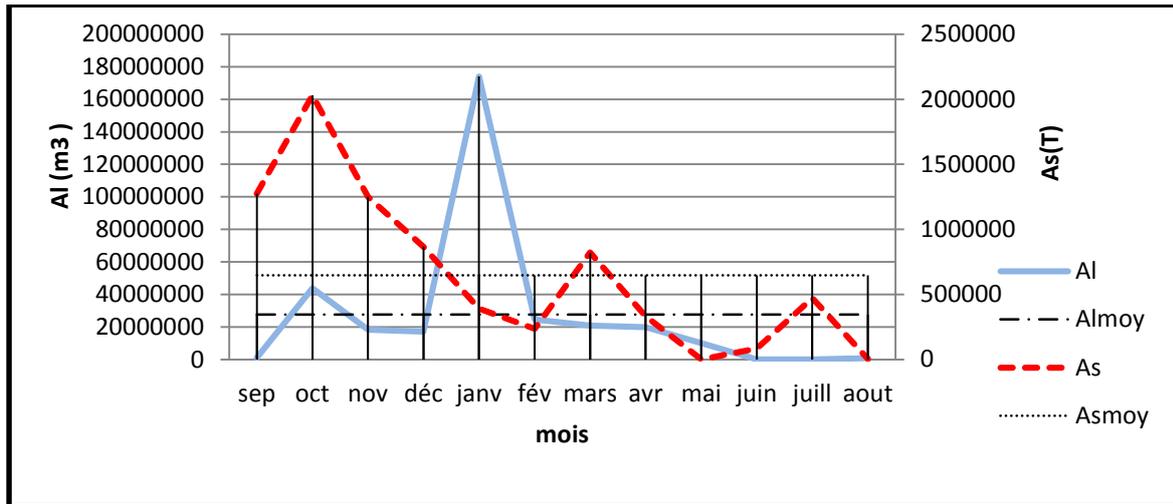
La figure II.18 ci-dessous reflète la grande variabilité inter annuelle des apports liquide et solide et leurs évolutions se fait d'une façon presque synchrone. L'année la plus productive en apport liquide est celle de 1984-85 avec 70.4 millions de m<sup>3</sup> (2.3% d'apport liquide global) et L'année 2007-08 engendrant le plus grand apport solide de 0.136 millions de tonnes (14.61% d'apport solide globale). La dégradation spécifique en cette année est de 2066.72 t/km<sup>2</sup>/an. tandis que l'année 1994-95 se caractérise par le plus faible apport liquide aussi le plus faible apport solide.



**Figure II.18 :Variation inter annuelle des apports liquides et solides au niveau du station mezahim.(1985-2012)**

### II.5.3.2 Variation mensuelle des apports liquides et solides (mezahim)

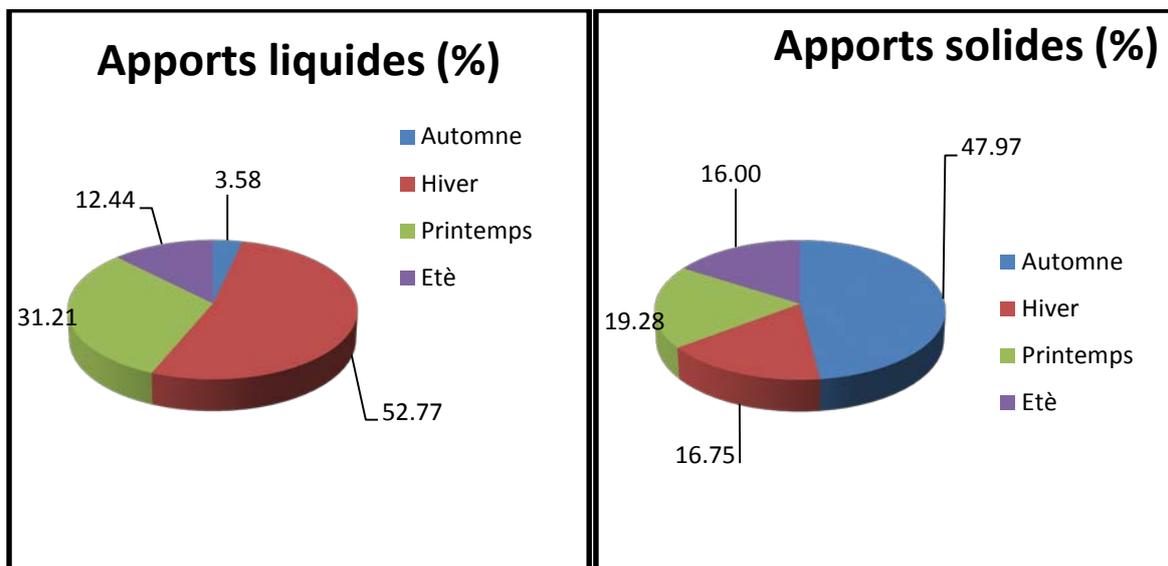
Figure II.19 prouve que La variation mensuelle de bassin versant Oued El maleh Ouest indique une décroissance des apports liquides depuis le mois de Mai jusqu'au mois Septembre avec un minimum de dégradation spécifique en mois de Mai. Les mois de Septembre, Octobre et Novembre ont des apports solides supérieurs à la moyenne du fait que les premières eaux de l'année jouent un rôle de lessivage des stocks de sédiments préparés. Le mois de janvier est caractérisé par son fort apport liquide est le mois de octobre de grand apport solide. Le plus grand apport liquide trouvé le mois de Janvier 17 million m<sup>3</sup> par contre la plus grande valeur d'apport solide est enregistrée le mois d'Octobre à 2 million de m<sup>3</sup>



**Figure II.19 :Variation mensuelle des apports liquides et solides au niveau du station mezahim(1985-2012)**

**II 5.3.3 Variation saisonnière des apports liquides et solides**

L'analyse de la (figure II.20) montre l'importance de l'apport liquide au hiver qui dépasse celui apporté pendant les trois autres saisons, alors que son apport solide quoiqu'il soit important reste inférieur à celui apporté en automne une saison qui se caractérise par l'agressivité des pluies malgré insignifiant du faible apport liquide 3.58% puisque la couvert végétal de la saison qui la précède (été) qui favorise la destruction les agrégats du sol. Tandis que l'hiver malgré qu'il engendre un apport liquide plus important que l'automne lui aussi n'intervient que par 16.75 % sur l'apport solide puisqu'il succède une saison de forte érosion. L'apport solide en été est du faible apport liquide et la rareté des crues en cette saison durant la période d'étude.



**Figure II.20 : Part saisonnière en pourcentage des apports liquides et solides au niveau St Mezahim**

### **Conclusion**

En définitif les calculs et l'estimation des apports liquides et solides au niveau des deux stations Beni Slimane et Mezahim ont montrés que la saison qui favorise l'érosion c'est l'automne.

Les grands stocks des sédiments pendant la période d'été, sont facilement transportés par les premières pluies d'automne.

Le pourcentage des apports solides représente 47,97% par rapport au volume total.

(voir figure II.20)

### **Introduction :**

Dans ce chapitre en va faire une étude pour atteindre à une relation qui relie deux paramètres la concentration et débit. Cette relation définit la variation de la concentration en fonction du débit liquide par une fonction mathématique :  $C=aQ^b$

### **III.1 Collecte et mise en forme des données**

La collecte et mise en forme des données est la phase la plus délicate et la plus difficile en hydrologie. Surtout la période de décennie noire.

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

Les deux stations de station BENI SLIMANE et Mezahim disposent d'une longue série de mesure hauteur d'eau – débit liquide (1999 jusqu'à 2015 pour la station de BENI SLIMANE, et 1985 jusqu'à 2016 pour la Station Mezahime (ANRH .Blida).

Des prélèvements quotidiens des hauteurs d'eau et concentration, dont la fréquence augmente surtout en période de crue.

### **III.2 Dépouillement des données**

A la station de BENI SLIMANE et Mezahim, nous disposons une série de mesure, environ 650 valeurs de débits instantanés  $Q_s$  pour la station de BENI SLIMANE et pour la station de Mezahime on a de 1147 valeurs.

La série en question a été mise sous forme d'un fichier  $T_s$ (transport solide) de base.

Les données obtenues ont été classées donc par l'heure et la hauteur en cm.

Cette banque de données a été sélectionnée pour la recherche d'un modèle mathématique Et déterminer une relation entre la concentration débit  $C=f(Q_l)$ .

La relation  $Q_s=C.Q_l$  nous a permis d'obtenir le débit solide en kg/s pour chaque hauteur sur la base des matières en suspension.

Nous disposons donc d'un fichier global comprenant la date, l'heure, la hauteur d'eau en cm, le débit liquide instantané en m<sup>3</sup>/s, la concentration en matière en suspension en g/l et le débit solide instantané en kg/s de tous les prélèvements effectués.

### III.2.1 Classification des données :

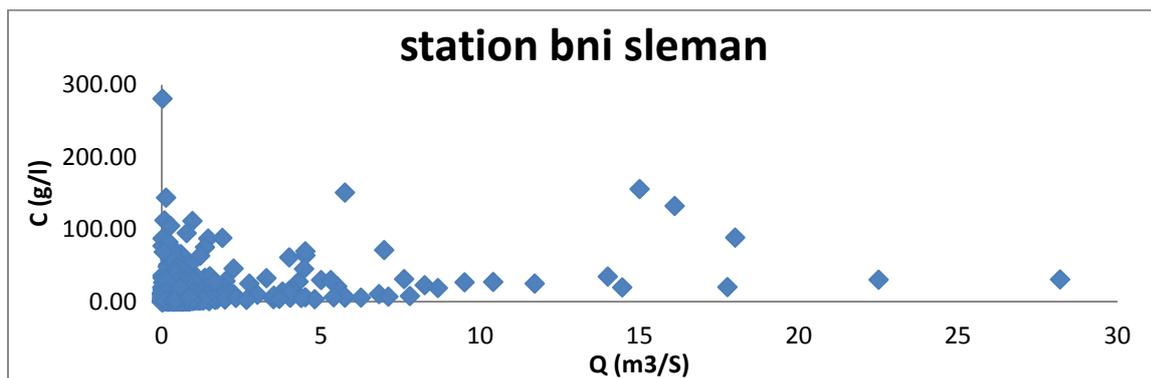
Nous avons dans notre fichier de base pour les deux stations, de 1223 couples de valeurs instantanés de concentration et de débit liquide observées d'une période de 18 ans pour la Station mezahim et de 650 observées d'une période de 10 ans pour la station de BENI SLIMANE. Chaque année hydrologique a été marquée par ces évènements exceptionnels (crues) ou par l'absence de prélèvement pour certaines périodes pour des raisons bien différentes.

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

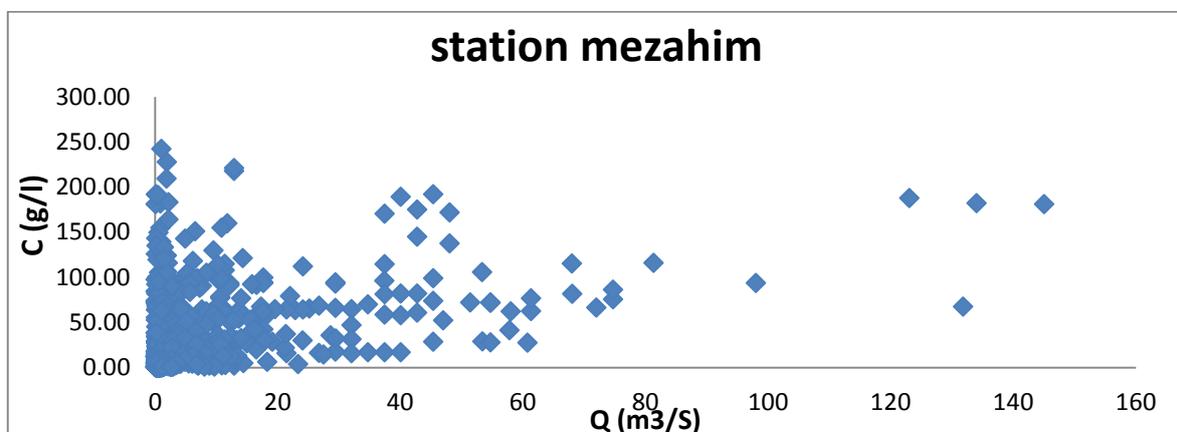
Les périodes ou les prélèvements n'ont été pas effectués peuvent avoir un effet direct sur le résultat final du traitement.

### III.2.2- Répartition de la totalité des données :

La visualisation de l'ensemble des données observées, dans un diagramme concentration et débit liquide permet d'identifier l'allure du graphe.



**Figure III.1: Répartition Concentration- débit liquide : totalité des données de 1999-2015 à la station de BENI SLIMANE.**



**Figure III.2: Répartition Concentration – débit liquide : totalité des données de 1985-2016 à la station de mezahim.**

**III.2.3 Sélection du modèle**

La corrélation entre les deux paramètres (C et QI) durant les crues est étudiée des relations linéaire, logarithmique, Polynomiale, puissance et exponentielle (t’as pas faits ça). Généralement, les meilleurs résultats sont obtenus par une équation de type:  $C=a.QI^b$ .

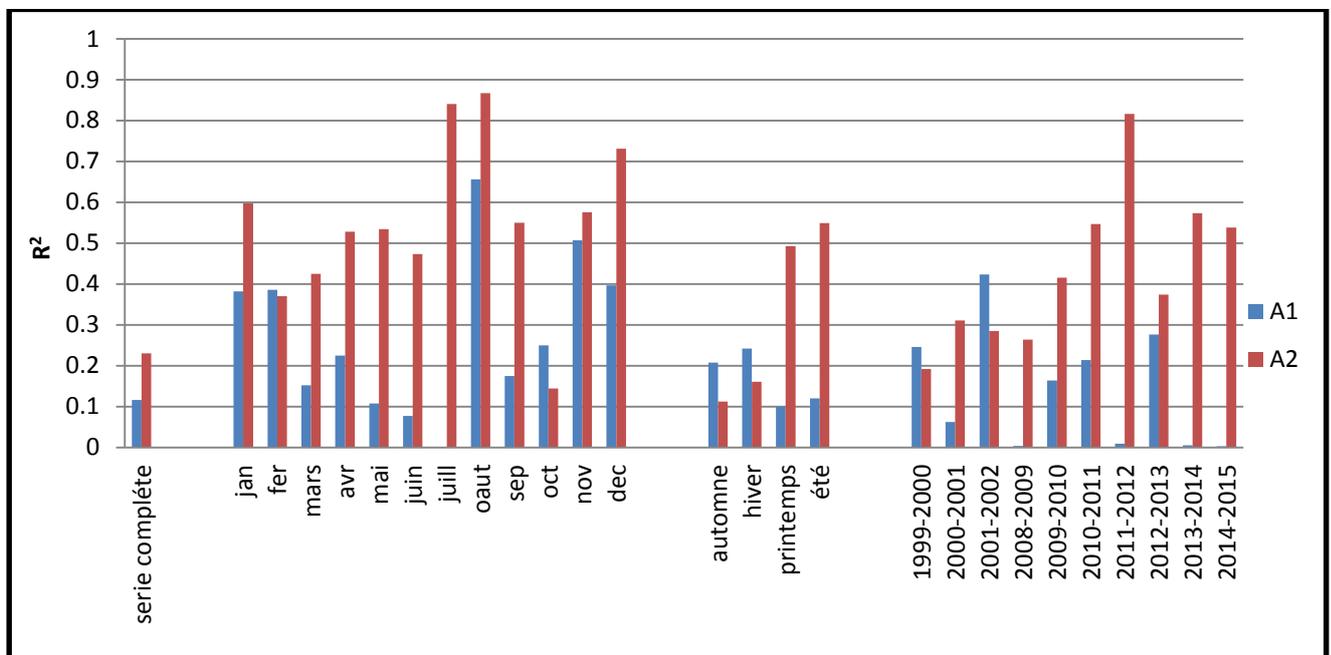
Avec : a et b: coefficients empiriques.

. L’analyse des valeurs des coefficients de détermination obtenues suite à chaque régression au niveau de tous les regroupements effectués nous a permis de maintenir la faisabilité de modèle pour les deux stations on a utiliser les modèles suivants:

- Modèle en puissance linéaire (modèle a1);
- Modèle en puissance non linéaire (modèle a2) ;

Les modèles sont considérés selon plusieurs travaux comme les meilleurs modèles exprimant la relation entre le débit liquide d'un cours d'eau et la concentration des sédiments en suspension.

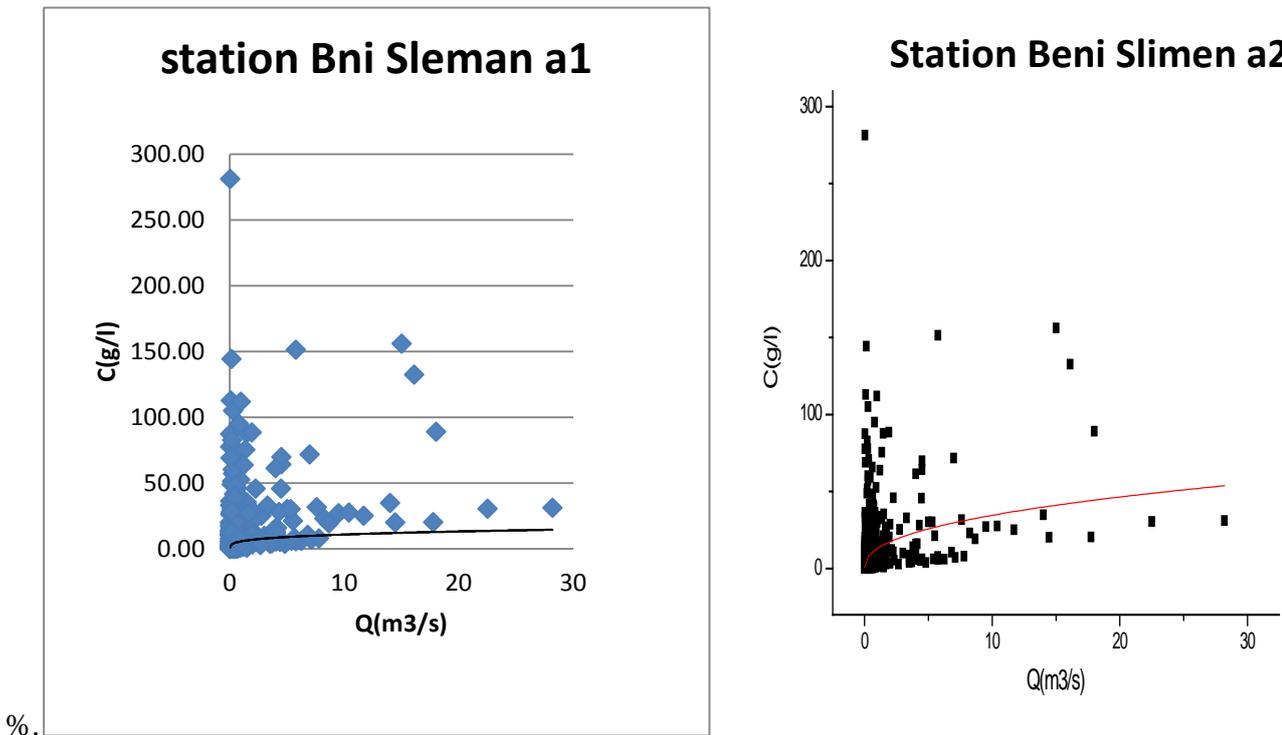
La variation des valeurs des coefficients de détermination de chaque modèle au niveau de chaque regroupement est représentée dans la figure. III.3 pour la station de BENI SLIMANE et dans la figure. III.4 pour le cas de la station de Mezahim



**Figure. III.3. Variation des coefficients de détermination au niveau de la station de BENI SLIMANE**

Les coefficients de détermination sont très variables d'un modèle à un autre et d'un Regroupement à un autre. La plus grande valeur pour cette station est de 0.86 au niveau de mois aout obtenue par le modèle A2. sur les années (2011-2012 . 2008-2009) et le regroupement des années( 2014-2015.2013-2014) donne des coefficients  $R^2$  très faible sur A1 est En raison de la dispersion des valeurs

Le tableau III.1 regroupe les valeurs des paramètres a et b des équations des modèles retenus et le nombre de données N pour chaque regroupement au niveau de la station de BENI SLIMANE et la figure III.4. Représenter la déférence entre les modèles de puissance linéaire et non linéaire



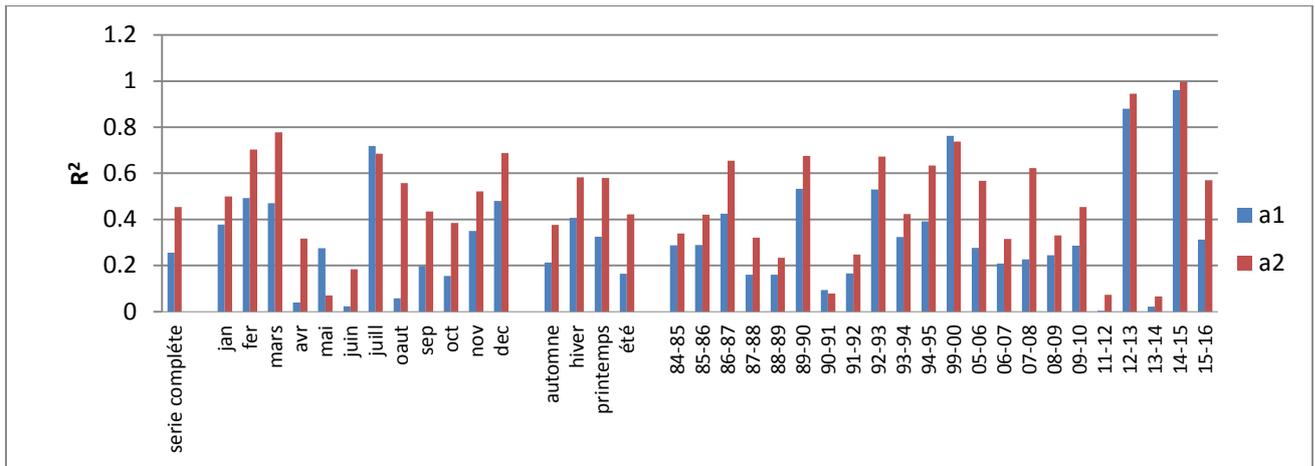
**Figure III.4. Représentation des modèles a1 et a2 appliques pour la totalité de concentration des données de station Beni Slimen**

En suit on a voire les valeurs des paramètres a et b par défirent regroupements sur tableau III. Pour déterminer les paramètres a et b doit être utiliser les deux logiciels originpro8.0 et Excel Puisque que l'équation de puissance non linéaire n'existe pas don l'Excel .

**Tableau III.1 : Les paramètres de équation  $aQ^b$  (a et b) à différentes échelles à la station de BENI SLIMANE**

		a1		a2	
	N	a1	b1	a2	b2
série complète	650	25,95	0,398	42,72	0,212
jan	130	7,613	0,425	12,25	0,344
fer	115	4,48	0,522	6,42	0,383
mars	56	2,984	0,739	4,12	0,535
avr	68	5,45	0,628	11,11	0,532
mai	25	8,421	0,334	13,88	0,731
juin	2	4,293	0,324	10,88	0,342
juill	3	6,944	-16,224	1,40E-14	16,22
oaut	39	31,21	0,615	35,13	0,411
sep	39	34,08	0,368	58,76	0,39
oct	23	52,62	0,429	52,78	0,094
nov	28	16,4	0,59	24,29	0,383
dec	50	8,519	0,447	11,4	0,351
automne	96	25,95	0,398	42,72	0,12
hiver	334	6,81	0,343	12,38	0,248
printemps	240	4,47	0,391	8,39	0,72
été	29	5,96	0,449	17,12	0,473
1999-2000	72	18,5	0,268	26,93	0,091
2000-2001	124	12,28	0,388	41,23	0,319
2001-2002	10	46,93	1,861	11,47	0,315
2008-2009	8	12,65	0,06	23,77	0,195
2009-2010	58	17,34	0,459	47,57	0,327
2010-2011	133	5,5	0,343	22,45	0,655
2011-2012	95	3,1	0,117	8,99	1
2012-2013	45	6,08	0,388	3,88	0,883
2013-2014	46	9,4	0,027	8,6	0,639
2014-2015	48	5,97	0,033	12,27	0,042

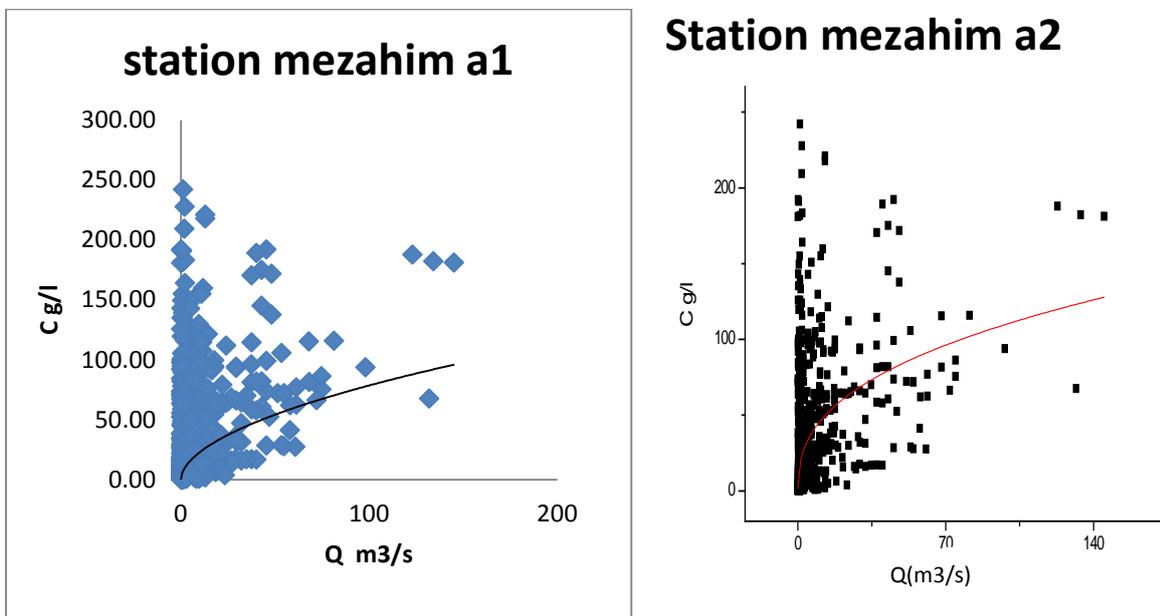
De même pour la deuxième station la variation des valeurs des coefficients de détermination est illustrée dans la figure. III.3. Le modèle a2 donne la plus grande valeur qui est de 0.991 au niveau de l'année 2014-15.



**Figure. III.5. Variation des coefficients de détermination au niveau de la station de Mezahim**

On constate, qu'il y a une mauvaise corrélation entre la concentration et le débit liquide. Ces corrélations ne sont pas respectées et ainsi la mesure de la concentration n'est pas fiable c'est-à-dire n'est plus représentatif. Cela signifierait que la mesure des deux paramètres en période de basses eaux est difficile dans ce bassin,

Les paramètres des équations de régression des deux modèles retenus ainsi que le nombre d'échantillonnage N au niveau de la station de Mezahim sont résumés au tableau III.2.



**Figure.III.6.Représentation des modèles a1 et a2 appliques pour la totalité de concentration des données de station mezahim**

**Tableau III.2 : Les paramètres de équation aQ<sup>b</sup> (a et b) à différentes échelles temporelles à la station Mezahim**

Modèle	N	a1		a2	
		a	b	a	b
<b>serie complète</b>	1223	7,15	0,515	19,93	0,35
<b>sep</b>	78	23,92	0,388	47,27	0,199
<b>oct</b>	175	21,25	0,391	42,27	0,279
<b>nov</b>	96	17,57	0,543	32,29	0,448
<b>dec</b>	95	6,94	0,677	15,8	0,372
<b>jan</b>	125	3,89	0,583	8,991	0,3887
<b>fer</b>	128	3,46	0,863	4,93	0,827
<b>mars</b>	196	3,96	0,673	8,99	0,388
<b>avr</b>	218	2,99	0,24	5,8	0,726
<b>mai</b>	59	4,8	0,143	10,22	0,061
<b>juin</b>	24	38,66	0,138	82,85	0,1458
<b>juill</b>	25	13,55	0,521	38,06	0,2799
<b>oaut</b>	4	16,07	0,87	58,33	0,455
<b>automne</b>	295	19,01	0,416	41,66	0,213
<b>hiver</b>	394	4,14	0,644	10,22	0,394
<b>printemps</b>	479	5,05	0,523	10,47	0,481
<b>été</b>	55	33,92	0,279	72,02	0,129
<b>84-85</b>	83	5,57	1,04	19,1	0,536
<b>85-86</b>	160	4,6	0,62	19,103	0,377
<b>86-87</b>	131	3,81	1,202	10,553	0,773
<b>87-88</b>	13	13,4	0,52	33,64	0,299
<b>88-89</b>	98	22,23	0,317	42,19	0,128
<b>89-90</b>	120	8,04	0,633	22,54	0,369
<b>90-91</b>	79	11,12	0,283	23,84	0,101
<b>91-92</b>	146	7,63	0,29	19,33	0,191
<b>92-93</b>	22	12,35	0,873	29,54	0,404
<b>93-94</b>	43	11,94	0,445	36,54	0,184
<b>94-95</b>	23	7,65	0,854	10,12	0,331
<b>99-00</b>	29	2,99	0,838	10,01	0,425
<b>05-06</b>	8	7,46	0,434	4,1	0,773
<b>06-07</b>	103	9,47	0,316	14,93	0,198
<b>07-08</b>	41	11,91	0,513	28,47	0,53
<b>08-09</b>	85	4,66	0,817	15,89	0,781
<b>09-10</b>	22	12,9	0,801	31,6	0,472
<b>11-12</b>	17	4,23	0,028	4,448	0,033
<b>12-13</b>	035.	5.65	-0.56	6.36	-0.61
<b>13-14</b>	13	4.40	0.174	11.29	-0.083
<b>14-15</b>	6	0.003	5.59	3.88*10 <sup>-5</sup>	8.61
<b>15-16</b>	26	1.30	0.837	2.75	0.69

Les équations des modèles puissance linéaire et non linéaire permettent l'estimation des concentrations des matières en suspension à partir des valeurs des débits liquides instantanés et par suite, l'estimation des apports solides correspondants à ces concentrations estimées par les modèles : a1.et .a2

### III.3 Erreur d'estimation E (%)

Pour mesurer la fiabilité d'estimation de chaque modèle, on définit l'erreur commise par l'utilisation d'un modèle qui est donnée selon plusieurs chercheurs par l'expression suivante:

$$Erreur(\%) = \left( \frac{l \text{ apport solide estimé par le modèle}}{l'apport solide calculé par les données mesurées} - 1 \right) * 100 \dots \dots \dots (III.1)$$

Le signe (-) d'une erreur indique une sous estimation par rapport à l'apport solide mesuré, tandis que le signe (+) marque une surestimation. Les tableaux suivants récapitulent les résultats des apports solides en suspension mesurés et estimés en millions de tonnes par les différents modèles, ainsi que les erreurs relatives globales engendrées sur l'estimation de l'apport total au niveau de différents regroupements.

**Tableau III.3 : Apports mesurés, et estimés avec l'erreur globale engendrée par l'application des deux modèles au niveau de la station de Mezahim (St01).**

Echelle	As mesuré (10 <sup>6</sup> T)	(estimé par (modèle a1 )	(estimé par (modèle a2 )
Série complète Erreur (%)	9.1	-46,69	+1,316
Annuelle Erreur (%)	9.1	-19.41	+14.64
Mensuelle Erreur (%)	9.1	-18.9	-2.27
Saisonnaire Erreur (%)	9.1	-20.73	+13.79

**Tableau III.4 : Apports mesurés, et estimés avec l'erreurs globales engendrées par l'application des deux modèles au niveau de la station de BENI SLIMANE(St02).**

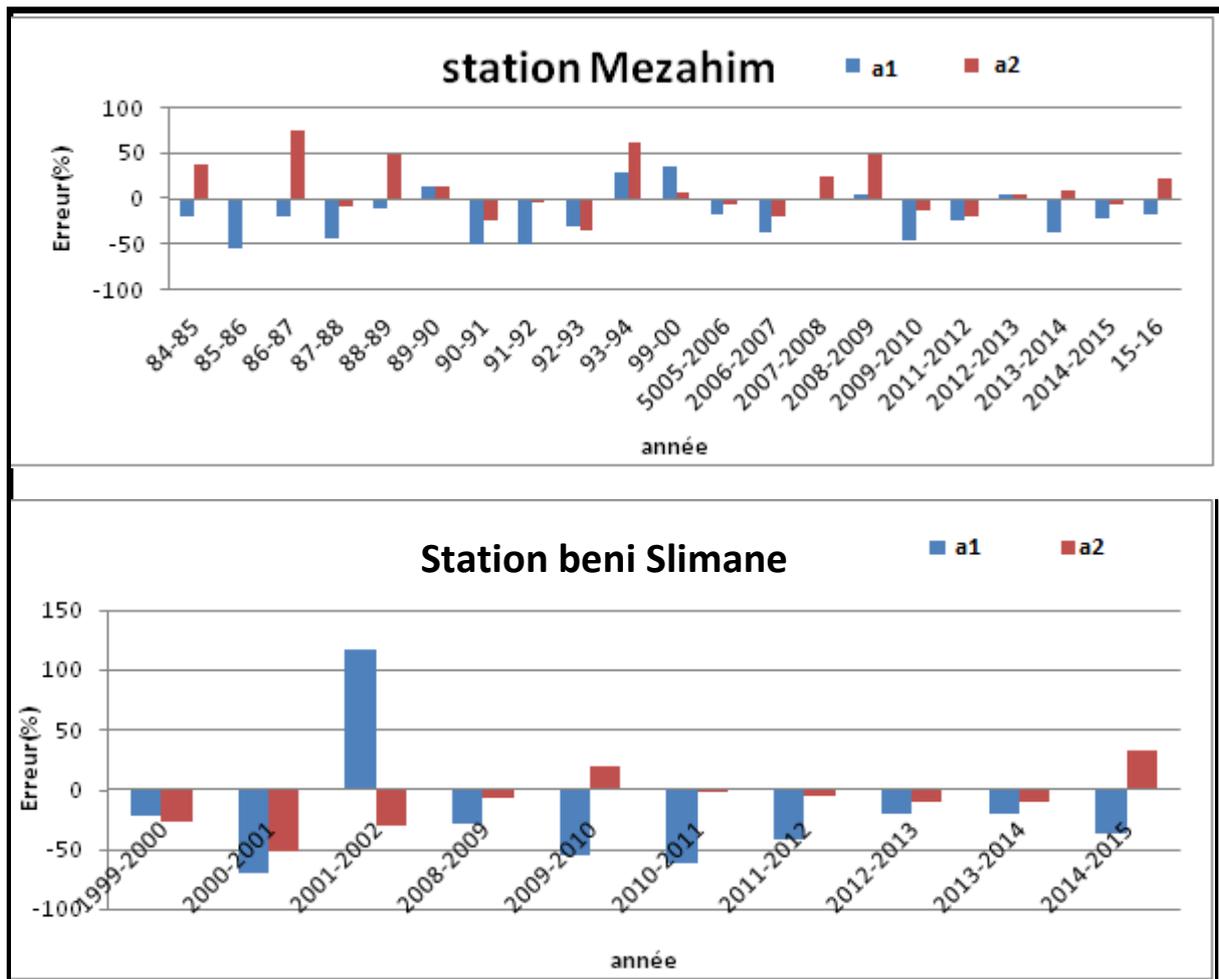
Echelle	As mesuré (10 <sup>6</sup> T)	As (estimé par (modèle a1 )	As (estimé par (modèle a2 )
Série complète Erreur (%)	1.3	-70,07	-39,49
Annuelle Erreur (%)	1.3	-41.43	+8.66
Mensuelle Erreur (%)	1.3	-17.6	+16.64
Saisonnaire Erreur (%)	1.3	-47.62	+22.8

**III.3.2 l'observation de résultats**

D'après les résultats des deux stations, les modèles : a1 et a2 engendrent un écartement entre l'apport solide en suspension calculé et celui estimé aux échelles annuelle, mensuelle et saisonnière ou lors de l'utilisation de la totalité des données. Mais Certaines valeurs sont, erreurs très faible comme la valeur de sérier complète pour St01 modèle a2 est donne +1,316

**III.3.2.1 A l'échelle annuelle:**

L'erreur partielle de chaque année pour la St01 relative au modèle a1 varie entre l'intervalle -19,41 à +14.64% avec une erreur moyenne de -19.19%, la meilleure estimation est de -0.15% à l'année 1985-86 pendant que le modèle a2 engendre des erreurs allant de 73.5 Mais Pour la St02 l'erreur a1 varie entre -78 à +20.85% et pour le modèle a2 varie de -70.3 à +116.8%, est les meilleures estimations par les deux modèles sont respectivement de 20.85 et -0.85% ainsi que les erreurs moyennes sont de -41.43% et de -8.66%.



**Figure. III.7. Variation des erreurs partielles au niveau des deux stations.**

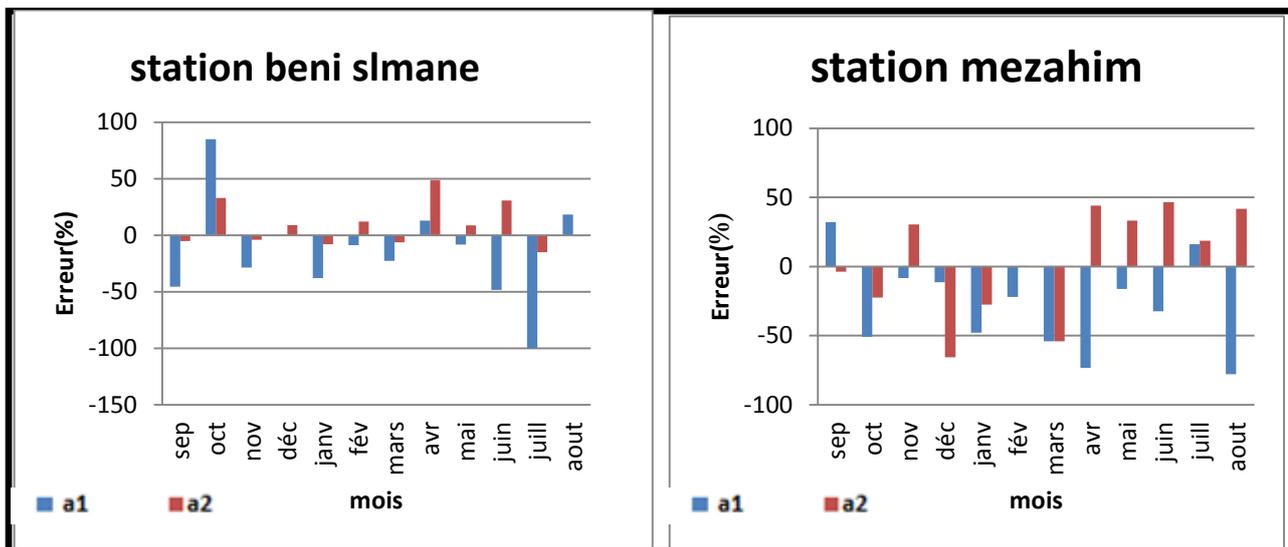
Echelle annuelle

**III.3.2 A l'échelle mensuelle:**

On a constaté pour St01 modèle a1 l'erreur de chaque mois varié entre -77.7 à +46.5%. Par contre l'erreur moyenne -18.9%, est la concernant l'erreur maximale est atteinte au mois d'août puisque il y a un écartement des valeurs ,

Mais la meilleure précision est relative au mois d'avril, pour modèle a2 avec un erreur de 0.5%. et un erreur moyenne de -2.27%.

Mais Pour la station 02, il donnée presque la même précision sur l'estimation de l'apport solide, que l'erreur du modèle a1 et a2 est de -17.6% et 16.64%, les erreurs de modèle a2 pour chaque mois varient de -14.8 à +30.5%, avec une moyenne de +4.5%. Le modèle a1 engendre une erreur moyenne de -21.7%, avec variation des erreurs partielles allant de -99.8 à +84.4%



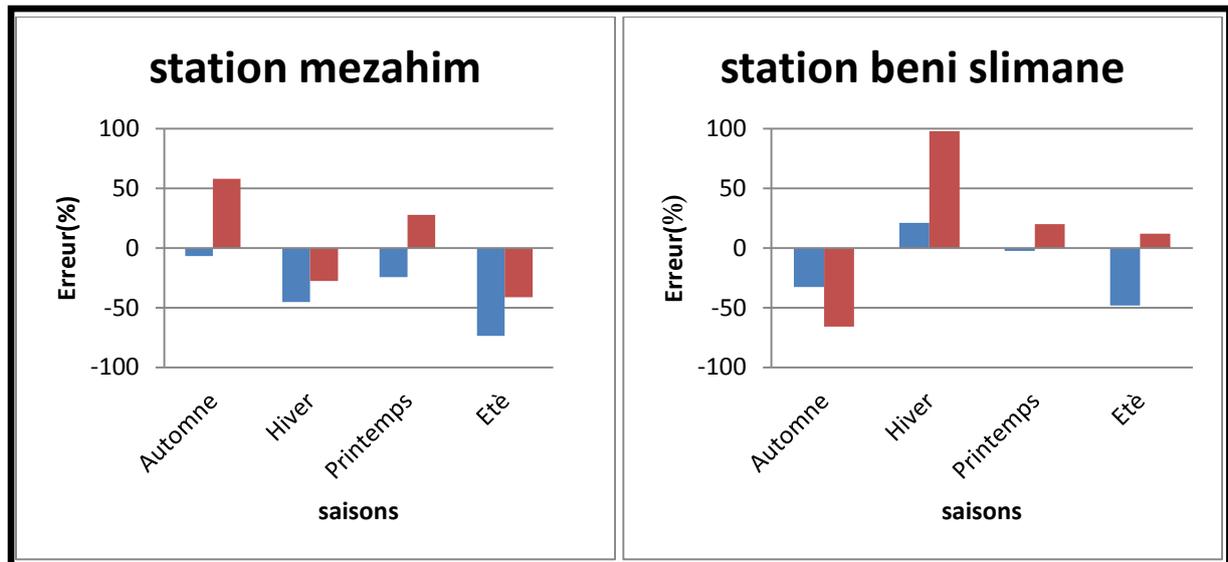
**Figure. III.8. Variation des erreurs partielles au niveau des deux stations.**

**Echelle mensuelle**

**III.3.3 A l'échelle saisonnière:**

Les erreurs partielles pour chaque saison varient sur le cas du modèle a1 et St02 - 73.5% (en été) à -6.71% (en automne) et pour la St01 et de -2.36% (en printemps) à +48.09% (en été). Pour St01 modèle a2 l'erreur en hiver (98.8%), et l'erreur minimale est de -12.12% en été. pour L'erreur à la St02 et de 57.96% en automne, et atteint la valeur minimale en hiver (-27.44%).

L'application des modèles a1 et a2 sur les deux stations ne donne pas la même précision, Chaque bassin donne un résultat différent, mais la meilleure estimation de l'apport solide



**Figure. III.9. Variation des erreurs partielles au niveau des deux stations.**

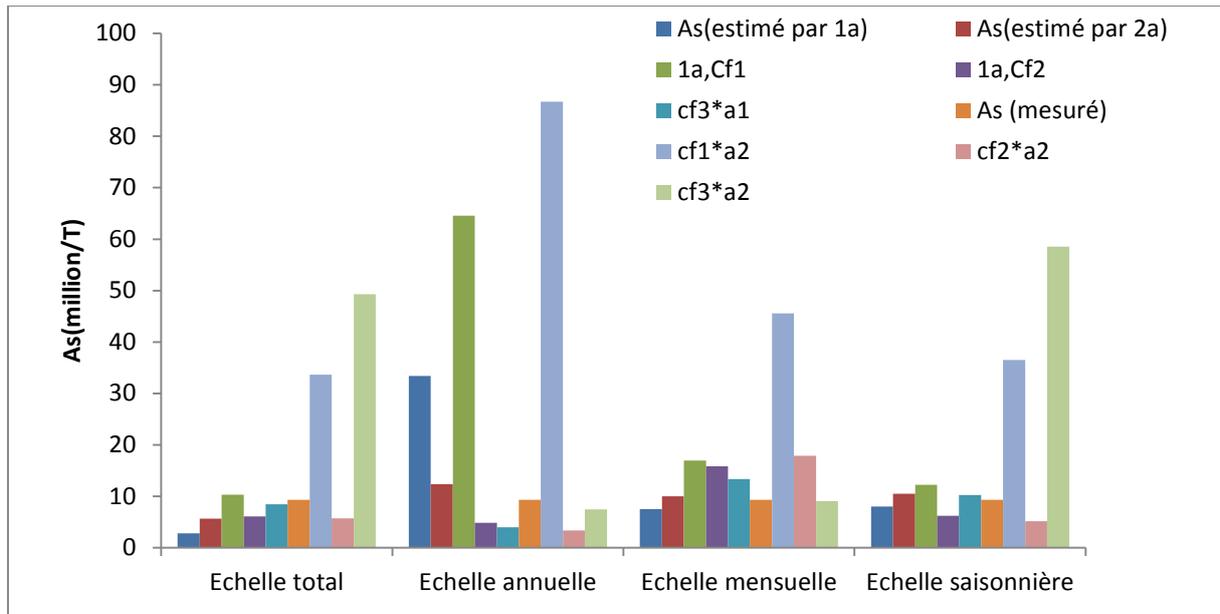
### Echelle saisonnière

Total en suspension présenté au niveau du bassin versant de l'Oued El Melah Ouest est obtenue par le modèle a2 avec une précision moyenne de 98.69%, et 97.73%, en plus la meilleure estimation au niveau du sous bassin de l'Oued El Maleh Est, est donnée par modèle a2 à l'échelle annuelle avec une précision 91.44 %

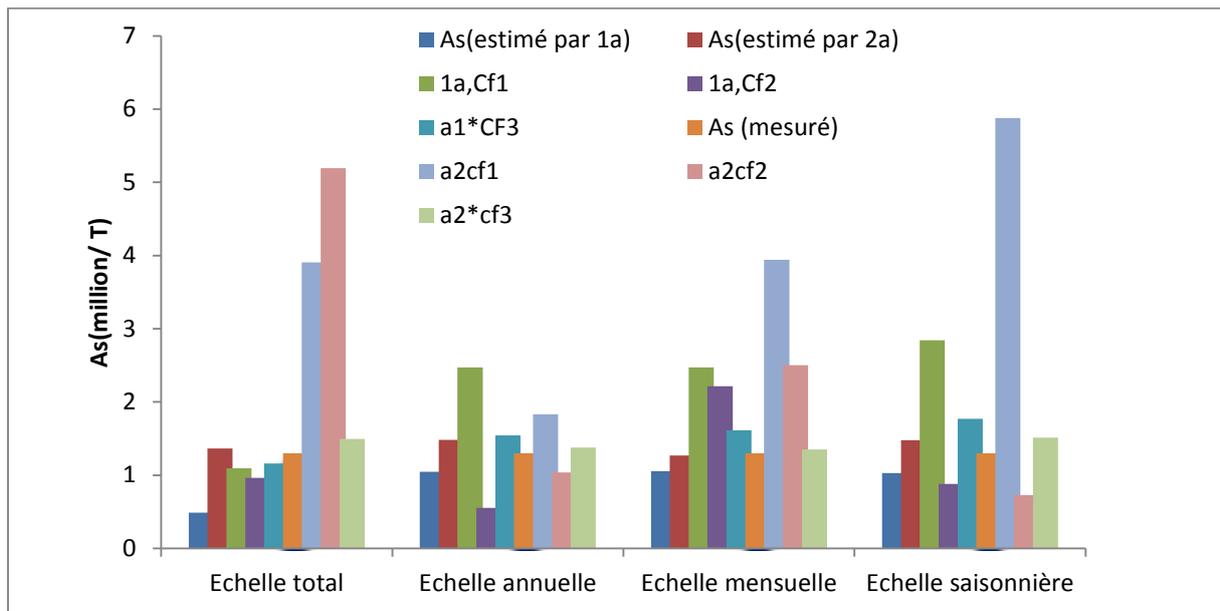
### III.4 Application des coefficients de correction

Le résultat de modèle A1 et A2 Elle a donné une erreur importante surtout deuxième station, nous oblige à corriger ce modèle par l'introduction d'un des coefficients de correction existant dans la littérature (Walling et al, 1988 ; Jansson, 1996). En vue de connaître la possibilité d'application du coefficient de Ferguson (Duan, 1983 ; Newman, 1993) qui exige une distribution log-normale des résidus, il faut en premier lieu tracer les diagrammes des résidus à toutes les échelles pour juger et vérifier l'adéquation du modèle aux Données. Les diagrammes des résidus des deux modèles a1 et a2 sur la totalité des données au niveau des deux stations sont représentés dans les figures (figure. III.10. III.11).

Après application des coefficients de correction à toutes les échelles, on recalcule l'erreur apportée dans l'estimation du flux solide. En vue de déceler l'influence apportée par l'application de ces coefficients de correction, les figures suivantes représentent l'apport solide en suspension mesuré et Estimé par les deux modèles avant et après correction au niveau des deux sous bassins versants.



**Figure III.10 Evaluation des apports solides en suspension calculé, estime et corrigés au niveau de station Station Mezahim**



**Figure III.11. Evaluation des apports solides en suspension calculé, estimé et corrigés au niveau de station BENI SLIMANE**

L'observation de ces deux figures (III.10.III.11) elle donne l'importance de l'apport solide en suspension calculé par le modèle a1 et a2 après application du coefficient de correction (Cf1.Cf2.Cf3) au niveau des deux stations et pour. L'erreur globale et l'erreur de défèrent échelles des apports solides en suspension au niveau de chaque regroupement avant et après application des coefficients de correction sont données dans le tableau commutateur

**Tableau III.5 Coefficient de correction sur les deux station**

BENI SLIMANE	Modèle	Modèle	corre CF1	corre CF2	corre CF3
Echelle global	a1lin	-70.07	+10.8	-34.66	-9.18
	a2nlin	-39.49	+261.7	-38.79	+430.2
Echelle annuel	a1lin	-41.43	+594.44	-48.05	-57.3
	a2nlin	+8.66	+943.5	-64.14	-20.12
Echelle mensuel	a1lin	-17.6	+82.29	+70.45	+43.23
	a2nlin	+16.64	+38.9	+92.4	-2.84
Echelle saisonnier	a1lin	-47.62	+31.7	-32.9	+10.10
	a2nlin	+22.8	+292.31	-44.52	+529.78
MEZAHIM	Modèle	Modèle	corre CF1	corre CF2	corre CF3
Echelle global	a1lin	-62.51	-15.89	-25.89	-10.67
	a2 Nlin	+1.36	+200.7	+299.5	+15.03
Echelle annuel	a1lin	-19.41	+90.344	-57.37	+18.82
	a2 Nlin	+14.18	+40.79	-20.12	+6.11
Echelle mensuel	a1lin	-18.9	+90.34	+70.4	+24
	a2 Nlin	-2.27	+203.14	+92.4	+3.9
Echelle saisonnier	a1lin	-20.73	+118.72	-32.18	+36.05
	a2 Nlin	+13.78	+352.12	-44.0	+16.52

Le facteur de correction de Ferguson Cf1 sur le modèle a1 pour St01 et St02 transforme la précision du modèle à une surestimation avec des erreurs très élargies. Mais au niveau de l'échelle globale elle donne une faible erreur puisque Ce coefficient est efficace pour le cas d'une grande sous estimation, tandis que pour des erreurs moyennes à faibles, il engendre des estimations très importantes. Même constat dans l'application du coefficient de Kao. Même si les erreurs engendrées ne sont pas au même niveau d'importance que celles apportées par le cas précédent mais elles restent considérables. Le coefficient de correction de

Kao, lorsqu'il est appliqué sur le modèle a2 apporte des résultats appréciables au niveau de toutes les échelles, mais lorsque l'erreur est faible, ce coefficient de correction n'apporte pas beaucoup de différence.

Pour le sous bassin versant de Oued El Maleh Ouest, la plus faible erreur est donnée par le coefficient de correction Cf3 pour le regroupement mensue pour le sous bassin de oued el Maleh Est presque le même résultat -9.8 %.

Globalement, ces résultats s'entendent avec la plupart des travaux établis dans ce domaine que la majorité des valeurs de modèle a1 produit des sous estimations au niveau de toutes les échelles, tandis que le modèle a2 a une tendance de surestimer est l'apport solide en suspension. De même, l'application des coefficients de correction n'apporte pas une

amélioration significative, elle tend à trop élargir l'écart entre l'apport mesuré et celui estimé sauf le coefficient Cf3 saisonnier pour St01 n'améliore pas la qualité d'estimation puisque l'influence de saison n'est pas pareil dans les bassins versant sous climats aride et semi aride. Dans les zones tempérées, l'essentiel du transport solide en suspension est généré par les précipitations ou les ruissellements, donc des volumes ruisselés importants sont généralement associés à des charges solides élevées (Campbell, 1977; Glysson, 1987).

### III.4.1 Efficacité d'un modèle

Nous avons considéré jusqu'ici qu'un bon modèle est celui qui engendre la plus faible erreur qui est une mesure de la précision d'estimation, alors que la fiabilité d'un modèle doit réunir la précision (faible erreur) et la consistance d'estimation (faible variance) (Webb et al, 1997 ; Sadeghi et al, 2008). Le coefficient d'efficacité R<sup>2</sup> relie ces deux paramètres (Asselman, 2000 ; Sadeghi, 2008), il est donné par l'expression suivante:

$$\text{Avec } R^2 = \frac{\sum_{i=0}^N (C_0 - C_m)^2 - \sum_{i=0}^N (C_0 - C_{est})^2}{\sum_{i=0}^N (C_0 - C_m)^2} \dots\dots\dots (III.2)$$

C<sub>0</sub> : Concentration en sédiments en suspension mesurée;

C<sub>m</sub> : Moyenne des concentrations en sédiments mesurées;

C<sub>est</sub> : Concentration en sédiments en suspension estimée par le modèle.

La valeur de R<sup>2</sup> varie de -∞ à +1, où -1 indique une parfaite estimation de l'apport solide en suspension par le modèle. Nous avons calculé le R<sup>2</sup> au niveau des deux stations à différentes échelles et les valeurs obtenues sont regroupées dans le tableau suivant:

**Tableau III.6 : Coefficients R<sup>2</sup> des modèles a1 et a2 avant et après correction**

Station bni slema		a1	a1*cf1	a1*cf2	a1*cf3	a2	a2*cf1	a2*cf2	a2*cf3
Mensuel	R <sup>2</sup>	0.596	-14,65	-2,84	-0,44	0.732	-126,09	-4,35	0,711
Annuelle	R <sup>2</sup>	-0.21	-395,14	-0,59	-2,37	0.609	-853,5	-0,432	-0,87
saisonnier	R <sup>2</sup>	0.188	-0,549	-1,26	0,85	0.310	-31,79	-0,13	0,12
Total	R <sup>2</sup>	0,989	0,05	0,045	0,0498	0,977	-1,05	-2,47	0,06
Station mezhahim		a1	a1*cf1	a1*cf2	a1*cf3	a2	a2*cf1	a2*cf2	a2*cf3
Manseul	R <sup>2</sup>	0,92	-2,61	-2,84	0.099	0,875	4,72	-4,35	0.8266
Annuelle	R <sup>2</sup>	0,682	-10,23	-2,37	0.424	0,799	-62,03	-0,87	0.873
Saisonnier	R <sup>2</sup>	0,733	-4,51	-1,26	0.315	0,7263	-37,97	-0,1326	0.820
Total	R <sup>2</sup>	0.697	0.182	-0.167	-0.018	0.998	0.22	-11.95	-32.34

La valeur de l'efficacité des deux modèles s'améliore généralement mais après adaptation des regroupements. la comparaison entre les modèles a1 et a2, on constate que le deuxième modèle donne généralement des coefficients d'efficacité plus élevés que ceux du premier modèle. Ainsi, le modèle non linéaire, d'un point de vue efficacité, représente mieux la relation débit liquide - concentration des sédiments en suspension à toutes les échelles temporelles.

### Conclusion

L'application des coefficients de correction au modèle a1 nous a donné aucune amélioration, ces valeurs sont à exclure, par contre pour le modèle a2 on a constaté des résultats probants.

En ce qui concerne le modèle a2, l'application du coefficient de correction Cf3 apporte plus d'efficacité pour aboutir à des valeurs pertinentes au niveau du regroupement saisonnier mensuelle et annuelle avec une valeur supérieure de 0.8.

D'après ces résultats, on constate que la validation d'un modèle reste donc problématique, du fait que les précisions du modèle en fonction d'un critère ou d'un autre sont très variables. En effet, pour la plupart des critères, c'est l'erreur d'estimation considérée plus importante pour juger son application (Walling, 1977 a et b; Jansson, 1985 et 1996; Glysson, 1987; Asselman, 2000; Rovira et Batalla, 2006; Khanchoul et Jansson, 2008; Ghenim, 2008).

On peut conclure que la variation entre les résultats obtenus par chaque correction est probablement liée à l'élaboration de ces dernières, parce que chacune de ces formules utilisent, dans son principe, des paramètres différents les uns des autres.

### Conclusion Générale

La quantification du transport solide par de nombreuses formules et méthodes s'avère plus qu'indispensable, puisqu'elle permet d'anticiper les phénomènes d'envasement des barrages et de prévoir des mesures de lutte et de prévention, pour une meilleure gestion des retenues en Algérie. Grâce aux progrès importants réalisés dans le domaine d'hydrologie, qui nous permet d'utiliser une description de plus en plus complète du bassin versant et des termes du cycle hydrologique, ainsi que la plupart des phénomènes hydrologiques. Malgré qu'il existe plusieurs types des modèles chacun a ces spécifications, caractérisées par des paramètres, et aussi des méthodes de calage ; ces modèles n'arrivent pas à traiter des phénomènes hydrologiques tel que l'érosion et le transport solide. Dans ce cadre, on a choisi deux modèles régressifs, linéaire et non linéaire, qui correspond à des relations mathématiques entre les débits liquides et les concentrations en matière en suspension (MES).

La station de Mezahim donné de bon résultat dans la Série complète 1.34 avec modèle non linéaire même pour la station de Beni Slimane on a trouve a l'échelle annuelle 8.6 dans modèle non linéaire .

Finalement nous pourrons dire que cette étude nous a donné un pas important pour l'amélioration des connaissances sur les phénomènes hydrologiques liés aux transports solides et de l'érosion et leur impact direct ou indirect sur les terres agricoles, l'envasement des barrages et aussi sur les différentes infrastructures, Surtout si nous savons qu'il n'y a pas beaucoup d'études sur ce bassin malgré il existe plusieurs ouvrages très importants .

# Bibliographe

---

- Zachar D. 1982.** *Soil erosion. Developments in Soil Science 10. Forest research institute, Zvolen. Czechoslovakia. Elsevier scientific publishing company, 547 p.*
- Guillobez S. 1990.** *Réflexions théorique du ruissellement et de l'érosion. Base d'un contrôle application à la détermination des écartements entre dispositifs anti-érosifs. CIRAD/IRAT à la mission française de coopération et d'action culturelle au Burkina Faso. Revue bois et foret des tropiques, 226 (4e trimestre): 39-46.*
- Colonbani J, Olivry O. 1984.** *Phénomènes exceptionnels d'érosion et de transport solide en Afrique aride et semi-aride. IAHS, 144: 295-300.*
- Xiaoqing Y. 2003.** *Manual of sediment management and measurement. World meteorological organization operational. Geneva. Switzerland, 948: 159 p.*
- Touïbia B, Aïdaoui A, Gomer D, Achite M. 2001.** *Quantification et variabilité temporelles de l'écoulement solide en zone semi-aride, de l'Algérie du Nord. Hydrological science journal, 46(1): 41-53.*
- Musy A, Higy C. 2003.** *Hydrologie: une science de la nature. Presse polytechniques et universitaires romandes, 314 p.*
- Wischmeier WH et Smith D D, 1978.** *Predicting rainfall erosion losses. A Guide to Conservation Planning, Washington, USDA 537, 58 pp, in HADIR Sofia, 2010.*
- Glysson D. 1987.** *Sediment-transport cuves. U.S.Geological suvey. Reston, Virginia, 87 (218): 2-47.*
- Helsel D R, Hirsch R M. 2002.** *Statistical Methods in Water Resources. Chapter A3. Techniques of water-resources investigations of the united states geological survey. Book 4, Hydrologic analysis and interpretation, 510 p.*
- Rakotomalala R. 2009.** *Pratique de la régression linéaire multiple : diagnostic et sélection de variables. Université Lumière Lyon 2, version du 20 sep 2009. 109 p.*
- Brown A M. 2001.** *A step-by-step guide to non-linear regression analysis of experimental data using a Microsoft Excel spreadsheet. Computer methods and programs in biomedicine 65 (2001). Elsevier, 65: 191-200.*
- Jansson M. 1985.** *A Comparison of detransformed logarithmic regressions and power function regressions. Geografiska Annaler .Series A, Physical Geography, 67A (1-2):61-70.*
- Mimikou M. 1982.** *An investigation of suspended sediment rating curves in western and northern Greece. Journal des sciences hydrologique, 27 (3-9): 369-383.*
- Horowitz A J. 2002.** *The use of rating (transport) curves to predict suspended sediment concentration: a matter of temporal resolution. Turbidity and sediment surrogates workshop, April 30- May 2, 2002, Reno, NV.*
-

# Bibliographie

---

- Ghenim A. 2008.** *Etude des écoulements et des transports solides dans les régions semi-arides méditerranéennes. Thèse de Doctorat université de Tlemcen, 134 p.*
- Campbell I A. 1977.** *Stream discharge, suspended sediment and erosion rates in the Red Deer river basin, Alberta, Canada, 244-259.*
- Asselman N E M. 2000.** *Fitting and interpretation of sediment rating curves. Journal of hydrology, 234: 228-248.*
- Crowder D W, Demissie M, Markus M. 2007.** *The accuracy of sediment loads when log-transformation produces nonlinear sediment load-discharge relationships. Journal of hydrology, 336: 250-268.*
- Belhadi A. 2007.** *La corrélation et la régression simples courbes. FSHS, Université de Tunis. Géographie & Développement, 1: 47- 75.*
- Boualem Remini. Omar Elahcene .** *Corrélation entre la concentration en matières en suspension et le débit liquide dans le bassin versant de oued bellah... . Article January 2009 :139*
- ANRH, Direction régionale de Blida (Algérie), 2017.** *Station hydrométrique de Mzahim et Bni Sleman wilaya de madea*
- Campbell I A. 1977.** *Stream discharge, suspended sediment and erosion rates in the Red Deer river basin, Alberta, Canada, 244-259.*
- Baloul D, 2012,** *Développement, interprétation et évaluation de la précision de la relation entre la concentration des sédiments en suspension et le débit liquide. Etude de cas: sous bassin versant de l'Oued Tafna et d'Oued Isser, Magister : Option Ecoulement et transport solide, université de Tlemcen.*
- Newman M. C. 1993.** *Regression analysis of log-transformed data: statistical bias and its correction. Environmental toxicology and chemistry, 12: 1129-1133.*
- Duan N. 1983.** *Smearing estimate: A non parametric retransformation method. Journal of the American Statistical Association, 78 (383): 605-610.*
- Walling D E, Webb B E. 1988.** *The reliability of rating curve estimates of suspended sediment yield: some further comments. Sediment budgets (Proceedings of the porto alegre symposium). IAHS publication, 174: 337-350.*
- Jansson M.B. 1996.** *Estimating of sediment rating curve of the Reventazon river at Polomo using logged mean loads within discharges classes. Journal of Hydrology, 183:227-241.*
-