

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université ABOU BEKR BELKAID



Faculté de Technologie

Département d'Hydraulique

MEMOIRE

Projet de Fin d'Etudes
Pour l'obtention du diplôme Master **en Hydraulique**

Option : EAU SOL ET AMENAGEMENT

Thème

**Etude du transport solide en suspension dans le Bassin Versant
d'oued AL ABD**

Présenté par :

ASNOUNI FATIHA

Devant le jury :

MR CHERIF ZINE EL ABIDINE

Président

MR BOUCHELKIA HAMID

Examinateur

MR DEBBAL MOHAMED ZAKARIA

Examinateur

M^R ABDERRAHMANE NEKKACHE GHENIM

Encadreur

MR MEGNOUNIF ABDESSELAM

Co-Encadreur

Promotion 2013/2014

Remerciements

Je tiens, tout d'abord à remercier mon encadreur Mr GHENIM Abderrahmane pour sa disponibilité, ses Compétences, sa grande patience et son expérience et je remercie également Mr MEGNOUNIF Abdessalem le Co-Encadreur.

Je remercie vivement les membres de jury de me faire l'honneur de lire et de juger ce modeste Effort. Mr CHERIF Zine El Abidine qui a bien voulu m'honorer en présidant le jury, Mr BOUCHELKIA Hamid et Mr DEBBAL Mohamed Zakaria, qu'ils nous ont fait l'honneur de juger notre travail.

Mes remerciements vont également à l'ensemble de mes enseignants en post graduation qui M'ont orienté vers le bon chemin de recherche et restaient disponibles à tout moment, qu'ils trouvent ici toute ma reconnaissance et ma gratitude.

ملخص

تواجه الجزائر كسائر بلدان العالم ظاهرة فيضانات الانهار و الفيضانات المدمرة خصوصا في المناطق الجافة و شبه جافة فيضان الانهار في هذه المناطق لا تتوفر عليها معلومات كافية فهي تتميز بحدوثها المفاجئ (المطر و العواصف الرعدية) مدة فيضانات الانهار يستغرق من دقائق الى ساعات

تشمل دراستنا حوض وادي العبد بالمنطقة الشبه جافة بمساحة تقدر ب 2480 كلم²

الهدف من هذه الدراسة التي بدأناها في محطات مراقبة الوديان بوادي العبد، هو أن تميز الفيضانات التي تسيطر عليها واحدة او كلتا المحطتين التي تم تثبيتها في سلسلة في هذا المنعطف.

و اعتمدنا في دراستنا على جمع سلسلة من البيانات من التدفقات السائلة والتركيزات المسجلة على مستوى المحطتين ان الانجراف المميز المقاس في كل محطة بهذا الحوض على امتداد سنوات يظهر تغيرا واضحا في القيم الشهرية منها و السنوية لقد حدثت هذه التغيرات بفعل التغيرات المناخية لحوض الصب

الكلمات الرئيسية: فيضان، مدخلات الصلبة، حوض ساكب، وادي عبد ، تركيز، تدفق السائل

Résumé

L'Algérie fait face, comme les autres pays du monde, au phénomène de crues des rivières et aux inondations dévastatrices, en particulier dans les zones arides et semi-arides. Ces inondations le plus souvent dévastatrices, se caractérisent par leur apparition soudaine (pluie et orages). Elles sont brèves et durent de quelques minutes à quelques heures.

Le but de l'étude, que nous avons entamée sur les stations du bassin versant de l'Oued El Abd qui situe en zone semi-aride à une superficie de 2480 Km², est de caractériser les crues qui sont contrôlées par l'une et /ou l'autre des deux stations qui sont installés en série au niveau de ce bassin versant. L'étude consiste à rassembler une série de données des débits liquides et des concentrations enregistrés au niveau des deux stations. Les apports solides qui sont mesurés à chaque station dans ce bassin au cours des années montrent un net changement dans les valeurs mensuelles et annuelles dus principalement aux changements du climat dans le bassin versant.

Mots clés : crue, apport solide, bassin versant, oued el Abd, débit liquide, concentration.

Summary

Algeria faces, like the other countries of the world, with the phenomenon of believed of the rivers and the floods devastators, in particular in the arid and semi-arid regions. These floods generally devastators, are characterized by their sudden appearance (rain and storms). They are short and last of a few minutes to a few hours.

Purpose of the study that we started on the stations of the catchment area of the Wadi El Abd which locates in semi-arid zone at a surface of 2480 km² is to characterize the risings which are controlled by one and/or the other of the two stations which are installed in series on the level of this catchment area. The study consists in gathering one seriated of data of the liquid flows and the concentrations recorded on the level of the two stations.

The solid contributions which are measured at each station in this basin during the years show a Net change in the monthly and annual values due mainly to the changes of the climate in the catchment area.

Key words: believed, solid contribution, catchment area, wadi el Abd, liquid flow, concentration.

Table des matières

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre I. généralité sur le transport solide

I-1- Généralités sur le Transport solide.....	3
a- La compétence:.....	3
b- La capacité:.....	4
I-1-1- Modes de transport:.....	4
I-1-1-1- Le transport solide en suspension.....	5
I-1-1-2- Le transport solide par charriage.....	8
I-1-1-3- La saltation.....	9
I-1-2- Estimation des pertes de terres.....	10
I-1-2-1- Mesure de transport solide.....	10
a- Mesure du transport en suspension.....	10
b- La mesure du transport de fond.....	10
I-1-3- Quelques travaux effectués sur le transport solide en Algérie.....	13
I-1-4- Quelques données sur le transport solide en Algérie.....	16
I-1-5- Problèmes liés au Transport solide.....	17
I-2 Les crues.....	17
I-2-1- définition.....	17
I-2-2- Les causes de la crue :.....	18
I-2-3- Facteurs aggravant les crues.....	18
a- En milieu rural.....	18
b- En milieu urbain.....	18
I-2-4- Le processus de formation des crues.....	19
a- influence des facteurs naturels.....	19
b- Influence des facteurs anthropiques.....	20
I-2-5- Les types de crues.....	20
a- Les crues fluviales.....	20
b- crues torrentielles.....	20
I-2-6- Les différentes crues.....	21

Chapitre II .étude de l'existant

II-1- Introduction.....	23
II-2- Situation géographique et limites.....	23
II-3- Morphométrie des sous bassins versants	24
II-3- 1- Caractéristiques de forme.....	24
II-3-2- Caractéristiques topographiques	24
II-4- Caractéristiques hydrographiques	25
II-5-Profil en long des Oueds :	25
II-6- Géologie du bassin	27
II-7- Le climat et précipitations :.....	29
II-7-1- Etude des précipitations	29
a- Etude de variabilités inter annuelles des précipitations	31
b- Etude des précipitations saisonnières	32
c- Etude de variabilité mensuelle	33
II-7-2-Température	35
II-7-3- Evapotranspiration potentielle	36
II-7-4- Vents	36
II-8- Couvert végétal	36

Chapitre III.présentation des données

III-1- Généralités	38
III-2- Recueil des données.....	38
a- Pour les débits liquides.....	38
b- Pour les débits solides	38
C- Programme de traitement	39
III-2- Présentation des données	40
III-2-1- Variation des débits annuels	41
III-2-2- Evaluation interannuels des apports liquide	41
III-2-3- Variation des débits saisonniers.....	42
III-2-3- Evaluation saisonnier des apports liquides	43
III-2-4- Variation debits moyens mensuels	44
III-2-5- Evaluation mensuels des apports liquide	46

Chapitre IV. Etude des crues

IV-1- Introduction :	48
IV-2- Sélection des événements :	48
IV-3- L'hydrogramme de crue	49
IV-4-Répartition des crues	57
IV-5- Estimation des apports liquides et solides de crue	58
IV-5-1- Variation inter annuelle des apports liquides et solides des crues	58
IV-5-2- Variation saisonnière des apports liquides et solides	61
IV-5-3- Variation mensuelle des apports liquides et solides	64
IV-6- Interprétation des résultats	67
Conclusion générale	74

Table des figures

Figure I-1 Diagramme de Hjulstrom	4
Figure I-2:Différent types de transport solide en rivière. [9]	5
Figure I-3 Différent types de transport solide en rivière	5
Figure I-4 Critères de suspension (Van rijm 1984)	7
Figure I-5 Equilibre d'un grain posé sur le fond d'un canal	9
Figure I-6 Exemples d'échantillonneurs Helley-Smith. [7]	11
Figure I-7 Echantillonneurs de charge de fond (piège)	11
Figure I-8 Traineau portatif des détecteurs	12
Figure II-1 Le bassin de captation d'Oued Abd où figurent les postes de mesure d'Ain Amara et Takhmaret	23
Figure II-2 Courbes hypsométriques de bassin versant de l'Oued El Abd	25
Figure II-3 Profil en long de l'Oued Mina et ses affluents (Achite, 2002).	26
Figure II-4 Histogramme des moyennes centrées et réduits et précipitations.....	31
Figure II-5 Courbe de variation des précipitations annuelles	32
Figure II-7 Histogramme des précipitations maximales mensuelles	35
Figure III-1 Histogramme de variation des débits annuels	41
Figure III-2 Courbe de variation de l'apport liquide annuel.....	42
Figure III-3 Histogramme de variation des débits saisonniers.....	43
Figure III-4 Courbe de variation de l'apport liquide saisonnier	44
Figure III-5 Histogramme de variation des débits mensuels	46
Figure III-6 Courbe de variation de l'apport liquide mensuel.....	47
Figure IV-1 Crue d'oued el Abd à la station d'Ain Amara	50
Figure IV-2 Crue d'oued el Abd à la station de Takhmaret.....	50
Figure IV-3 Crue d'oued el Abd à la station de Takhmaret.....	51
Figure IV-4 Crue d'oued el Abd à la station d'Ain Amara	51
Figure IV-6 la crue de 28/09/2009	56
Figure IV-7 Répartition des crues de l'oued Abd (Takhmaret) dans l'année hydrologique ...	57
Figure IV-8 Répartition des crues de l'oued Abd (Ain Amara) dans l'année hydrologique.....	58
Figure IV-9 Variabilité des apports solide et liquide interannuels de crue dans la station d'Ain Amara.	59
Figure IV-10 Variabilité des apports solide et liquide interannuels dans le sous bassin versant de l'oued el abd	61
Figure IV-11 Variation saisonnière des apports liquides et solides à Ain Amara	62
Figure IV-12 Variation saisonnière des apports liquides et solides à Takhmaret	63
Figure IV-13 : Variation mensuel des apports liquides et solides.....	64

Figure IV-14: Variabilité des apports solide et liquide mensuels dans le sous bassin versant de l'oued el Abd à Takhmaret.....	65
Figure IV-15: Pourcentage saisonnier des apports liquides	66
Figure IV-16: Pourcentage saisonnier des apports solides.....	66

Liste des tableaux

Tableau I-1 : Quelques estimations de la dégradation spécifique en Algérie.....16

Tableau II-1 : Caractéristiques des stations hydrométriques du le bassin versant de oued El Abd.....	24
Tableau II-2 : Caractéristiques physiographiques des bassins versants de l'oued El Abd	26
Tableau II-3 : Les différentes formations lithologiques du bassin versant de l'oued Mina. ...	28
Tableau II-4 : Moyenne, écart type et coefficient de variation de la série pluviométrique (2000-2009)	30
Tableau II-5 : Les précipitations interannuelles à Ain Amara	31
Tableau II-6 : Les précipitations interannuelles à Takhmaret	32
Tableau II-6 : Précipitation saisonnières des deux stations.....	33
Tableau II-7 : Précipitations mensuelles à la station d'Ain Amara	34
Tableau II-7 : Précipitation mensuelles à la station de Takhmaret	34
Tableau II-8 : Températures enregistrées aux stations de : Chélif, SMBA et Frenda (°C).	35

Tableau III-1 : Les apports liquides annuels de deux stations	41
Tableau III-2 : Débits saisonniers en m ³ /s à Ain Amara et Takhmaret.....	42
Tableau III-3 : Les apports liquides saisonniers de deux stations	43
Tableau III-4 : Moyennes mensuelles et annuelles dans deux stations du bassin de oued El Abd.....	44
Tableau III-5 : Débits moyens mensuels en m ³ /s à Ain Amara et Takhmaret.....	45
Tableau III-6 : Les apports liquide mensuels de deux stations	46

Tableau IV-1 : Caractéristiques des deux stations hydrométriques et l'étendue des séries de mesure	48
Tableau IV-2 : Les crues enregistrées sur la station d'Ain Amara.....	52
Tableau IV-3 : Différent crues enregistrées sur la station de Takhmaret	55
Tableau IV-4 : les années, le nombre et la durée de la crue, les apports liquides (Al), les apports solides (As), et les dégradations spécifiques (Ass) à la station Ain Amara durant la période 2000/2001 à 2009/2010	59
Tableau IV-5 : les années, le nombre et la durée de la crue, les apports liquides (Al), les apports solides (As), et les dégradations spécifiques (Ass) à la station de Takhmaret durant la période 2000/2001 à 2009/2010.....	60
Tableau IV-6: Apport liquides et solides saisonniers sur les deux stations (Ain Amara et Takhmaret)	62
Tableau IV-7 : Apports mensuels liquides et solides de crues à la station d'Ain Amara	64
Tableau IV-8 : Apport liquide et solide mensuels de crue à la station de Takhmaret	65
Tableau IV-9: les crues qui produisent au même temps sur les deux stations.....	67
Tableau IV-10: les crues qui enregistrés à Ain Amara et puis à Takhmaret.....	69

Tableau IV-11 : les crues enregistrées dans le sous bassin versant de Ain Amara	70
Tableau IV-12 : Les crues enregistrées dans le sous bassin versant de Takhmaret.....	73

Introduction générale

Introduction

Le problème de transport solide dans les cours d'eau est l'un des problèmes les plus importants de l'hydraulique fluviale [1].

En Algérie septentrionale, les conditions physiques, géomorphologiques, hydroclimatiques et socioéconomiques sont particulièrement favorables au déclenchement et à l'accélération du phénomène de transport solide. [2]

Le processus du transport des matières solides en suspension dans les bassins versants est complexe. Il se fait principalement en période de crue et il est étroitement lié à l'intensité des précipitations, à la configuration du bassin versant et aux caractéristiques hydrauliques du cours d'eau. [2]

Les crues se produisent lorsque le sol et la végétation ne peuvent pas assimiler toute l'eau de ruissellement et provoquent une élévation du lit du cours d'eau.

L'étude des crues des oueds de l'Algérie reste un domaine inconnu, seules quelques Indications très ponctuelles sont données dans les annuaires hydrologiques algériens. Les crues représentent un des traits fondamentaux du régime d'un cours d'eau. [3]

En Algérie, l'évaluation des apports solides, à l'échelle du réseau national, est à ce jour, fondée sur l'analyse des échantillons classiques prélevés des cours d'eau consolidés au niveau des stations hydrométriques. Ce moyen d'estimation est pratiquement soumis à plusieurs contraintes (instrumentale, accidentelle et même méthodologique) toutefois l'estimation de transport solide, soit elle est faite directement à partir des données observées, soit en développant des modèles reliant le débit solide au débit liquide et ce pour la quantification du transport solide.[1]

Le sous bassin versant de Oued Abd est situé dans la région occidentale du nord de l'Algérie en zone semi-aride, les zones méditerranéennes et semi-aride sont caractérisées par des régimes pluviométriques irrégulier dans le temps et dans l'espace. Il s'étend sur une superficie de 2480 Km².

On a choisi le sous bassin versant de oued el Abd comme la zone d'étude pour caractériser les crues qui se viennent de l'une à l'autre de deux stations qui sont installés en série au niveau de ce sous bassin versant.

Cette étude comprend généralement les étapes suivantes :

La première étape à rassembler une série de données des débits liquide et solide instantané et de concentration enregistrant par les deux stations.

En suite déterminer les hydrogrammes des crues, et on a évalué les apports liquides et solides de chaque crue observé, enfin caractérisé les crues qui produisent au même temps au niveau de deux stations qui est installé en amont et en aval.

Ce mémoire s'organise en quatre chapitres, le premier chapitre « généralité sur le transport solide » présente les transports solides et les crues dans un cours d'eau, leurs méthodes de calcul et la comparaison des différentes approches.

Introduction générale

Le deuxième chapitre « étude du l'existant » est consacré au site de l'étude, les contextes géographique, climatique, géologique, et topographique, ainsi que les caractéristiques morphométriques du bassin versant.

Le troisième chapitre « présentation des données » on a effectué en ce chapitre une étude hydrologique qui sert à prévoir les débits et les apports liquides d'Oued el Abd au niveau de deux stations.

Dans le quatrième chapitre « Etude des crues » nous exposerons l'étude expérimentale Nous avons présenté dans ce chapitre la base de données de deux bassins versants qui sera utilisée dans la suite pour faire notre étude et interprété les résultats que on a obtenue.

En fin conclusion générale.

I-1- Généralités sur le Transport solide

On appelle transport solide d'un cours d'eau tous les matériaux, des boues les plus fines aux rochers les plus grossiers, que le courant peut entraîner [4]. Le transport solide dans un cours d'eau constitue la seconde phase de l'érosion. Il est la conséquence partielle de la perte en terre des sols au niveau du bassin versant. Il est, cependant, la cause directe de la sédimentation dans les ouvrages hydrauliques. [5]

Le transport des sédiments par un écoulement à surface libre joue un grand rôle dans de nombreux domaines. Dans la nature, il affecte la morphologie des cours d'eau, des estuaires et du littoral. Il agit également par les matières en suspension sur tout l'écosystème aquatique (atténuation de l'énergie lumineuse en particulier). Son impact sur les ouvrages hydrauliques est de première importance. Il est responsable du comblement des retenues, du déchaussement d'ouvrages dû à l'abaissement du lit pour ne citer que ces effets. [6]

Le transport solide est un phénomène complexe, en particulier, la chute des vitesses à l'entrée de la retenue qui entraîne par la diminution de sa capacité du transport, un dépôt immédiat des alluvions grossiers, par contre les éléments fins, plus légers poursuivent leurs chemins en suspension jusqu'à se déposer en eaux mortes où ils décantent lentement. La dynamique des matériaux arrachés au sol et transportés par le réseau d'écoulement dépend essentiellement de la vitesse d'écoulement et de la granulométrie. [7]

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:

- a- La compétence:** Elle est mesurée par le diamètre maximal des débris rocheux que peut transporter le cours d'eau. Cette caractéristique est fonction de la vitesse d'eau comme le montre le diagramme de Hjulstrom qui divise le transport solide en trois phases : la sédimentation, le transport avec une fonction croissante qui est toujours au-dessous de celle d'arrachement des particules (l'érosion).

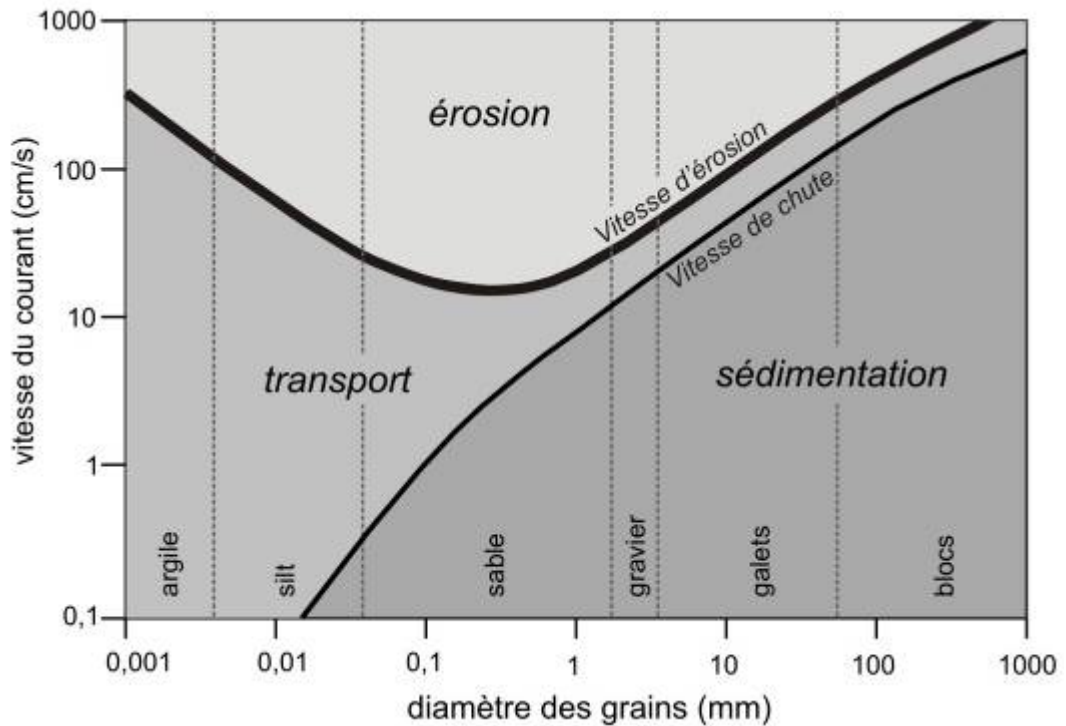


Figure I-1 : Diagramme de Hjulstrom

b- La capacité: C'est la quantité maximale de matériaux solides que peut transporter en un point et à un instant donné le cours d'eau. Elle est fonction de la vitesse de l'eau, du débit et des caractéristiques de la section (forme, rugosité, etc...). [8]

I-1-1- Modes de transport:

Il existe différents modes de transport solide dans les cours d'eau, ils dépendent essentiellement de la morphologie du cours d'eau et des terrains traversés.

Il s'agit de trois types de mouvements dans les cours d'eaux :

- ✓ Transport en charriage au fond du lit,
- ✓ Transport par saltation,
- ✓ Transport en suspension.

La figure suivante schématise les types de transport solide, rencontrés dans le bassin versant

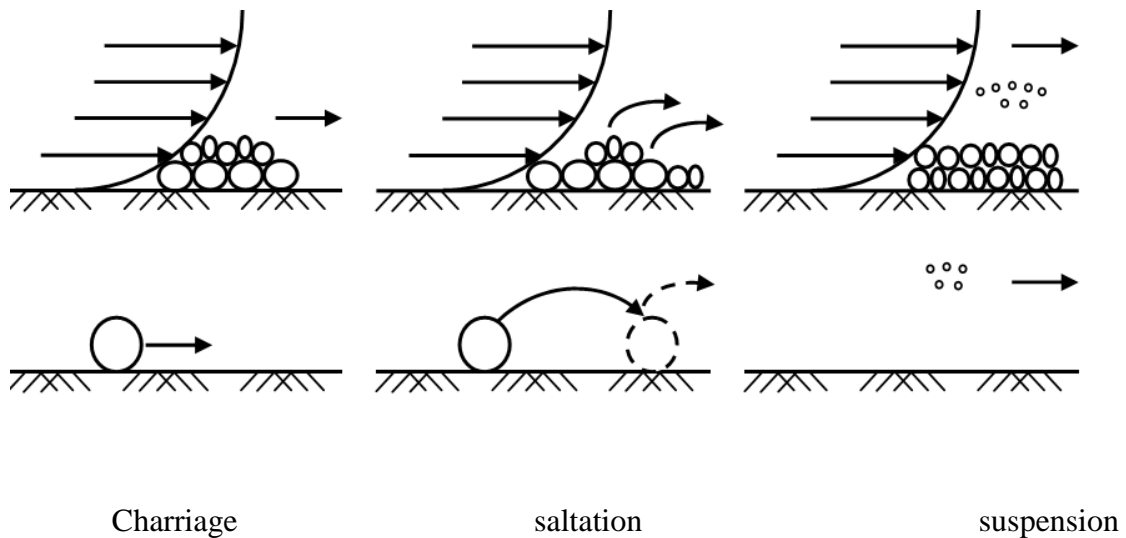


Figure I-2: Différent types de transport solide en rivière. [9]

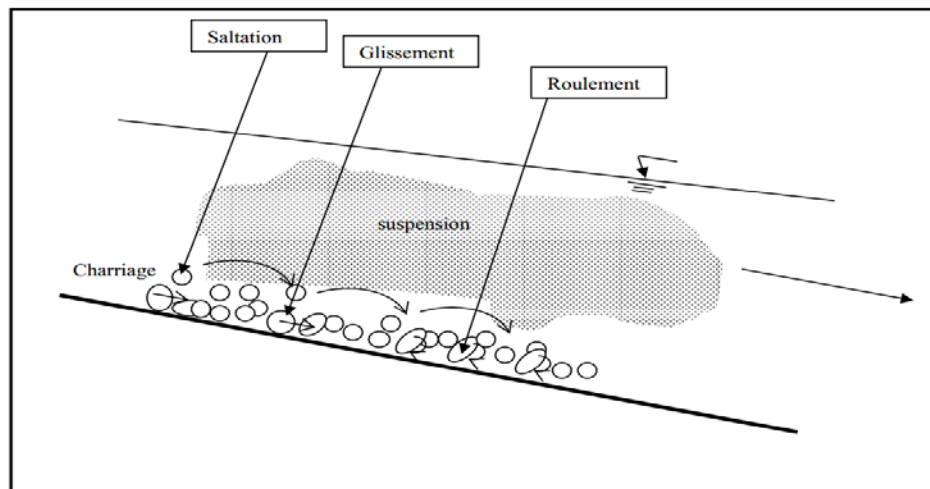


Figure I-3: Différent types de transport solide en rivière

I-1-1-1- Le transport solide en suspension

Le transport par suspension est le deuxième type de transport solide dans un cours d'eau. Le transport en suspension concerne principalement les matériaux produits par l'abrasion des sols. Aussi sa détermination est très utile en agronomie, car ce sont les éléments les plus fertilisants qui sont ainsi transportés : particules fines, éléments chimiques et matières organiques. [10]

Le transport solide en suspension est un phénomène assez continu dans l'espace. Les sédiments sont transportés sur de longues distances, à la vitesse du courant. Mais il est très discontinu dans le temps puisqu'il est conditionné par le phénomène d'abrasion.

Description du phénomène

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

A partir de ce moment, les particules ne suivent plus une trajectoire définie, mais elles suivent des trajectoires aléatoires dans l'épaisseur de fluide. [7]

Le critère d'apparition des phénomènes de suspension qui consiste à définir la vitesse "U" d'écoulement du liquide, par laquelle la poussée de ce dernier sur les grains de diamètre "D" permet la mise en suspension des grains quartzeux de 0,2 à 0,85 millimètres de diamètre dans des écoulements naturels de rivières est définie par la formule de W.Kresser suivante :

$$U^2 = 360 \cdot g \cdot D$$

Avec :

$$U = C \sqrt{h \cdot J}$$

et $\tau = \gamma J \cdot h$

d'où $\tau = 360 \left(\frac{\gamma g}{C^2}\right) D$

τ : La contrainte tangentielle de l'écoulement

γ : Poids volumique du liquide (N/m³)

C : Coefficient de Chezy.

h : Hauteur du liquide (m).

J : Perte de charge régulière de l'écoulement.

U : Vitesse de l'écoulement (m/s).

D : Diamètre des grains (mm).

g : Accélération de pesanteur (m/s²).

Les sédiments se déplacent sur des grandes distances et le débit solide croît de l'amont vers l'aval.

Quelques valeurs indicatives, permettent de délimiter les deux modes de transport. Ces valeurs utilisent le rapport entre vitesse de l'écoulement V sur le lit du cours d'eau, et la vitesse W de chute des particules,

$V/W > 0,10$ début de transport par charriage.

$V/W > 0,40$ début de transport en suspension.

Les critères de suspension, donnés par Bagnold, Van Rijn, Eugelund et Shields sont représentés dans la figure I-4. [3]

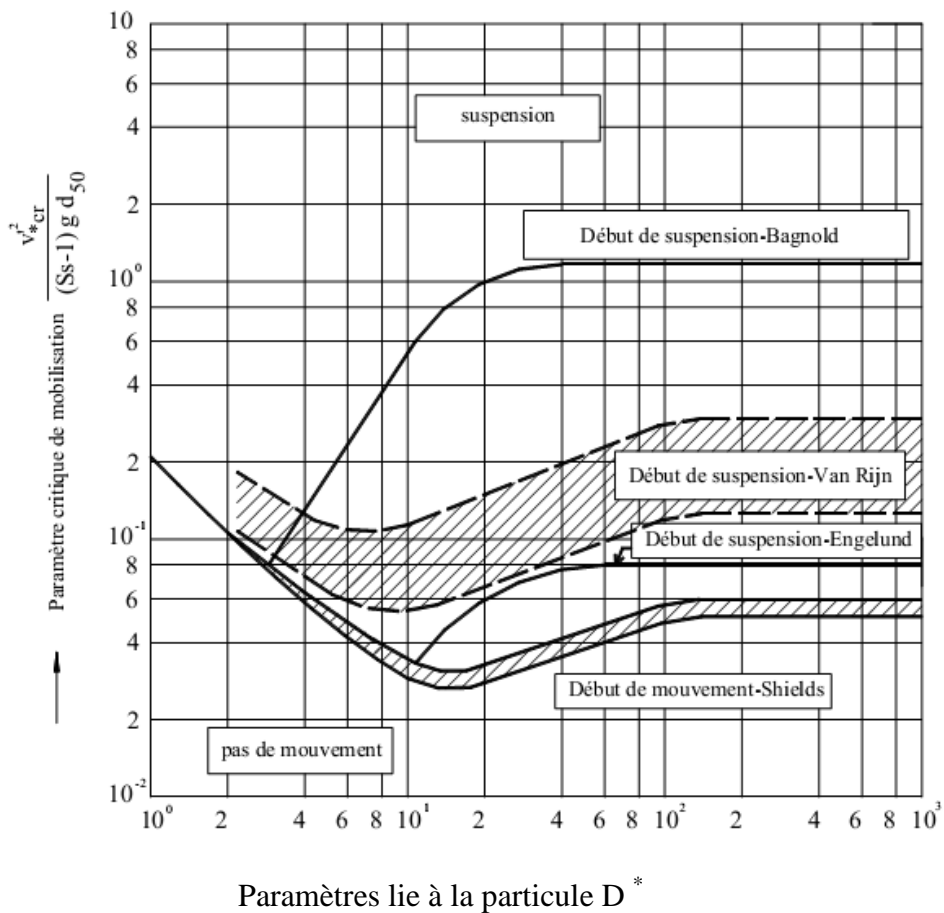


Figure I-4: Critères de suspension (Van rijn 1984)

I-1-1-2- Le transport solide par charriage

Le transport par charriage est l'un des principaux types de transport solide dans un cours d'eau, il s'alimente surtout par érosion du lit et des berges du cours d'eau. Il contribue pour une large part à la formation et à l'équilibre du lit, modelant ainsi le profil en long du cours d'eau. Les grains charriés se déplacent par à coups à une vitesse moyenne très nettement inférieure à celle de l'eau (moins d'un mètre par heure). [11]

Lorsque la turbulence de l'écoulement est importante, les grains sont susceptibles d'être emportés par suspension malgré leur poids. Ils peuvent alors se déplacer sur de longues distances sans rejoindre le fond, avec une vitesse égale à celle de l'eau. [12]

Le transport par charriage est très discontinu à la fois dans le temps et dans l'espace. C'est un phénomène très localisé puisqu'il est conditionné entre autres, par la pente et la constitution du lit, qui peuvent varier d'un tronçon de cours d'eau à l'autre. Par contre, pour une même section de cours d'eau, il peut être lié au débit liquide, donc, dans certaines conditions il se prête mieux à l'étude théorique et à l'élaboration de formules. [11]

Description du phénomène :

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

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

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

Donc les grains constituant l'interface solide-liquide, ayant un poids et un coefficient de frottement, ils ne peuvent être mis en mouvement par l'action du fluide que si la contrainte sur le fond " τ " dépasse la valeur de la contrainte critique « τ_c »

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

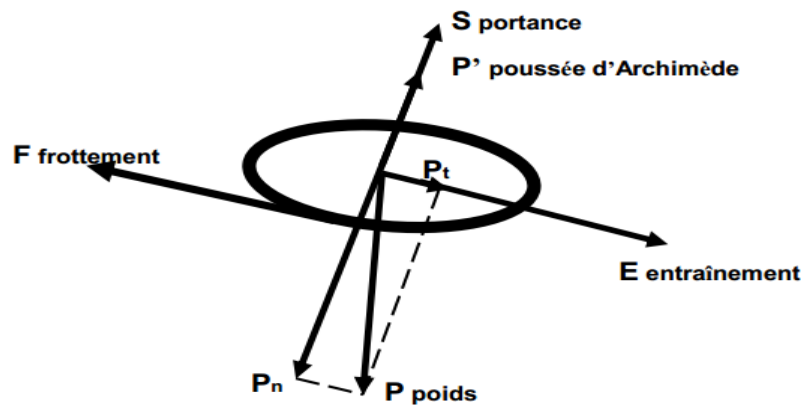


Figure I-5: Equilibre d'un grain posé sur le fond d'un canal

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

$$\tau = \rho \cdot g \cdot R_h \cdot J \text{ (N/m}^2\text{)}$$

τ : La contrainte tangentielle de l'écoulement. (N/m²)

τ_{cr} : contrainte critique du début d'entraînement. (N/m²)

J : Perte de charge régulière de l'écoulement .

ρ : Poids spécifique de l'eau.

R_h : Rayon hydraulique (m)

g : Accélération de la pesanteur (m²/ s)

Pour cela, on dit que le charriage est un phénomène à seuil et l'analyse très simplifiée pour le début de mouvement, revient à comparer directement la force de déstabilisation due à l'écoulement à la capacité de résistance au mouvement des matériaux, qui tapissent le fond. [5]

I-1-1-3- La saltation

C'est le mode de transport des éléments plus fins que les galets, c'est-à-dire les graviers et les sables grossiers, Les graviers sautent, progressent par bonds au fond de la rivière et occupent donc, dans la section, une certaine hauteur dépendant de la vitesse et des caractéristiques des grains.

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 [4].

I-1-2- Estimation des pertes de terres

La quantification de transport solide peut se faire par:

-mesure directes

-calculs à l'aide des formules existant dans la littérature.

I-1-2-1- Mesure de transport solide

a) Mesure du transport en suspension

En pratique, la mesure du transport solide se fait sur toute la largeur de la section de mesure. La méthode utilisée, consiste à explorer le champ des vitesses et des concentrations sur une section donnée du cours d'eau. Des prélèvements d'échantillons par des équipements spécifiques, au droit de la section de mesure, se font parallèlement au jaugeage de débit au moulinet pour différentes largeurs et différentes profondeurs de la section de mesure. Le prélèvement d'échantillons doit se faire avec des appareils à action très rapide. Il existe plusieurs appareils de prélèvements d'échantillons actuellement utilisés, à savoir:

- ✓ Turbidisonde NEYRPIC
- ✓ Turbidisonde DELFT
- ✓ Prélèvement au moyen d'une pompe
- ✓ Prélèvement au moyen de bouteilles

Pour les faibles courants d'eau, les prélèvements peuvent être faits à l'aide de bouteilles que l'on envoie à la profondeur voulue grâce à un câble [13].

b) La mesure du transport de fond

❖ Mesure directe

La fosse artificielle, c'est la manière la plus simple pour les mesures de transport solide par charriage. Elle consiste à creuser un trou dans le lit du cours d'eau (figure 6) cela permet de récupérer puis peser les sédiments qui y pénètrent. Cette méthode devient plus longue et laborieuse lorsque la charge en sédiments devient plus grande. [8]

Parmi les équipements de mesures actuellement disponibles on peut décrire très sommairement :

- **Les nasses** constituées d'une poche de grillage montée sur un cadre métallique qui laisse passer les matières en suspension, mais retient les matériaux grossiers.

Le plus connu et le plus utilisé dans le monde est le préleveur Helley –Smith dont il existe de nombreux modèles, fonction notamment de la granulométrie des sédiments à prélever et des vitesses d'écoulement.

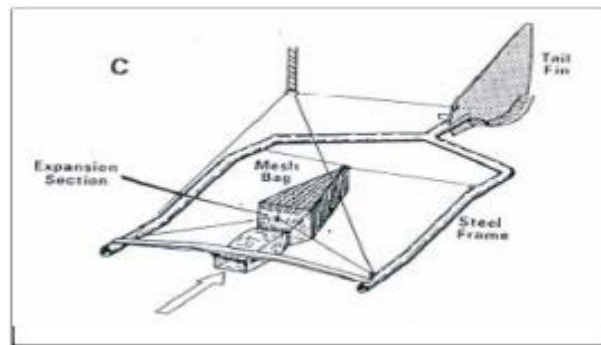


Figure I-6 : Exemples d'échantillonneurs Helley-Smith.(in [7])

- **Le piège** (figure I-7) constitué de récipients très aplatis de section longitudinale triangulaire dont le bord correspondant au sommet du triangle est dirigé vers l'amont. A l'opposé dans la partie supérieure aval du récipient, une série de petites cloisons inclinées vers l'aval constitue le piège où viennent se prendre les matériaux (sable essentiellement).

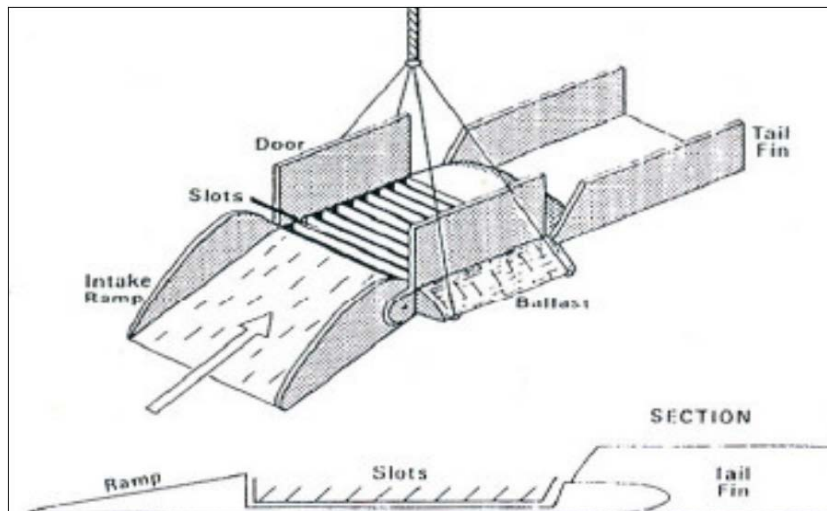


Figure I-7 : Echantillonneurs de charge de fond (piège)

❖ Les mesures indirectes

Elles sont basées sur l'utilisation des ultra-sons ou des traceurs radioactifs.

- **Les sondeurs à ultrasons** : permettent de suivre le déplacement des dunes dans les fonds sableux à faibles pentes.
- **Le détecteur hydrophonique**: Il permet de déterminer le début et l'arrêt d'entraînement des particules de sable grossier et gravier grâce aux chocs enregistrés suite au contact des particules mises au mouvement avec une plaque placée au fond du cours d'eau. On peut avoir au lieu d'une plaque un peigne enfoncé dans les matériaux du fond sableux attachée à une tige reliée à un lecteur phonographique. Cet appareil est appelé arénaphone.

Méthode par l'outil des traceurs : la technique consiste à insérer dans l'écoulement un traceur radioactif sous une forme semblable aux particules en charriage (avoir la même forme, taille et poids). Le mouvement en aval peut alors être surveillé en utilisant les détecteurs portatifs. Alternativement, le traceur peut être appliqué à la surface du sédiment naturel, ou il peut être incorporé aux matériaux artificiels qui peuvent être rendus radioactifs (Fao, 1993). La complexité de cette technique est liée à la lourdeur de ces expérimentations (fabrication, détection de nuit, obtention des autorisations et le prix des traceurs) et le traitement ultérieur des données. [8]

Les mesures faites servent à tracer des courbes iso-actives à différentes dates déterminées. L'étude de ces cartes permet d'aboutir à des informations semi-quantitatives telles que la direction générale, la vitesse moyenne et la zone intéressée par le transport, ou à des mesures quantitatives par intégration dans le temps ou intégration dans l'espace.

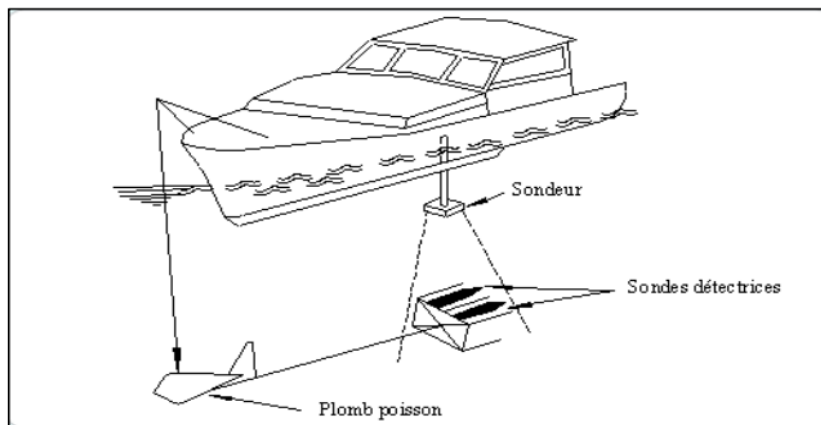


Figure I-8 : Traineau portatif des détecteurs

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 sont difficiles à mener en l'absence de bases de données [3].

Dans la plupart des oueds Algériens, les stations de jaugeage ne permettent pas d'effectuer des mesures dans toute la section mouillée de l'oued.

I-1-3- Quelques travaux effectués sur le transport solide en Algérie

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

Megnounif A , Terfous A, et Bouanani A (2003)

Les auteurs se sont intéressés dans leur travail aux sédiments transportés en suspension par oued Tafna à Beni-Bahdel. Pour la période allant septembre 1988 à Aout 1993. L'analyse de variabilité de la charge en suspension montre une production très forte en automne mais d'une faible ampleur au printemps. En automne le flux des matières solides en suspension représente 44% de flux annuel estimé à 28600 tonnes, au printemps malgré l'augmentation des débits (60% de l'apport annuel) la charge en suspension diminue considérablement. La production du ruissellement superficiel en matières solides représente 62% du flux annuel alors que l'érosion du cours d'eau contribue par 38% [14].

Benkhaled A et Remini B (2003)

L'étude est réalisée à partir des données collectées durant la période 1972 à 1989. Cette étude consiste à étudier la variabilité et les caractéristiques des différentes relations qui existent entre la concentration et le débit à l'échelle du bassin versant de l'oued Ouahran.

Megnounif A, Terfous A, Ghenaim A et Poulet JP (2004)

Cette étude a pu mettre en évidence le rôle des crues dans la genèse et le transport des sédiments en suspension dans un petit bassin versant Méditerranéen. Les auteurs se sont intéressés à l'Oued Sebdou, cours d'eau principal drainant le bassin versant de la Haute-Tafna, situé au nord-ouest algérien. Pour ce faire, ils ont étudié, pour différents épisodes de crue, le mode d'évolution de la charge solide en fonction des débits liquides en s'appuyant sur l'analyse des hystérésis. Les résultats obtenus montrent que le transport des matières solides en suspension se fait principalement durant les épisodes de crue. En effet, sur un apport annuel moyen en eau, estimé à 30,9 millions de m³, les crues contribuent par 64%. Cependant, elles transportent la quasi-totalité, soit 93%, de la charge solide en suspension évaluée en moyenne annuelle à 286 000 tonnes [15].

Achite M et Meddi M (2004)

Les auteurs ont adopté une méthodologique qui consiste à rechercher un modèle régressif pouvant expliquer le débit liquide mesuré au niveau de la station de sidi Abdelkader El Djilali, à différentes échelles : annuelles, saisonnières, mensuelles et journalières pour trouver la meilleure relation représentative du phénomène. L'ensemble des données disponibles couvre les années 1973/1974 à 1994/1995. Les résultats montrent que le modèle en puissance explique la plus grande partie de la variance (plus de 70 % de la variance). Les modèles obtenus à l'échelle journalière et instantanée (regroupés par mois) ont donné le meilleur coefficient de corrélation. Le débit liquide explique, à ces échelles, la variation du débit solide dans le temps. Aussi, compte tenu de la disponibilité des données à l'échelle journalière, le transport solide a été évalué en utilisant le modèle ainsi obtenu à cette échelle. Leur résultat confirme ceux trouvés par différents chercheurs en Algérie et au Maroc [16].

Achite M et Meddi M (2005)

Les données de cinq sous bassins de l'Oued Mina sur une période de 22 ans (1973 à 1995) ont été utilisées pour développer un outil statistique de quantification des apports. Les valeurs du transport solide trouvées pour l'automne sont les plus élevées. Cette variabilité s'explique par la variation du couvert végétal (sols nus) durant l'année et la nature agressive des pluies d'automne [17].

Larfi B et Remini B (2006)

L'étude est basée sur les données d'observation recueillies au niveau de la station de Lakhdaria s'étalant sur la période de 1984 à 1997. Ils concluent que les volumes les plus importants en transport solide se concentrent durant la période allant de décembre à mars (parfois même jusqu'à avril). Cette étude montre que la quantification du transport solide dans le bassin versant de l'Oued Isser dont les résultats semblent très cohérents avec les mesures directes de l'envasement dans la retenue de Béni Amrane.

Ghenim A, Seddini A et Terfous A (2007)

L'étude est basée sur les mesures instantanées des débits liquides et des concentrations réalisées par les services de l'A.N.R.H. Les auteurs se sont intéressés à l'Oued Mouillah qui constitue le plus important affluent de la Tafna. Pour ce faire, ils ont étudié, pour les différents épisodes de crue, leur rôle dans l'amplification du transport solide ainsi que le comportement du bassin lors de ces événements exceptionnels. Cette étude permet de souligner l'importance des crues dans la genèse et le cheminement des particules solides vers l'exutoire des bassins. Elle met aussi en évidence la complexité de ce phénomène dans les zones semi-arides [18].

Mekerta B et al (2008)

L'étude porte sur la caractérisation de la résistance au cisaillement des sédiments d'envasement de la retenue du barrage Fergoug situé au nord -ouest de l'Algérie. Les données des précipitations annuelles fournies par l'Institut Hydrométéorologique de Formation et de Recherche d'Oran, pour une période de 34 ans (1970 à 2003), pour les deux stations de Ghriss et de Matemore proches du SBV, ont permis d'estimer l'érosion spécifique annuelle. La quantification des apports solides par les études probabilistes de l'érosion spécifique effectuée sur le sous bassin versant de l'Oued Fergoug, a confirmé la grande irrégularité de l'érosion. La représentation graphique de la cohésion non drainée C_u montre une certaine variabilité mécanique pour les tranches de profondeurs choisies.

Cherif E, Errih M et Madani Cherif H (2009)

Ce travail constitue une première contribution à l'analyse des phénomènes hydrologiques, du transport solide et de la modélisation du bassin versant de la Mekerra (nord-ouest de l'Algérie). Il apporte beaucoup d'éléments de base à une recherche de modèles hydrologiques, régissant l'écoulement superficiel et le transport solide en suspension dans ce bassin. Sur la base des mesures continues réalisées dans la station de Sidi Ali Benyoub (Janvier 1950–Août 2001), ils ont calculé les différentes valeurs des paramètres de l'écoulement liquide et du transport solide. Ils ont déclaré que la station de Sidi Ali Benyoub apparaît être le principal foyer sédimentologique, fournissant la grande partie des matériaux transportés par l'oued. Ceci tient surtout aux fortes pentes des versants et à l'état du couvert végétal très faible dans cette partie du bassin versant de la Mekerra. En automne, le sol est encore dénudé, alors qu'au printemps la couverture herbacée est déjà développée et réduit considérablement la mobilisation des matériaux fins [19].

Bouchelkia H, Belarbi F et Remini B (2011)

L'étude consiste à évaluer le transport solide en suspension dans le bassin versant de l'oued Mouillah. Le principe adopté est basé sur des données hydrométriques des stations de jaugeage de sidi Belkheir contrôlant le bassin versant de l'oued Mouillah, et des analyses saisonnières et annuelles sur la période 1975-2000, et a permis de définir une méthode appropriée d'estimation des apports solides. Cette approche a permis de quantifier le transport solide en suspension, les résultats obtenus ont montré que les apports solides les plus abondants et réguliers sont en hiver. Ils attestent que le bassin versant de l'oued Mouillah est d'une érodabilité modérée, puisque la valeur maximale annuelle des apports solides trouvée est de $7,53 \cdot 10^4$ t [20].

Touaibia I et Ghenim A (2011)

L'étude se base sur les données de mesures instantanées de débits liquides et de concentration des sédiments en suspension enregistrées au cours de la période allant de 1973 à 1994 relevées à la station de Medjez. Cette étude examine 9 approches de

quantification statistique de l'érosion pour adopter celle qui estime l'apport solide avec un minimum d'erreur relative. Les deux modèles les plus adaptés considèrent un découpage par crue ou un découpage mensuel. La méthode qui tient compte uniquement des crues donne le meilleur résultat avec une erreur relative de 23%.

Hallouz F, Meddi M et Mahé G (2012)

Le travail est basé sur les données du bassin versant de l'Oued Mina. Les auteurs ont entamé une étude pour mieux comprendre le phénomène des exportations de matières solides en suspension véhiculées par les affluents du bassin de l'Oued Mina (Oued Cheliff), et de quantifier le flux des sédiments susceptibles de se déposer dans le barrage de Sidi M'hamed Ben Aouda (capacité de stockage de 153 millions de m³ (mis en service en Février 1978). Les transports solides en suspension dans le bassin versant de l'Oued Mina se déroulent essentiellement en automne, et secondairement au printemps, avec une plus faible ampleur. La charge spécifique moyenne de l'oued Mina est de 211 t/km²/an [22].

I-1-4- Quelques données sur le transport solide en Algérie

Les bassins versants du tell algérien dominés par le climat semi-aride sont caractérisés par une pluviométrie saisonnière et interannuelle irrégulière. Cette irrégularité a un impact direct sur l'action érosive et notamment sur le transport solide en suspension. Ce dernier dépend de plusieurs facteurs dont l'agressivité des averses, l'état du sol et la turbulence de l'écoulement.

Tableau I-1 : Quelques estimations de la dégradation spécifique en Algérie.

Année	Auteur	Bassin versant	La charge sédimentaire
2012	Hallouz.F –meddi.M- mahé.G [22].	Oued mina 1971-2002	211 t/km ² /an
2010	Hasbaïa et al	Oued Soubella 1974 - 1984	126 t /km ² /an
2009	Ouassila Fandi — Bouanani.A— Kamila -Baba Hamed — Abdelmalek- Bekkouche [23].	Oued sikkak 1972- 1989	170 t /km ² /an
2009	El amine cherif et al	l'Oued Mekerra 1950-2001	La moyenne 111,15 t/Km ² /an
2007	Megnounif .A	Oued sebdou 1988-1993 Oued mouillah 1977-1993	1120t/Km ² /an 126 t/Km ² /an

2005	Achite – meddi [18].	Oued Haddad Oued Taht Oued el Abd à Ain el Hamara Oued el Abd à takhmaret Oued Mina 1973-1995	212 t/Km ² /an 191 t/Km ² /an 117 t/Km ² /an 65 t/Km ² /an 187 t/Km ² /an
2003	Megnounif A	La haute tafna	1120 t/Km ² /an
2001	Terfous A –Megnounif A- bouanani A	Oued muilah 1977-1993	126 t/Km ² sur les 16 année

I-1-5- Problèmes liés au Transport solide

Les problèmes dépendants du transport solide peuvent être cités comme les suivants :

- ✓ Disparition des terres agricoles
- ✓ Décomposition des ressources en eaux potables
- ✓ Augmentation des coûts suivant les inondations
- ✓ Envasement des barrages et divers ouvrages hydrauliques etc .

Le problème le plus important et inquiétant est l'envasement des cuvettes des barrages.

I-2 Les crues

II-2-1- définition

Les crues sont un phénomène naturel. Toutefois, les catastrophes entraînées par les inondations sont le résultat d'une interaction entre ce phénomène naturel et des processus écologiques, économiques et sociaux [24].

La crue correspond à l'augmentation de la quantité d'eau qui s'écoule dans la rivière et peut concerner l'ensemble du lit majeur de la rivière . De nombreux géographes et hydrologues ont adopté le critère qu'une rivière est en crue lorsque son Débit est trois à cinq fois supérieur à son débit moyen. De façon plus pratique, on admet Qu'une rivière est en crue lorsqu'elle déborde des limites de son lit mineur. Il s'a git d'un phénomène naturel périodique qui n'est exceptionnel que lorsque les débits deviennent considérables par rapport à son module ; on parle alors de crue critique, la quelle peut engendrer une inondation sur les zones riveraines.

Une crue se caractérise par son hydrogramme graphique qui représente les variations de débit en fonction du temps. Plus précisément, c'est la partie montante de ce hydrogramme qui est appelé « crue », la partie descendante étant « la décrue ». Une crue se définit par différents critères : sa genèse, sa durée, sa fréquence, son débit de pointe et son volume [6].

II-2-2- Les causes de la crue :

La crue est la conjugaison brutale de plusieurs facteurs :

- l'augmentation brutale du débit en amont provoqué soit par des précipitations importantes en amont et sur site, soit par une décharge brutale des eaux en amont due à un réchauffement rapide (fonte des neiges ou de glacier) ou un évènement accidentel (rupture de barrage...).

Cet apport excessif est renforcé par une diminution de l'infiltration et du stockage en amont (urbanisation excessive et non contrôlée, antécédents pluvieux récents), par l'encombrement du lit du cours d'eau provoquant des mini barrages qui cèdent lorsque la pression des eaux est trop forte.

- La baisse de l'écoulement sur le site et en aval causée par l'encombrement du cours d'eau à caractère accidentel (éboulement, glissement de terrain, travaux dans le lit du cours d'eau) ou due à la négligence (urbanisation, absence de nettoyage).

Parmi ces facteurs, certains sont prévisibles, d'autres ne le sont pas, certains sont imparables, d'autres peuvent être évités. En ce qui concerne les causes imparables (précipitations, sol saturé ...), la prévention est basée uniquement sur la mise en alerte et la surveillance [25].

II-2-3- Facteurs aggravant les crues**❖ En milieu rural**

1. Le développement des grandes cultures au détriment des prairies fourragères a eu entre autres pour conséquence la disparition des haies et des taillis bocagers qui avaient un effet de ralentissement et de rétention de l'eau.
2. Le drainage des marais et l'assèchements de zones humides qui jouaient un rôle d'éponge ont accéléré les vitesses de transfert de l'eau vers les cours d'eau.
3. Le recalibrage des cours d'eau (suppression de méandres par exemple) a accéléré les vitesses d'écoulement de l'eau vers l'aval.

❖ En milieu urbain

L'imperméabilisation des sols dans les agglomérations a accentué le ruissellement pluvial [12].

II-2-4- Le processus de formation des crues

Comprendre ce processus revient à analyser les différents facteurs concourant à la formation et à l'augmentation temporaire des débits d'un cours d'eau. En simplifiant, on distingue:

- l'eau mobilisable, constituée de l'eau reçue par le bassin versant.
- Le ruissellement, qui correspond à la part de l'eau qui n'a pu s'infiltrer dans le sol. Il dépend de la nature du sol, de son occupation de surface et de l'intensité de l'épisode pluvieux
- Le temps de concentration, qui est défini par la durée nécessaire pour qu'une goutte d'eau partant du point le plus éloigné de l'exutoire du bassin versant parvienne jusqu'à celui-ci.
- La propagation de l'onde de crue, qui est fonction de la structure du lit et de la vallée alluviale, notamment de la pente et des caractéristiques du champ d'inondation.

a- influence des facteurs naturels

- **Surface et forme du bassin versant** : ainsi pour une même surface, l'allure de l'hydrogramme de crue résultant d'une pluie donnée est très différente suivant la forme du bassin versant ; un bassin très allongé ne réagit pas comme un bassin de forme ramassée ce qui a amené l'utilisation d'un indice pour évaluer le « coefficient de compacité ». En principe plus cet indice est faible, plus la concentration des eaux apportées par les affluents est rapide et plus les crues risquent d'être brutales et bien différenciées [26].
- **Configuration du relief des lits des cours d'eau** : La pente exerce une influence directe sur la rapidité de l'écoulement et donc sur la puissance de la crue. Si le profil en long du cours d'eau est assimilable à une suite de segments plus ou moins pentus, il exerce une action visible sur la crue. Le profil en travers est aussi important ; pour un même débit de crue, un cours d'eau encaissé verra sa hauteur d'eau monter beaucoup plus vite qu'un cours d'eau à prof il plus évasé. En contrepartie, ce dernier a de plus grands risques de débordements [26].
- **Densité des cours d'eaux et perméabilité du bassin versant** : ainsi la densité des cours d'eau était fonction de la nature des terrains, le réseau est d'autant plus développé et complexe que le terrain est moins perméable. On comprend aisément que plus l'imperméabilité est forte, plus les eaux météoriques sont disponibles pour le ruissellement de surface. De ce point de vue, à priori les cours d'eau drainant les régions imperméable sont une plus forte probabilité à développer des crues dangereuses [26].

- **Facteurs biogéographiques** : la végétation joue un rôle climatique complexe, elle agit sur le ruissellement, retient une part des pluies, évapore l'eau, etc. L'on sait depuis longtemps qu'une couverture végétale dense réduit et ralentit considérablement l'écoulement. D'abord la forêt intercepte la pluie et la neige, cette dernière pouvant mettre très longtemps à fondre sous couvert. En suite elle accroît fortement l'évapotranspiration ; pour la zone tempérée celle - ci atteint ou dépasse fréquemment 500 à 700 mm /an. On comprend facilement que cette la limite le ruissellement direct et l'alimentation des cours d'eau.

b- Influence des facteurs anthropiques

- **Occupation de zones riveraines** : la concentration des personnes et l'accumulation des biens dans les champs d'inondation génère le risque d'inondation par accroissement des enjeux, augmentation des vulnérabilités et absence de prévention - précaution.
- **Imperméabilisation forte (conséquences d'aménagements urbains ou agricoles);**
- **Défiance des dispositifs de protection (digues, déversoirs).** [26]

II-2-5- Les types de crues

En général, on distingue deux types de crues :

- a) **Les crues fluviales**, Elles se caractérisent par des montées relativement lentes des eaux et peuvent être prévues plusieurs heures, voire plusieurs jours à l'avance. En dépit de leur évolution lente, les crues de plaine peuvent être accompagnées localement de phénomènes très dangereux, notamment lors d'une débâcle, c'est à dire lors de la rupture d'un obstacle d'un cours d'eau, après que l'écoulement des flots ait été bloqué par des embâcles (amoncellement de débris) sous les ponts .C'est le cas des inondations de grands bassins versants ; elles résultent le plus souvent des précipitations importantes généralisées sur de grandes étendues et caractérisées par leurs quantité et leurs durée qui peut atteindre 10 à 15 jours.

En Algérie, ce type d'inondation survient généralement en saison hivernale entre les mois de Décembre et Mai.

b) crues torrentielles

Lorsque des précipitations intenses, telles des averses violentes, tombent sur tout un bassin versant, ou sur une portion de bassin versant, les eaux ruissellent et se concentrent rapidement dans le cours d'eau, engendrant des crues torrentielles brutales et violentes. Le cours d'eau transporte de grandes quantités de sédiments, ce qui se traduit par une forte érosion du lit et un dépôt des matières transportées. Ces dernières peuvent former des barrages, appelés embâcles, qui, s'ils viennent à céder, libèrent une énergie pouvant aggraver les dégâts [29].

II-2-6- Les différentes crues

On définit les crues en fonction du risque de survenue de celle-ci sur une période donnée :

- ✓ **Crue décennale** : Elle correspond à un volume de précipitation exceptionnel qui chaque année à 1 chance sur 10 de se produire;
- ✓ **Crue trentennale** : elle a chaque année 1 chance sur 30 de se produire;
- ✓ **Crue centennale** : elle a chaque année 1 chance sur 100 de se produire [30].

Plus cette période est grande, plus les débits et l'intensité sont importants.

On distingue par ordre croissant :

- les crues fréquentes, dont la période de retour est comprise entre un et deux ans ;
 - les crues moyennes, dont la période de retour est comprise entre dix et vingt ans ;
 - les crues exceptionnelles, dont la période de retour est de l'ordre de cent ans ;
 - la crue maximale vraisemblable, qui occupe l'intégralité du lit majeur.
- La crue de projet est une crue de récurrence donnée (fonction de l'environnement et d'impératifs technologiques) servant à calculer la résistance des ouvrages de génie civil : ponts, barrages... [31]

Pour rappel nous citons quelques crues et inondations catastrophique survenus sur le territoire algérien :

- ✓ Les précipitations exceptionnelles survenues le 28 au 31 mars 1974 sur plusieurs régions du centre ont causés uniquement dans la wilaya de Tizi-Ouzou 52 morts, 4570 maisons détruites, 130 villages isolés et plus de 18000 sinistrés. Les dégâts matériels ont été estimés à l'époque à 27 millions de Dinars, 13 ponts et quelques Kilomètres de route ont été emportés par les crues.
- ✓ La plus forte crue historique de Oued El Hammam dans le bassin de la MACTA, enregistrée le 27 Novembre 1927(estimé à environ de 5000 m³/s) à amener la rupture totale de l'ancien Barrage Fergoug près de Mascara.
- ✓ Les pluies exceptionnelles (plus de 240mm), abattu sur Bouzaréah dans la nuit de 9 au 10 Novembre 2001, provoquées par un orage local ont généré une crue catastrophique, estimée à 730m³/s, sur un bassin versant de 10 km². Cette crue à arracher et emporté avec elle d'énormes quantité de terre (boue), arbres et détritrus de toute sorte. La violence meurtrière de cette crue survenue sur Bab El Oued (Alger) à fait presque 1000 morts et importants dégâts matériels [20].
 - ✓ Inondations d'Octobre 2008 (Ghardaïa) : plus de 40 morts et des dégâts matériels très lourds ;
 - ✓ Inondations d'Octobre 2000 (ouest algérien) : plus de 24 décès ;

- ✓ Inondations du 24 Octobre 2000 (Sidi Bel Abbès) : 02 décès et d'importants dégâts matériels ;
- ✓ Inondations d'Octobre 1993 (Oued R'hiou, wilaya de Ghilizane) : 22 décès et 14 Blessés [26].

II-1- Introduction

L'érosion et le transport solide qui en découle sont le résultat de l'action combinée de nombreux facteurs parmi lesquels on peut citer les facteurs géométriques, les facteurs topographiques, les facteurs pédologiques et les facteurs anthropiques. Tous ces facteurs caractérisent le bassin versant de oued El Abd, ils sont exposés comme suit :

II-2- Situation géographique et limites

Le bassin versant de l'oued El Abd fait partie du bassin de l'oued mina

Le bassin versant d'Oued El Abd est situé dans la région occidentale du nord de l'Algérie. Géographiquement, Il s'inscrit entre les latitudes 34°40' et 35°25' Nord et 0°20' et 1°10' Est.

- Il est limité au nord-ouest par le bassin versant d'oued El Haddad, à l'ouest on trouve les monts de Saida, au Sud les plateaux telliens contenant aussi les monts de Freneda et de Saida d'une altitude de 900 à 1300 m, où affleurent souvent des calcaires et à l'Est le bassin versant d'Oued El Taht.

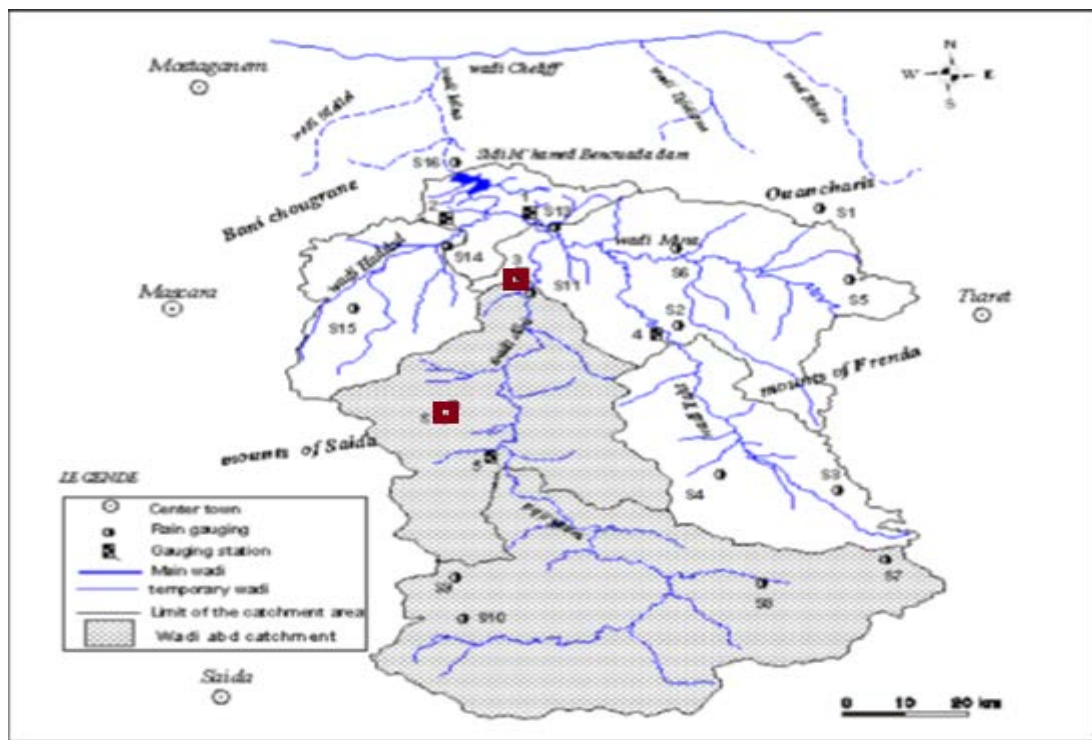


Figure II-1 : Le bassin de captation d'Oued Abd où figurent les postes de mesure d'Ain Amara et Takhmaret

Tableau II-1 : Caractéristiques des stations hydrométriques du le bassin versant de oued El Abd

N°	Station	S (Km ²)	X(Km)	Y(Km)	Z(m)
1	Ain Amara	2480	316,45	233,12	300,00
2	Takhmaret	1553	316,40	203,10	600,00

II-3- Morphométrie des sous bassins versants

II-3- 1- 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.

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 le bassin versant de l'oued El Abd à Ain Amara et Takhmert (1,26), (1,43) sont allongés.

II-3-2- Caractéristiques topographiques

La plupart des facteurs climatiques et hydrologiques sont fonction de l'altitude (Benaabidate, 2000). 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 à 1 200 m sont très peu étendues dans le bassin versant de l'oued Mina, 4,14 % de surface dans le bassin versant de l'Oued El Abd à Takhmert. Les courbes hypsométriques fournissent une vue synthétique de la pente du bassin, donc du relief. Ces courbes représentent la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude (figure II-2).

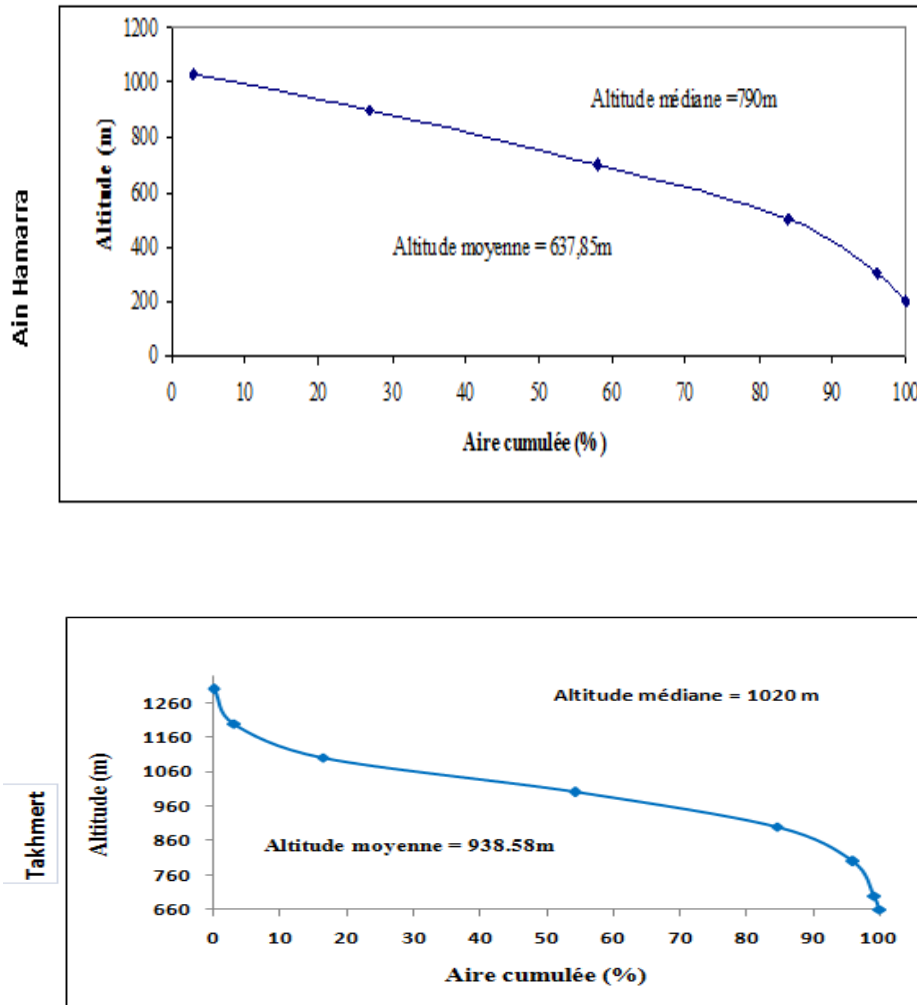


Figure II-2 : Courbes hypsométriques de bassin versant de l'Oued El Abd

II-4- Caractéristiques hydrographiques

Le réseau hydrographique désigne l'ensemble des canaux de drainage naturels, permanents ou temporaires, par lesquels s'écoulent les eaux provenant du ruissellement ou restituées par les nappes souterraines. Oued Abd est tributaire d'Oued Mina; lui même est tributaire principal de Oued Chélif, le fleuve principal de l'Algérie. La longueur totale de son cours d'eau est d'environ 118 km. L'Oued El Abd est formé à l'amont par la confluence de l'Oued Chiba et l'Oued Dez. Le premier est également formé par la confluence de l'Oued Tounkira et l'Oued Sidi Yahia, l'Oued Tounkira prenant sa source aux environs d'Ain Kermès (cote 1100-1150m), le deuxième, dans la daïra de Frenda (1100-1200m). Il traverse les monts de Saida, avec une orientation Sud-Est – Nord-Ouest

II-5-Profil en long des Oueds :

Le profil en long de l'Oued Mina est tracé à partir des cartes topographiques au 1/20000^{ème} comme le montre la figure II-3.

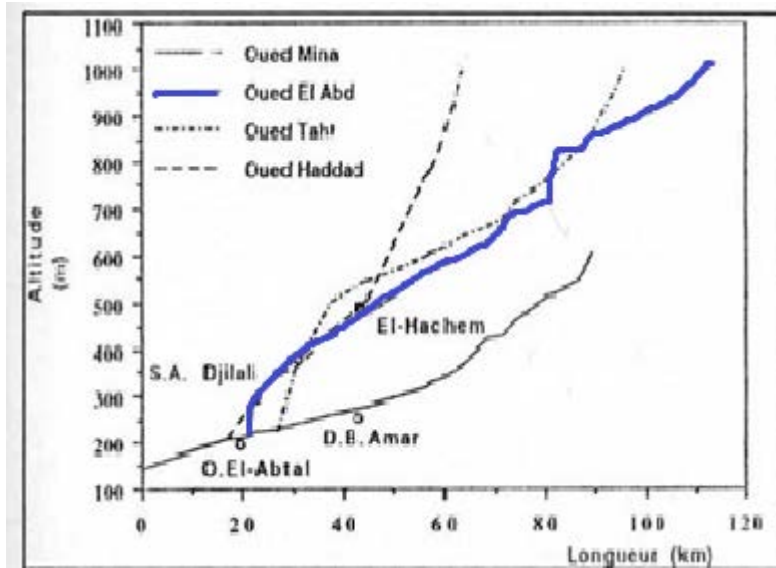


Figure II- 3 : Profil en long de l'Oued Mina et ses affluents (Achite, 2002).

Tous les paramètres hydromorphométriques des sous bassins versants sont donnés par le tableau II-2.

Tableau II-2 : Caractéristiques physiographiques des bassins versants de l'oued El Abd

Paramètres		Oued Abd à Ain Amara	Oued Abd à Takhmert	
Caractéristiques de forme	S	Km ²	2480	1553
	P	Km	225	186,48
	Kc	-	1,26	1,43
Caractéristiques topographiques	H _{max}	m	1339	1265
	H _{min}	m	288	650
	H _{moy}	m	896	938,58
	H _{5%}	m	1232	1170
	H _{95%}	m	404	810
	H _{50%}	m	874	1020
	I _g	%	6,2	27,70
I _p	%	1,04	2,01	

	I_m	%	48	
Caractéristiques hydrographiques	$\sum_{i=1}^N L_i$	Km	21974	/
	D_d	Km. Km ⁻²	4,48	3,84

II-6- Géologie du bassin

La géologie d'un bassin versant est un facteur très important dans la détermination du régime des cours d'eau qui drainent ce bassin. Elle influe directement sur l'évapotranspiration par l'effet thermique dû à la couleur des sols et par le développement de la végétation. Le bassin peut être divisé en deux zones importantes : montagnes (plateau de Saida dans le sud et plateau de Frenda, de Tiaret, dans le nord), et la plaine du Mina.

Le bassin de captation de Oued Abd se compose principalement des zones Jura blanc (marne-pierre à chaux, 45,9% de la surface) et grandes zones en Jura brun (dolomites calcaires et karstiques, 20,2%) et pliocène (7,4%) (Achite, 1999).

On distingue quatre catégories de formation du bassin versant de l'oued Mina:

- Zone perméable à aquifère draine : elle est représentée par les formations quaternaires. Elle se trouve la partie supérieure de l'oued el Abd.
- Zone à perméabilité moyenne ou faible (formations alternées d'argiles, grès et calcaires). On trouve cette formation dans le Nord du bassin versant de l'oued Mina et de petites surfaces du bassin versant de l'oued el Abd à Ain Amara.
- Zone perméable en grand (calcaires). Cette formation est la plus étendue dans le bassin versant de l'oued Mina.
- Zone relativement imperméable (argiles et marnes). Ces formations occupent la partie Nord du bassin versant de l'oued Mina.
- La partie méridionale, de roches d'âge jurassique, composées de calcaires et marnes armées de nombreux bancs de calcaire et de grès; ceux-ci limitent l'incision des ravins.

La zone jurassique du bassin méridional est érodée.

Le causse jurassique a été fortement entaillé par la Mina et par ses affluents l'Oued El Taht et l'Oued El Abd qui y ont creusé d'importantes vallées, plus resserrées et plus encaissées à l'aval, au contact des formations miocènes. Cette disposition est très favorable à la création de barrages réservoirs.

Dans la région étudiée, l'oued el Abd a formé de large vallée. Dans cette vallée, les marnes jurassiennes sont elles aussi sujettes à l'érosion, mais là, un niveau stable d'érosion a été atteint, et c'est seulement localement que l'on trouve des phénomènes d'érosion accentués

Tableau II-3 : Les différentes formations lithologiques du bassin versant de l'oued Mina.

Désignation	Période	ERE	S (Km ²)	%
Sables fins rouge et jaune clair, dunes	Pliocène	T E R T I A I R E	52,36	1,07
Grès sableux avec en partie un peu de cimentation carbonatée, calcaires sableux et croûtes pouvant atteindre 1 m d'épaisseur.	Pliocène		307,19	6,27
Grès bruns à grains fins d'origine marine avec cimentation carbonatée - alternant avec des couches de grès marins et des calcaires, en partie conglomérat bien ronds	Miocène Sup.		179,77	3,67
Marnes sableux alternant en partie avec des bans de grès peu importants	Miocène Sup.		72,56	1,48
Dépôts de carbonates et de grès en partie sous forme de conglomérats et de brèches et par endroits de minces plaques de grès et de marnes.	Miocène Inf.		225,36	4,60
marnes avec des intercalations de minces plaques de grès et de bancs de limon.	Miocène Inf.		169,25	3,45
Bancs de grès et de carbonate important, avec de rares intercalations de couches de marnes	Oligocène		69,46	1,42
marnes verts clair avec sporadiquement de faibles bancs de grès et de limon en partie de marnes sableuses foncées.	Oligocène		232,91	4,75
Calcaires fossilisés surtout d'origine marine et calcaires à nummulites, en partie conglomérat bien ronds, grès mal assortis avec cimentation carbonatée.	Eocène, Moy.		18,26	0,37
calcaires à foraminifères, grès marins en alternance avec des marnes colorées.	Eocène Inf.		67,04	1,37
Marnes avec intercalations de bancs peu importants de carbonates et de grès.	Crétacé Sup.	C R E T A C E	9,85	0,20
Bonne couche de grès à grains fins jaune- rougeâtres.	Crétacé Sup.		51,69	1,05
Importante quantité de calcaires gris et dolomies	Crétacé Sup.		49,10	1,00
Marnes claires à verdâtres, pierres limoneux	Crétacé Inf.		95,56	1,95

Calcaires en partie sableux et par endroits stromatolithe	Crétacé Inf.		69,12	1,41
Calcaires et dolomies, par endroits bien déposés avec des intercalations de marnes et en partie de conglomérats et du calcaire sableux.	Jurassique Sup.	J	756,29	15,43
Calcaires et dolomies alternant en général avec des marnes claires et par endroits avec des calcaires sableux et des marnes	Jurassique Sup.	U		
		R	405,22	8,27
		A		
		S	1078,10	22,00
Dominance des marnes claires, grises et vertes alternant avec de faibles bancs de calcaires et de dolomies	Jurassique Sup.			
Importante quantité de calcaire gris en partie et dolomies à gros grains, surface karstique	Jurassique Moy	S	736,10	15,02
		I		
Importante quantité de calcaire gris et dolomies, surface karstiques avec éboulis	Jurassique Moy.	Q	227,60	4,64
		U		
Alternance de gris quartziques, dolomies roche limoneux et marnes	Jurassique Inf.	E	10,29	0,21
		T		
		R		
		I	7,89	0,16
		A		
		S		
Eau libre				
Total			6000,00	100

II-7- Le climat et précipitations :

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 mars, et la saison sèche dure d'avril à août /Septembre.

II-7-1- Etude des précipitations

L'étude de la pluviométrie de la région est basée sur les données de la station Ain Amara et Takhmaret concerne la période 2000- 2009.

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 de 10 ans; nous avons relevé toutes les années pluviométriques extrêmes humides et sèches.

Sachant que :

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

Avec :

p: Moyenne de la série; σ : Écart type.

Tableau II-4 : Moyenne, écart type et coefficient de variation de la série pluviométrique (2000-2009)

Station		sept	oct.	nov.	déc.	janv.	fév.	mars	avril	mai	juin	juil.	aout	annuel
Ain Amara	Pm en (mm)	13,1	30,1	35,3	32,9	33,8	33,5	23,2	29,1	25,9	2,6	1,2	5,7	266,3
	σ	9,9	36,5	23,8	24,8	23,4	21,6	21,4	23,7	22,0	4,9	3,8	10,7	49,4
	Cv	0,8	1,2	0,7	0,8	0,7	0,6	0,9	0,8	0,8	1,9	3,2	1,9	0,2
Takhmaret	Pm en (mm)	19,74	29,77	29,26	23,08	27,79	21,46	21,66	25,05	30,13	7,99	2,85	4,34	238,14
	σ	14,19	22,53	12,67	13,56	20,78	10,54	18,28	14,06	26,96	9,71	3,16	7,43	42,37
	Cv	0,72	0,76	0,43	0,59	0,75	0,49	0,84	0,56	0,89	1,22	1,11	1,71	0,18

La valeur du coefficient de variation relative à la période (1999/2000-2009/2010) pour Les deux stations du bassin d'oued El Abd (Tableau.II-4), est de 0,2 à Ain Amara et 0,18 à Takhmaret.

La Figure II-4 représente l'évolution annuelle des précipitations à Ain Amara et Takhmaret exprimée en fonction de l'indice d'anomalie pluviométrique développé par Lamb, à savoir la différence entre la pluviométrie annuelle et la pluviométrie moyenne divisée par l'écart type de la série de 2000 à 2009.

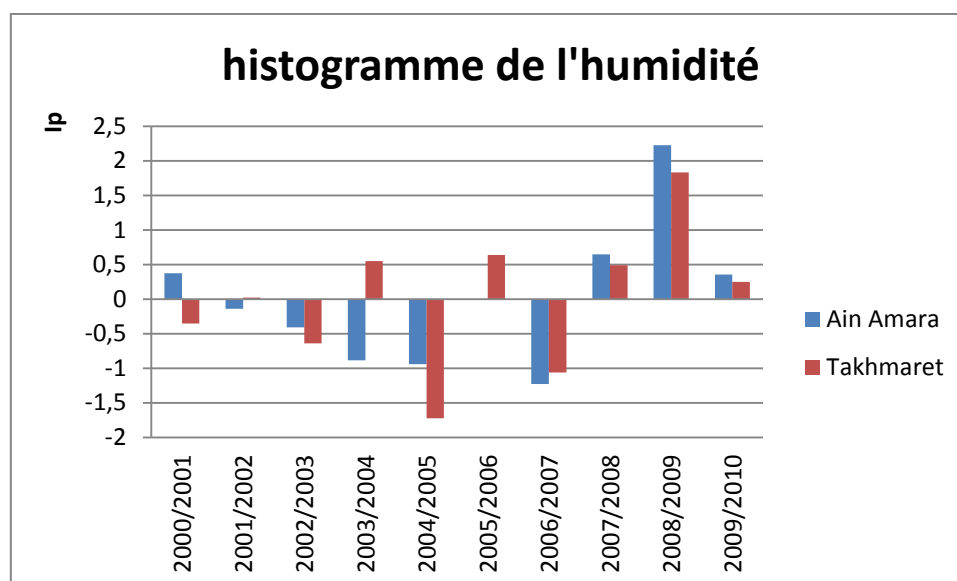


Figure II-4 : Histogramme des moyennes centrées et réduits et précipitations

A titre d'exemple, l'année la plus pluvieuse pour ces séries est 2008/2009 aux deux stations

Avec un indice de précipitation 0,49 à Ain Amara et à 0,65 Takhmaret.

L'année la plus sèche est l'année 2004/2005 à Takhmaret, avec un indice de précipitation de -1,72 et l'année 2006/2007 avec un indice de -1,23 à Ain Amara.

a- Etude de variabilités inter annuelles des précipitations

Tableau II-5 : Les précipitations interannuelles à Ain Amara

Année	Pj max (mm)	Pj moy (mm)	Nombre de jours pluvieux	Jour du max	Pluie annuelle (mm)
2000/2001	44,6	9,87	51	23/10	284,8
2001/2002	45	13,53	43	10/11	259,5
2002/2003	22,4	7,90	56	16/04	246,2
2003/2004	37,2	10,27	48	10/05	222,7
2004/2005	26,4	7,52	51	26/12	219,8
2005/2006	24,9	9,70	48	30/01	266,1
2006/2007	18,4	6,87	49	21/12	205,6
2007/2008	24,8	9,09	57	29/10	298,3
2008/2009	30,6	12,40	81	14/12	376,2
2009/2010	33,8	10,58	56	06/03	283,9

La première observation est l'irrégularité à l'échelle inter annuelle (Entre 205,6 mm en 2006 et 376,2 mm en 2008) et avec une pluie moyenne inter annuelle Calculée sur 10 ans de 266,31 mm et un nombre de jours entre 43/81 à la station d'Ain Amara.

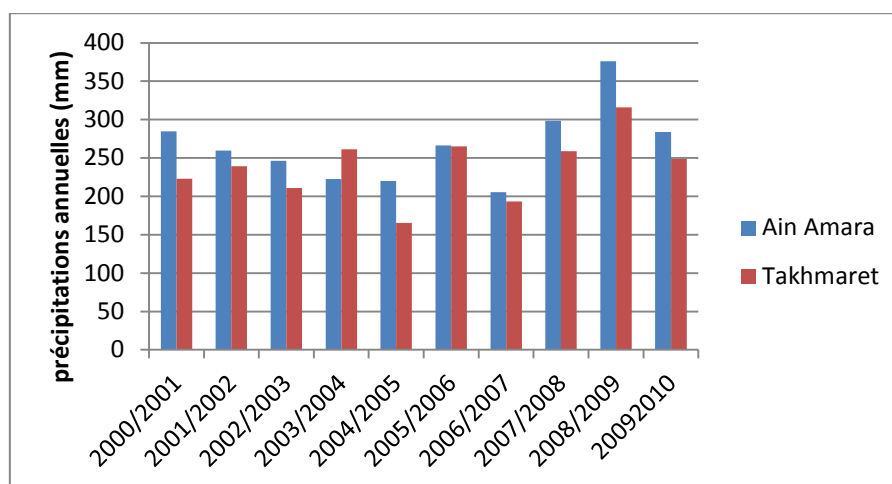
La pluie maximale journalière variée entre 18,6 mm et 44,6mm.

Tableau II-6 : Les précipitations interannuelles à Takhmaret

Année	Pj max (mm)	Pj moy (mm)	Nombre de jours pluvieux	Jour du max	Pluie Annuelle (mm)
2000/2001	40,1	10,58	36	23/10	223,1
2001/2002	49,7	13,15	45	06/05	239,1
2002/2003	21,8	7,24	64	07/06	211
2003/2004	28,3	9,31	55	10/05	261,5
2004/2005	13,7	6,51	53	30/10	165,2
2005/2006	38,5	11,28	57	25/04	265,1
2006/2007	17,5	6,74	56	29/03	193,1
2007/2008	18,7	8,14	54	26/05	258,8
2008/2009	20,4	10,77	69	07/02	315,8
2009/2010	22,4	10,98	51	06/03	248,7

Les plus fortes valeurs concernent la pluie journalière maximale où elle est comprise entre 13,7 mm et 49,7 mm, le nombre des jours des pluies varie entre 36 et 69 jours.

Après les résultats de tableau on a remarqué une forte irrégularité dans la station de Takhmaret, les pluies varient entre 165,1 mm en 2005 et 315,8 mm en 2008) et avec une pluie moyenne inter annuelle calculée sur 10 ans de 238,14 mm à la même station.

**Figure II-5** : Courbe de variation des précipitations annuelles

Au niveau des deux stations Ain Amara et Takhmaret la variation temporelle des précipitations annuelles figure II-5 montre une irrégularité.

b- Etude des précipitations saisonnières

La répartition saisonnière est particulièrement importante pour le développement des annuelles dont 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, leurs extension sera médiocre. [1]

- ❖ Hiver (Décembre, Janvier, Février)
- ❖ Printemps (Mars, Avril, Mail)
- ❖ Eté (Juin, Juillet, Aout)
- ❖ Automne (Septembre, Octobre, Novembre)

Tableau II-6 : Précipitation saisonnières des deux stations

Station / saison	Automne	Hiver	Printemps	Eté
Ain Amara	78,55	100,14	78,15	9,47
Takhmaret	78,77	72,33	76,84	15,18

La distribution saisonnière de la précipitation est aussi variable selon la région analysée comme on peut constater sur la figure suivant

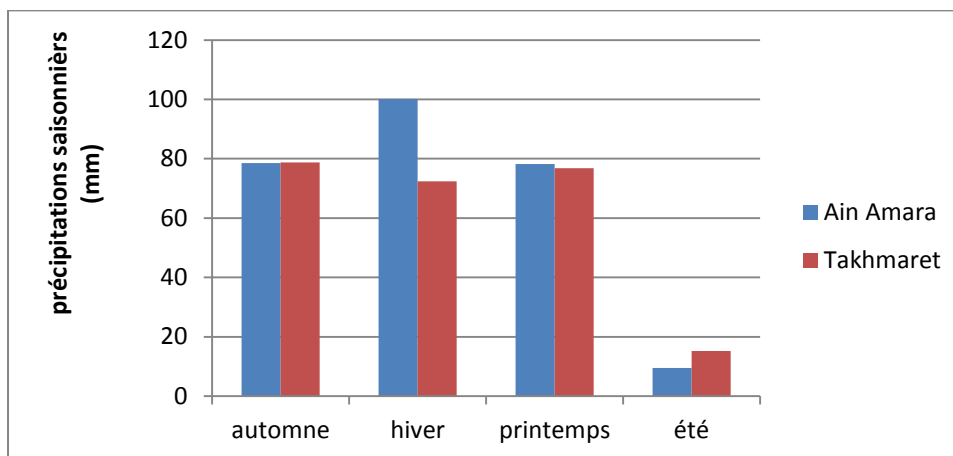


Figure II-6 : Histogramme des précipitations saisonnières

La variation de précipitation saisonnière d'Ain Amara et Takhmaret illustre à la figure II-6 montre que l'été correspond à la saison la plus sèche dans les deux stations. L'hiver forme une super saison humide ou s'effectuée la plus grande partie des écoulements à la station de Ain Amara.

On constate que le début de la saison des pluies est caractérisé par des pluies de cumul relativement important.

c- Etude de variabilité mensuelle

La répartition mensuelle des précipitations dans l'année et ses variations conditionnent, en relation avec les facteurs thermiques, l'écoulement saisonnier et par là même le régime des cours d'eau, l'érodabilité des sols et le transport des matériaux en suspension.

Tableau II-7 : Précipitations mensuelles à la station d'Ain Amara

mois	Pj max (mm)	Pj min (mm)	Pj moy (mm)	Nombre de jour pluvieux	Jour de max	Totaux (mm)
Sept	16,5	0,30	6,66	41	28/09/2008	131,3
Oct	44,6	0,3	12,17	69	23/10/2000	301,3
Nov	45	2,20	15,6	65	10/11/2001	352,9
Déc	30,6	3,80	14,99	69	14/12/2008	328,72
Jan	25,3	0,80	11,93	79	26/01/2009	338
Fev	19,8	4,80	11,71	72	27/02/2002	334,7
Mars	33,8	00	10,08	47	06/03/2009	232,2
Avril	29,5	0,90	12,39	51	19/04/2008	290,6
Mai	44,5	0	14,42	46	06/05/2001	258,7
juin	10,3	0	1,69	11	08/06/2003	25,7
Juil	10,8	0	1,08	2	15/07/2007	11,9
Aout	22	0	4,53	5	17/08/2009	57,1
Annuel	45	18,4	30,81	540	10/11/2001	/

Tableau II-7 : Précipitation mensuelles à la station de Takhmaret

mois	Pj max (mm)	Pj min (mm)	Pj moy (mm)	Nombre de jour pluvieux	Jour de max	Totaux (mm)
Sept	13,2	0	8,35	34	28/09/2008	177,7
Oct	40,1	4,3	14,44	51	23/10/2000	297,7
Nov	33,1	3,20	13,51	64	10/11/2001	292,6
Déc	12,7	2,80	7,34	72	14/12/2008	230,8
Jan	25,5	3,1	9,06	73	26/01/2009	277,9
Fev	20,4	2,1	8,38	66	27/02/2002	214,6
Mars	22,4	00	9,72	46	06/03/2009	216,6
Avril	38,5	0,30	13,59	52	19/04/2008	250,5
Mai	49,7	0	15,08	44	06/05/2001	271,2
juin	21,8	0	5,94	19	08/06/2003	79,9
Juil	6,7	0	2,24	13	15/07/2007	28,5
Aout	13,3	0	3,34	6	17/08/2009	43,4
Annuel	49,7	13,7	27,11	540	10/11/2001	/

On constate que les pluies journalières maximales se concentrent principalement sur les deux mois Octobre et Mai, avec des valeurs de ces deux mois respectivement 44,6mm et 44,5mm à Ain Amara et 40,1mm et 49,7mm à Takhmaret. Comme on peut l'observer sur la figure II-7

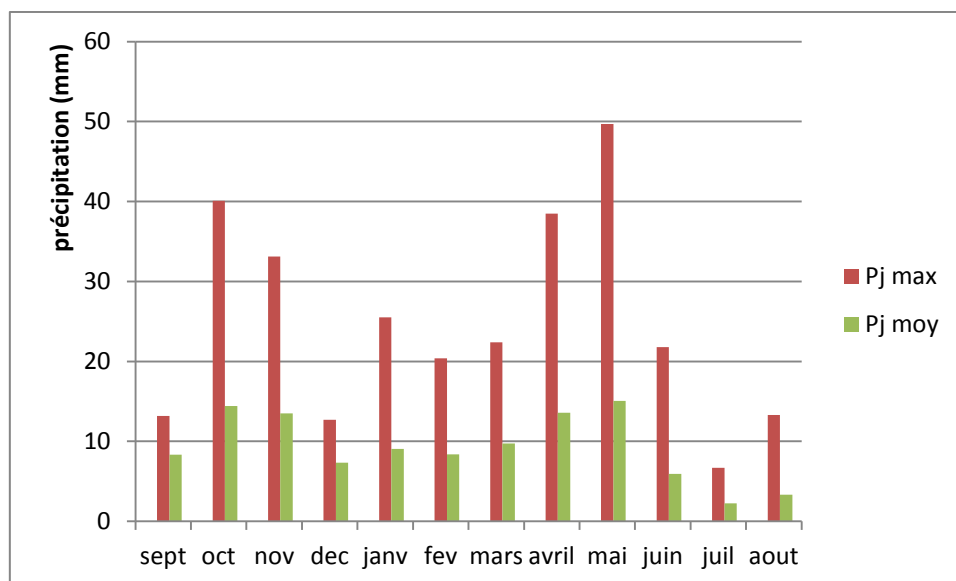


Figure II-7: Histogramme des précipitations maximales mensuelles

L'histogramme des pluies mensuelles moyennes décrit le régime pluvieux de la région, en général le minimum des précipitations s'observe au mois de juin, juillet et Aout avec des pluies journalières maximales estimées à respectivement 21,8 - 6,7 et 13,3mm, et le maximum au mois de novembre, janvier et février à la station de Ain Amara et le minimum des précipitations s'observe au mois de juillet et Aout et le maximum au mois de octobre, novembre et mai. Le mois le plus sec de l'année au niveau de ce sous bassin correspond au mois de Juillet.

II-7-2-Température

La température est l'un des éléments les plus importants pour caractériser le type de climat et déterminer son régime d'humidité. Les conditions de température varient à la cour de la journée et selon l'intensité d'insolation.

Dans le bassin de oued Mina, on a une seule station qui dispose de données climatologiques, c'est en effet la station du barrage Essaada (SMBA). Ainsi, pour pouvoir établir des comparaisons à l'échelle du bassin, on a pris également en considération des données des stations de Chélif (aéroport) et Frenda (Tiaret), pour leur proximité du bassin.

Tableau II-8 : Températures enregistrées aux stations de : Chélif, SMBA et Frenda (°C).

Station/Mois	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUILL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC	Ann.	Ampl
Chélif (1965-2000)	16,05	17,99	20,68	22,95	27,44	32,93	37,53	37,25	32,86	26,58	20,88	17,18	25,86	21,48
SMBA (1999-2009)	12,56	14,59	15,83	17,24	21,61	26,02	27,99	28,21	24,24	22,60	15,60	13,14	19,97	15,65

Frenda (1971-2000)	10,29	11,74	13,37	15,59	19,5	24,08	27,75	28,14	24,11	19,61	14,75	11,18	18,34	17,85
-----------------------	-------	-------	-------	-------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	--------------	--------------

SMBA : Sid Mhamed Ben Aouda

Selon les données de celles-ci (tableau II-8), on observe une tendance à la diminution de la température moyenne annuelle du Nord du bassin vers l'intérieur (25,85C° à Chéelif, 19,97C° au barrage SMBA et 18,34C° à Frenda). Les températures mensuelles suivent ce même schéma, mais leur décroissance est plus rapide en saison froide qu'en saison chaude. Les amplitudes des températures annuelles augmentent en sens inverse : 17.85C° à Frenda, 15,65C° à SMBA et 21,48C° à Chéelif, c'est-à-dire, que l'on observe des températures plus élevées en été et plus basses en hiver. Les températures moyennes annuelles oscillent entre 10C° et 16C° en janvier et entre 28C° et 37C° en août.

L'humidité relative, sur ce bassin, en hiver varie de 69 à 78 % et en été de 38 à 48 %

Le bassin versant de l'oued Mina est marqué par une faible pluviosité (environ 350 mm pour la période 1931/2007), et une évapotranspiration annuelle de l'ordre de 910,07 mm.

II-7-3- Evapotranspiration potentielle

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'ETP moyenne annuelle dans la zone d'étude s'élève à environ 990 mm (ANRH)

II-7-4- Vents

Les vents dominants sont ceux du Sud et ceux du Sud-Ouest de mai à octobre, ils sont chauds et secs : 2 à 3 jours de siroco en juillet et août. En période hivernale, ils viennent du Nord et Nord Est.

II-8- Couvert végétal

Le 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).

50% de la zone jurassique du bassin méridional est couvert par une densité variable de végétation. Les forêts couvrent 5.8% de cette zone, principalement de jeunes plantations des pins d'Aleppo (halepensis de pinus). Deux formes de frotter couvrent 32% du bassin de captation : frotter avec le Pistacia et l'Olea, et frotter avec le Tetraclinis. En plus de la végétation naturelle, la végétation herbacée se compose principalement des collectes de céréale qui forment les principales cultures permanentes (Kouri, 1993 ; Mahieddine, 1997).

L'allégement de bassin montre des pentes entre 0,12% et 0,25% sur les montagnes jurassiques (Achite, 1999). L'érosion hydrique est la plupart du temps intensive dans les parties montagneuses nordiques et occidentales sur le bassin d'oued Abd.

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.

III-1- Généralités

La plus grande partie des débits solides qui transitent dans les cours d'eau est le fait des crues, ce qui nécessite des mesures nombreuses et souvent difficiles.

La charge solide des différents cours d'eau est calculée en utilisant soit des formules empiriques prévisionnelles, soit les données des stations de jaugeages.

A partir des stations de jaugeage

La quantification des sédiments transportés par un cours d'eau, en utilisant les stations de jaugeages, se base sur les étapes suivantes :

1. Lecture des hauteurs d'eau à partir des échelles limnimétriques pour des intervalles de temps (0,5 ; 1 ; 2h ;... suivant la variation des hauteurs d'écoulement)
2. Connaissance des concentrations correspondant à chaque hauteur d'eau à partir des prélèvements faits sur place à la même section de jaugeage.
3. La connaissance du débit des eaux écoulées en m^3/s correspondant à chaque hauteur d'eau, en utilisant les courbes de tarage caractérisant la section de mesure.
4. Le calcul du débit solide pour chaque intervalle de temps, représentant le produit (débits liquide X concentration), défini pour le même intervalle de temps.

III-2- Recueil des données

Les techniques utilisées par les observations de l'ANRH d'Oran, relatives aux jaugeages, au traitement et à l'édition des données de débits liquides et solides au niveau de la station hydrométrique sont :

A. Pour les débits liquides

Les jaugeages sont effectués au niveau de la station à l'aide d'un moulinet hydrométrique étalonné. Le dépouillement des jaugeages est réalisé au bureau pour l'obtention des débits liquides.

B. Pour les débits solides

Les prélèvements se font en un point unique, soit sur le bord, soit au milieu, au moyen de bouteilles d'échantillonnage. Il s'agit généralement de bouteilles en matière plastique d'une contenance de 500cl.

Théoriquement l'échelonnement des prélèvements lors d'une crue se fait selon des intervalles de temps variables en fonction du régime de l'oued étudié. Le traitement initial des échantillons se fait au laboratoire local.

S'agissant de la fréquence des prélèvements, les consignes suivantes sont données :

- Un prélèvement est effectué durant la montée des eaux. Si cette montée est lente (supérieure à une heure), on prélève un échantillon d'eau toutes les heures.
- Un prélèvement doit être obligatoirement effectué au maximum de la crue, cette tâche étant la plus difficile à réaliser compte tenu de la grande vitesse des eaux ne permettant pas de maintenir le moulinet dans une position verticale pour la mesure. Ainsi, on cite le cas de cassure et de perte de moulinets.
- En décrue, et suivant la vitesse, on prélève un échantillon toutes les heures durant les six premières heures et toutes les deux heures ensuite.
- L'évaluation des apports solides journaliers, mensuels et annuels est effectuée de la même façon que pour les apports liquides sur le tas d'un dépouillement des enregistrements limnigraphiques suivant un pas de temps de demi – heure, d'une heure ou de deux heures.

C- Programme de traitement

A partir des données de base des fichiers hauteurs d'eau – concentrations (barème) et d'une carte demande, le programme de traitement intitulé BASYD calcule les débits solides journaliers, mensuels, annuels et moyens interannuels et imprime en sortie :

1. Pour une station donnée et une année donnée, les débits solides journaliers (en Kg/s, en milliers de tonnes/jour ; ou en g/l), les débits solides extrêmes et moyens mensuels ainsi que les apports solides mensuels et annuels.
2. Pour une station donnée et une série d'années de mesures :
Les débits (m^3/s) et les apports liquides ($10^6 m^3$) moyens mensuels, annuels et interannuels.
 - Les débits (Kg/s) et les apports solides (10^6 tonnes) mensuels, annuels et interannuels.
 - Les concentrations (g/l) moyennes mensuelles, annuels et interannuels.
 - Les apports : apports liquides moyens mensuels / apports liquides moyens interannuels ; apports solides moyens mensuels / apports solides moyens interannuels

Pour l'analyse des données, il y a lieu de tester leur fiabilité.

❖ Evaluation de la précision et de la fiabilité des données

Lors de la collecte et de l'analyse des données, on doit toujours avoir à l'esprit un fait primordial : la vraie valeur de la variable mesurée n'est pas connue. La plupart des données recueillies constituent des échantillons nécessaires à une définition approximative de cette valeur.

La plupart des données hydrologiques telles que la pluie et l'écoulement sont presque totalement aléatoires à l'échelle annuelle mais sur un espace de temps plus court, elles sont partiellement déterministes à cause de l'effet saisonnier.

Types d'erreurs possibles

Erreurs aléatoires : erreurs de mesure, et erreurs de transcription des données.

Erreurs systématiques : changement d'appareil ou de station est partir d'une date.

Contrôles des données par observation

Au cours du dépouillement des données, on a retenu les observations suivantes :

- Les échantillons présentent quelque fois des discontinuités dans les séries de mesures des points représentant les concentrations ainsi que l'existence de valeurs aberrantes ou anormales.

Citons a titre d'exemple : le jour du 23 / 10/ 2000

A 15 heures, l'observateur n'a marqué que des traces de la concentration.

A 16 heures, la concentration de l'eau était de 112 g/l.

Enfin, l'erreur peut être commise au laboratoire.

III-2- Présentation des données

Les données hydrométriques concernant le bassin étudié ont été fournies par l'Agence Nationale des Ressources en Hydrauliques (ANRH).

Les données utilisées sont recueillies au niveau des deux stations hydrométriques, Ain Amara et Takhmaret contrôlant le sous bassin versant d'oued El Abd. Les deux stations se trouvent en série. La première se trouve à l'exutoire et l'autre plus à l'amont.

Dans cette étude, nous utilisons :

- 5424 enregistrements instantanés de débits liquides et concentrations des sédiments en suspension pour la station d'Ain Amara et 588 enregistrements pour la station de Takhmaret Ce nombre de données couvrent une période de 10 ans hydrologiques 2000-2009. Ces données couvrent uniquement les évènements de crues.

- la série des débits moyens journaliers et des débits instantanés en m^3/s pour la période 2000/2009 et les données des précipitations journalières en mm couvrant la période 2000/2009.

Ces données ont été fournies grâce à des jaugeages plus ou moins réguliers pendant les crues, à la lecture des échelles et au dépouillement des limnigraphes. Les données hydroclimatiques du bassin d'oued el Abd sont insuffisantes pour faciliter une étude des crues.

Les données d'observations sont classées dans un fichier d'Excel contenant le numéro d'observation, La date, l'heure, la hauteur d'eau, la concentration, le débit liquide, le débit solide en suspension qui représente le produit de la concentration par le débit liquide.

III-2-1- Variation des débits annuels

La figure (III-1) montre que l'évolution inter annuelle des modules à la station d'Ain Amara et à la station de Takhmaret est irrégulière. En effet, à la station de Takhmaret, le débit moyen annuel est de $0,78 \text{ m}^3/\text{s}$, le maximum de $1,38 \text{ m}^3/\text{s}$ correspond à l'année 2008/2009 et le minimum de $0,26 \text{ m}^3/\text{s}$ à l'année 2004/2005. L'apport liquide à la station de Takhmaret est de $24,5 \text{ Hm}^3$. A la station de Ain Amara le débit moyen annuel est de $1,45 \text{ m}^3/\text{s}$, le maximum de $2,03 \text{ m}^3/\text{s}$ correspond à l'année 2007/2008 et le minimum de $0,47 \text{ m}^3/\text{s}$ à l'année 2006/2007. L'apport liquide est de $45,8 \text{ Hm}^3$.

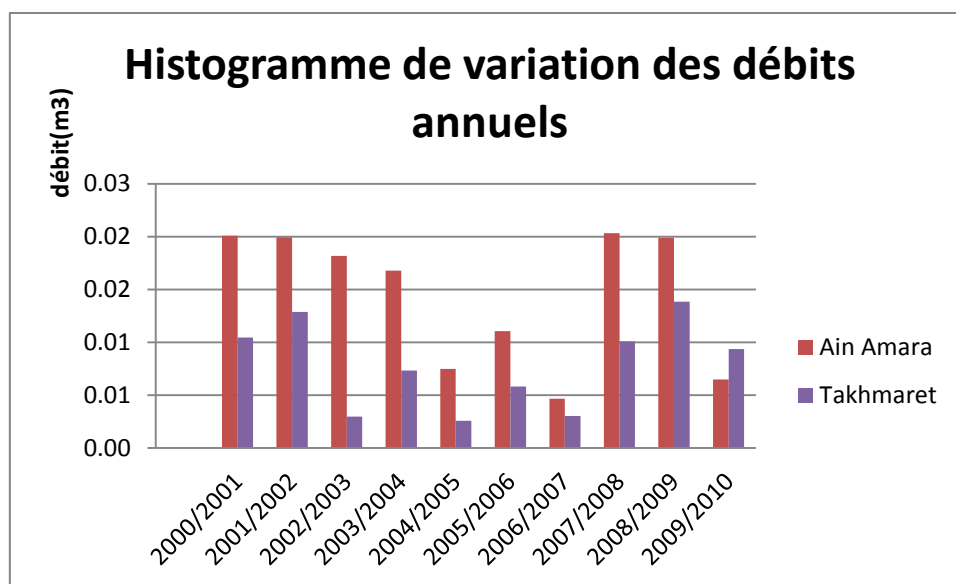


Figure III-1 : Histogramme de variation des débits annuels

III-2-2- Evaluation interannuelle des apports liquides

L'étude des apports liquides sera basée essentiellement sur les données hydrométriques de deux stations de jaugeage, la station de Takhmaret en amont et Ain Amara située à l'exutoire du bassin versant d'Oued el Abd.

Les apports liquides transportés par l'oued el Abd sont calculés et présentés dans le tableau suivant :

Tableau III-1 : Les apports liquides annuels de deux stations

Année		2000 /2001	2001 /2002	2002 /2003	2003 /2004	2004 /2005	2005 /2006	2006 /2007	2007 /2008	2008 /2009	2009 /2010	moyen
L'apport annuel 10^6 m^3	Takhmaret	32,59	40,13	9,33	22,86	8,02	18,16	9,55	32,12	43,22	29,26	24,52
	Ain Amara	62,83	62,07	57,46	52,32	23,69	38,18	14,70	65,04	61,95	19,99	45,82

Après l'analyse du tableau. III-1 on a remarqué que la variation inter annuelle des apports liquides a Ain Amara ne se fait pas parallèlement à celle des apports liquides a Takhmaret.

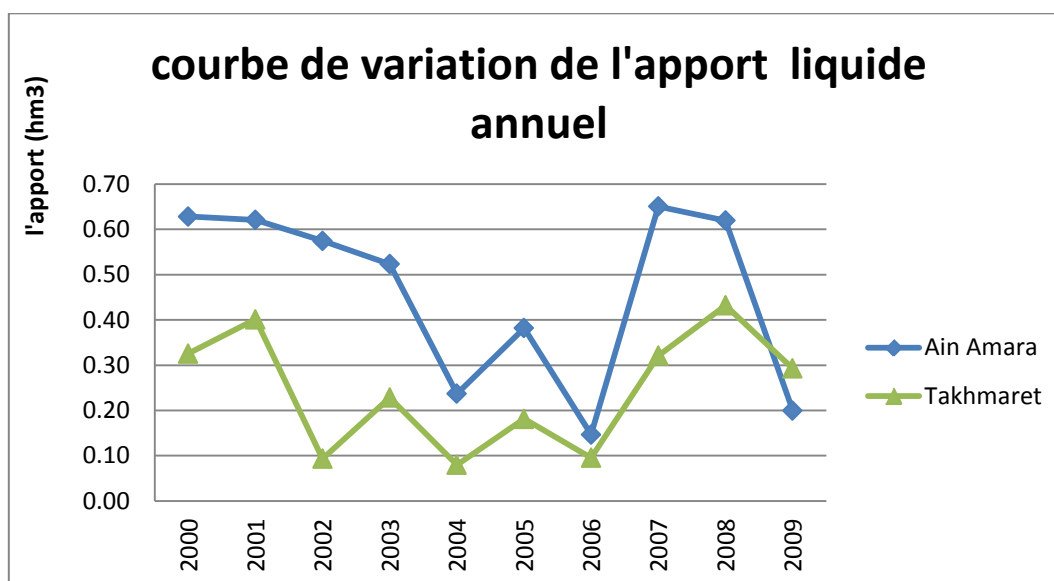


Figure III-2 : Courbe de variation de l'apport liquide annuel

A partir de la courbe tracée qui présente que le régime des apports liquides annuels est irréguliers et considérables dans certaines années à cause de la nature des Précipitations qui sont caractérisées par l'irrégularité et le caractère torrentiel ainsi que les autres facteurs favorisés l'écoulement superficiel (couverture végétale dégradée, formation Lithologique peu perméable,...).

La moyenne des apports sur la période d'observation est de l'ordre de $24,52 \times 10^6 \text{ m}^3$ à la station de Takhmaret et $45,82 \times 10^6 \text{ m}^3$ à la station d'Ain Amara.

III-2-3- Variation des débits saisonniers

Tableau III-2 : Débits saisonniers en m^3/s à Ain Amara et Takhmaret

station		Automne	Hiver	Printemps	été
débit saisonnier m^3/s	Ain Amara	03,08	03,51	02,81	0,93
	Takhmaret	04,55	01,47	01,68	0,48

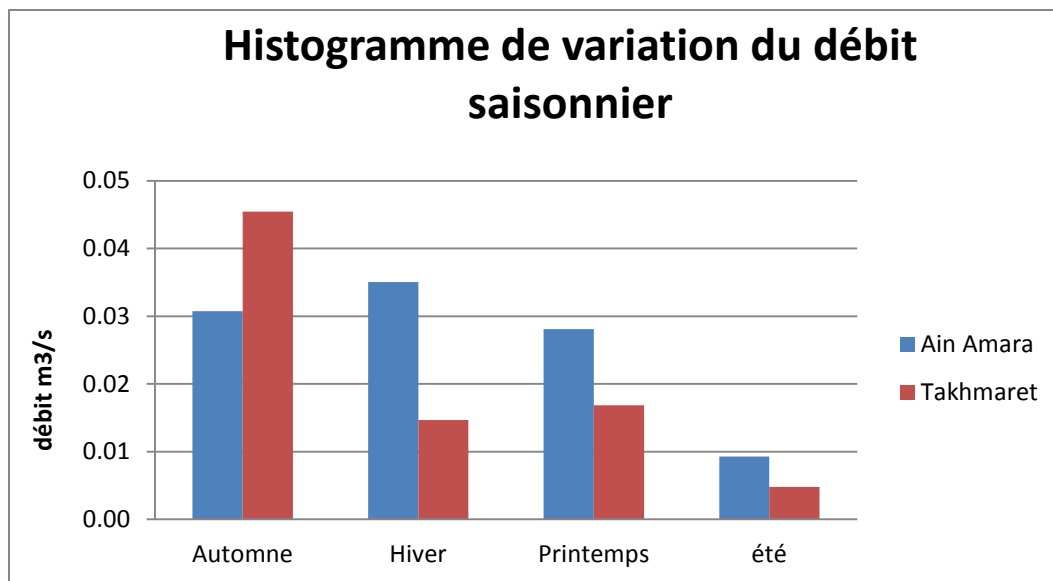


Figure III-3 :Histogramme de variation des débits saisonniers

La représentation sous forme d'histogramme des débits saisonniers des deux stations montre une irrégularité saisonnières des débits. La saison d'Automne caractérisées par un débit plus élevé que les autres saisons au niveau de la station de Takhmaret. La saison la plus sèche au niveau de ce sous bassin correspond à la saison de l'été.

Alors qu'au niveau de la station de Ain Amara le débit maximal enregistrés à la saison d'hiver, la saison sèche se produit de Juin à Août.

III-2-3- Evaluation saisonnière des apports liquides

Les apports liquides saisonniers exportés par les deux oueds sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau III-3 : Les apports liquides saisonniers de deux stations

saison		Automne	Hiver	Printemps	Eté
L'apport saisonnier 10^6 m^3	Takhmaret	136,42	43,98	50,47	14,36
	Ain Amara	37,73	105,21	84,25	27,37

Les valeurs saisonnières des apports liquides tableau (III-3) révèlent une forte variabilité saisonnière de l'apport liquide sur les deux stations du sous bassin versant. En automne (56%) pour la station de Takhmaret et en hiver (41%) pour la station d'Ain Amara.

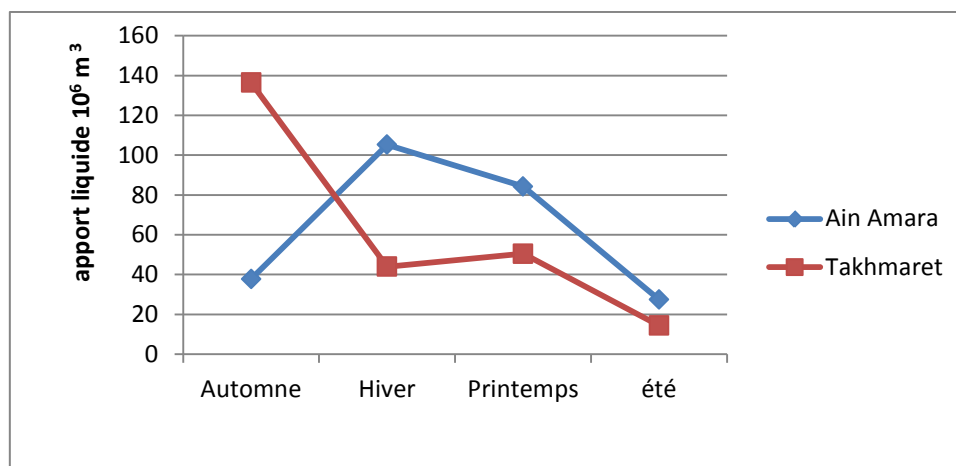


Figure III-4 : Courbe de variation de l'apport liquide saisonnier

L'analyse de la figure. III-4 montre l'importance de l'apport liquide à l'automne à la station de Takhmaret qui dépasse celui apporté pendant les trois autres saisons, et la valeur de l'apport liquide la plus importante pour la station d'Ain Amara est enregistrée en hiver $105 \times 10^6 \text{ m}^3$.

III-2-4- Variation des débits moyens mensuels

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

Tableau III-4 : Moyennes mensuelles et annuelles dans deux stations du bassin de oued El Abd

mois	sept	oct.	nov.	déc.	jan	fév.	mars	avril	mai	juin	juill.	Aout	An
Ain Amara													
Q max m ³ /s	49,26	258,24	89,54	26,69	38,12	35,16	22,84	46,85	207,04	52,13	1,75	28,16	258,24
Q min m ³ /s	0,00	0,00	0,00	0,10	0,10	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Q moy. m ³ /s	1,46	5,49	2,28	1,35	1,30	1,24	0,86	1,03	1,34	0,44	0,09	0,53	1,45
Apport hm ³	3,77	14,46	5,91	3,56	3,96	3,00	2,25	2,66	3,51	1,15	0,23	1,41	45,87
Takhmaret													
Q max m ³ /s	46,97	130,27	14,72	18,93	18,78	38,57	14,86	8,67	195,22	47,59	1,00	33,79	195,22
Q min m ³ /s	0,00	0,00	0,01	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Q moy. m ³ /s	1,24	3,41	0,58	0,52	0,58	0,60	0,45	0,31	1,17	0,22	0,02	0,30	0,78
Apport hm ³	3,21	8,93	1,50	1,39	1,57	1,44	1,20	0,80	3,04	0,57	0,05	0,81	24,52

Le module interannuel d'écoulement à la station d'Ain Amara et Takhmaret, établi sur la période d'étude d'octobre 2000 à Aout 2009, a été estimé entre 0,09 m³/s à 1,46 m³/s à la station d'Ain Amara et entre 0,02 m³/s à 3,41 m³/s à la station de Takhmaret.

Tableau III-5 : Débits moyens mensuels en m³ /s à Ain Amara et Takhmaret

Mois		Sept	oct.	nov.	déc.	jan	fév.	mars	avril	mai	Juin	juill.	Aout
Station	Ain Amara	1,46	5,49	2,28	1,35	1,30	1,24	0,86	1,03	1,34	0,44	0,09	0,53
	Takhmaret	1,24	3,33	0,58	0,52	0,58	0,60	0,45	0,31	1,14	0,22	0,02	0,30

A la station de Ain Amara et a la station de Takhmaret figure III-5 le débit moyen maximal mensuel apparait en octobre . avec 5,49 m³/s et 3,33m³/s , et le minimum de 0,09 m³/s et 0,02 m³/s en juillet pour un module de 1,45 m³/s et 0,78 m³/s . La variation mensuelle des débits est très irréguliere pendant l'année avec un débit maximum en octobre .

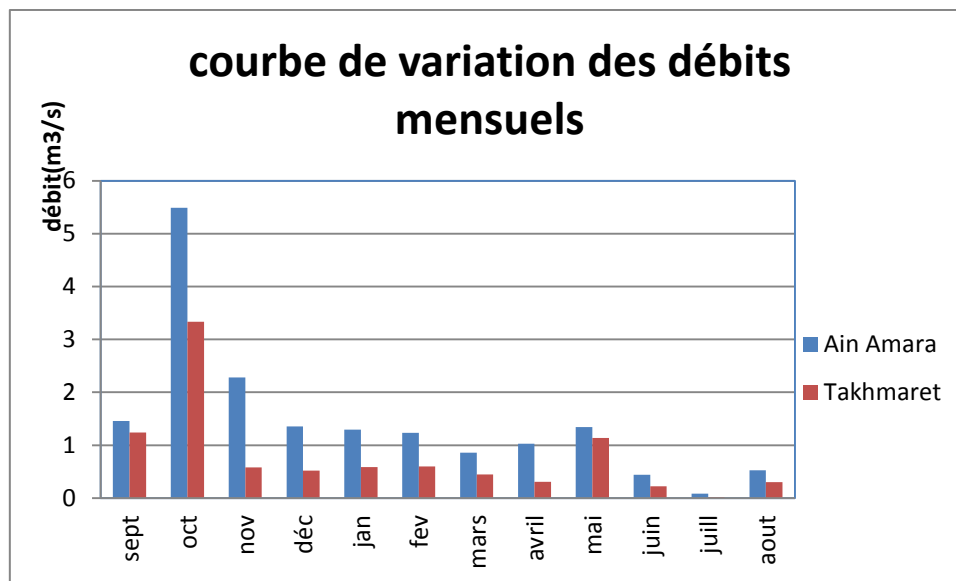


Figure III-5 :Histogramme de variation des débits mensuels

III-2-5- Evaluation mensuelle des apports liquides

Les valeurs de l'apport liquide mensuel regroupées dans le tableau III-6

Tableau III-6 : Les apports liquide mensuels de deux stations

	mois	Sept	oct	nov	déc	jan	fev	mars	avr	mai	jui	juil	Aout
Apport mensuel 10^6 m^3	Takhmaret	32,10	89,28	15,04	13,88	15,67	14,44	12,01	8,05	30,41	5,71	0,53	8,12
	Ain Amara	37,73	144,55	59,12	35,61	39,62	29,98	22,54	26,59	35,11	11,49	2,25	13,62

L'analyse de tableau (III-6) montre que les mois d'octobre, novembre, janvier et mai ont des apports solides supérieurs à la moyenne. Le mois d'octobre est caractérisé par son fort apport liquide 33 % et 36 % de l'apport global du bassin versant d'oued el Abd à Ain Amara et Takhmaret pendant la période d'étude .

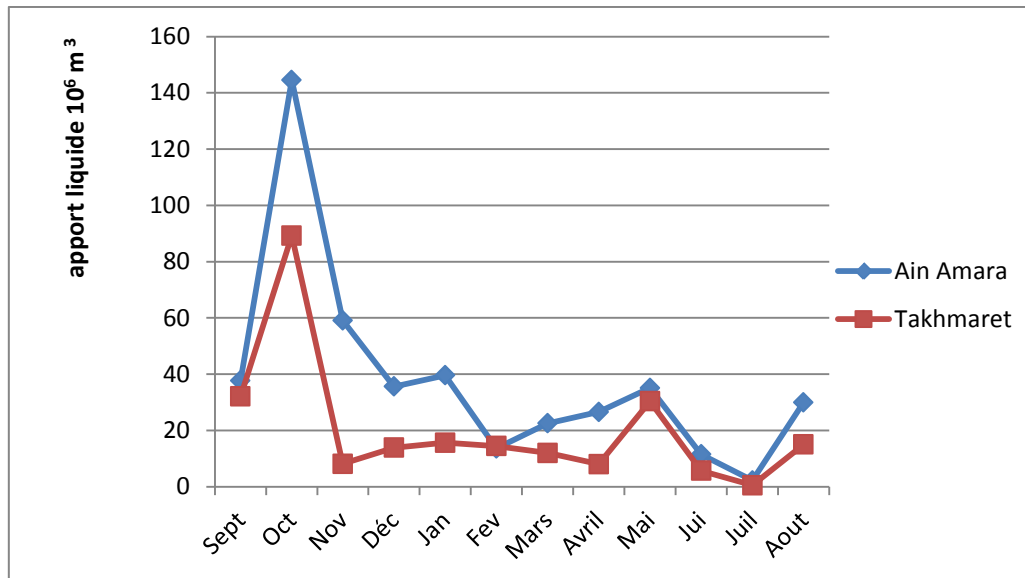


Figure III-6 : Courbe de variation de l'apport liquide mensuel

La variabilité des débits est liée aux caractéristiques physico-géographiques propres à chacun des sous bassins. On estime que la différence entre les apports des deux stations est due aux apports non contrôlés d'affluents au cours d'eau principal.

IV-1- Introduction :

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 évolution temporelle durant les événements de crue sur cette période.

Afin d'évaluer les valeurs des apports liquides et solides au niveau des sous bassins, nous exploitons les données de mesure instantanées au niveau des deux stations hydrométriques « Ain Amara » et « Takhmaret » qui contrôlent les débits liquides (Ql) et les concentrations en sédiments en suspension (C) véhiculées respectivement par l'Oued El Abd.

Les caractéristiques des deux stations et l'étendue des séries de mesure sont données au tableau suivant:

Tableau IV-1 : Caractéristiques des deux stations hydrométriques et l'étendue des séries de mesure.

station	Code	X	Y	Z	Période	N (C, Q)
Takhmaret	013304	316,40	203,10	600,00	2000-2009	589
Ain Amara	013302	316,45	233,12	300,00	2000-2009	5424

IV-2- Sélection des événements :

Toute élévation du niveau d'un cours d'eau est appelée crue lorsqu'elle a pour cause un apport important en eau consécutif à un évènement pluvieux ou à la fonte des neiges. Pour certains auteurs, les crues sont des débits égaux ou supérieurs à un certain multiple du module annuel (3 à 5 fois le module). Selon Rémeniéras (1986), une crue annuelle est le débit le plus fort observé dans l'année. [30]

Dans ce travail on a considéré une crue toute élévation du débit supérieur au débit moyen annuel et/ou les concentrations sont supérieurs à 0,2g/l (valeur prise arbitrairement), une crue peut durer quelque secondes mais aussi elle peut durer plusieurs jours. [30]

Les données disponibles sont insuffisantes pour la saison d'été ; les crues sont rares.

IV-3- L'hydrogramme de crue

L'hydrogramme de crue représente la variation des débits d'un cours d'eau en fonction du temps, il permet de déterminer les caractéristiques de la crue, forme, volume, temps de montée et temps de descente.

Après un examen de toutes les crues observées et au vu du tracé des hydrogrammes, les crues ont été classées en deux types :

- 1) Crue à pointe unique, provoquée en règle générale par une averse de courte durée et de forte intensité.

Les crues à pointe unique, correspondant à des crues d'automne, sont provoquées par des averses de début de saison, de type orageux, de courte durée et de fortes intensités. Ces averses sont généralement localisées dans l'espace et se produisent sur les sols secs, impliquant un temps de réponse long et dépassant huit heures. Le temps de montée de l'hydrogramme est très court, tandis que le temps de décrue est plus prolongé. [31]

- 2) Crue complexe, résultant d'une averse complexe à plusieurs pics.

Les crues complexes parviennent généralement en hiver et au printemps. Elles sont générées par des averses longues, régulières et continues, caractérisées par des intensités faibles ou moyennes. Elles sont en outre généralisées dans l'espace et se produisent sur des sols saturés et imperméables. Le temps de base est alors très long, dépassant les 24 heures. [31]

Au mois d'août, une pluie abondante s'était abattue sur le sous bassin d'Oued el Abd (une hauteur pluviométrique moyenne mensuelle de 49,5 cm). Ces précipitations enregistrées sur la station d'Ain Amara ont provoqué la crue du 10 août 2008.

Durant cette crue, la station d'Ain Amara a enregistré un débit maximal $141 \text{ m}^3/\text{s}$. L'allure de l'Hydrogramme relatif de cette crue donne une image suggestive de la rapidité et la brutalité caractérisant la montée et la descente des crues (figure IV-1), où les variations plus accusées dues essentiellement à l'importance de l'évaporation qui engendrent une descente très rapide de la crue, après une montée aussi bien rapide

A Ain Amara l'événement du 10 Aout 2003 montre qu'un débit faible de $0,05 \text{ m}^3/\text{s}$ a pu mobiliser une charge donnant une concentration de $1,2 \text{ g/l}$, alors que pour la même crue un débit fort de $141 \text{ m}^3/\text{s}$ a généré une concentration relativement de l'ordre de $80,5 \text{ g/l}$.

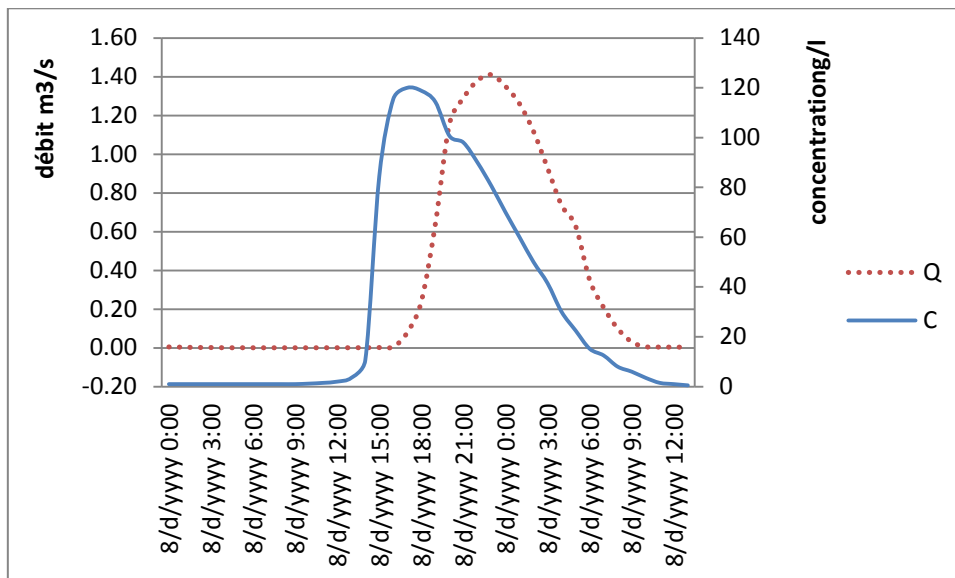


Figure IV-1: crue d'oued el Abd à la station d'Ain Amara

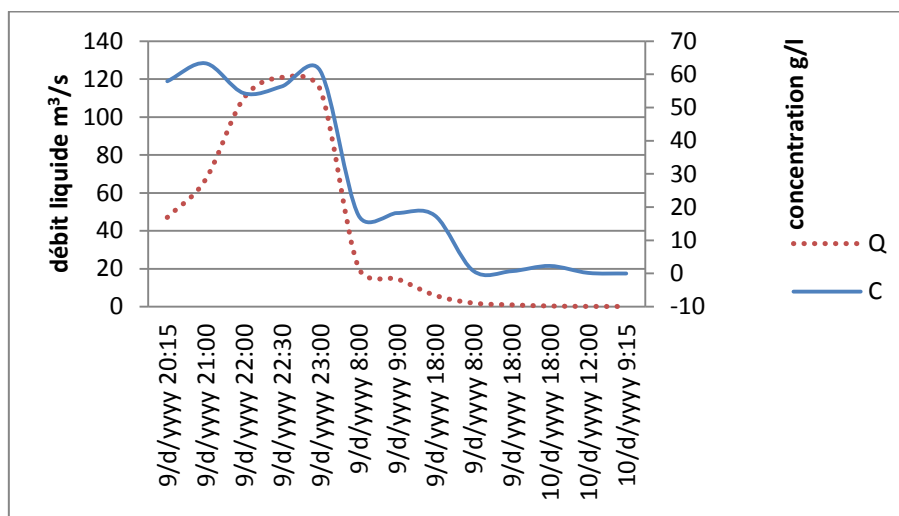


Figure IV-2: Crue d'oued el Abd à la station de Takhmaret

De même, à Takhmaret, la crue du 28/09/2000, à un débit faible de $0,127 \text{ m}^3/\text{s}$ correspond une concentration de $0,001 \text{ g/l}$, alors qu'un débit de $120,9 \text{ m}^3/\text{s}$ a généré une concentration de $56,38 \text{ g/l}$.

Le deuxième exemple d'hydrogramme des crue d'oued el abd est représenté soit par des crues étalées sur une longue période sans véritable pointe de crue comme l'épisode du 30/04/2001 à

Takhmaret (figure IV-3); soit par des crues complexes à plusieurs pointes comme celles observées à in Amara le 18/11/2002 (figure IV-4) .

Ces crues sont généralement générées par une succession d'averse de différentes intensités. Il est à noter que ce genre de crue caractérise la période de l'automne et printemps. Comme les crues du 21/04/2001 et 18/11/2002 de la station de Ain Amara, celle du 21/11/2002 à la station de Takhmaret ou au printemps comme la crue de 01/05/2001.

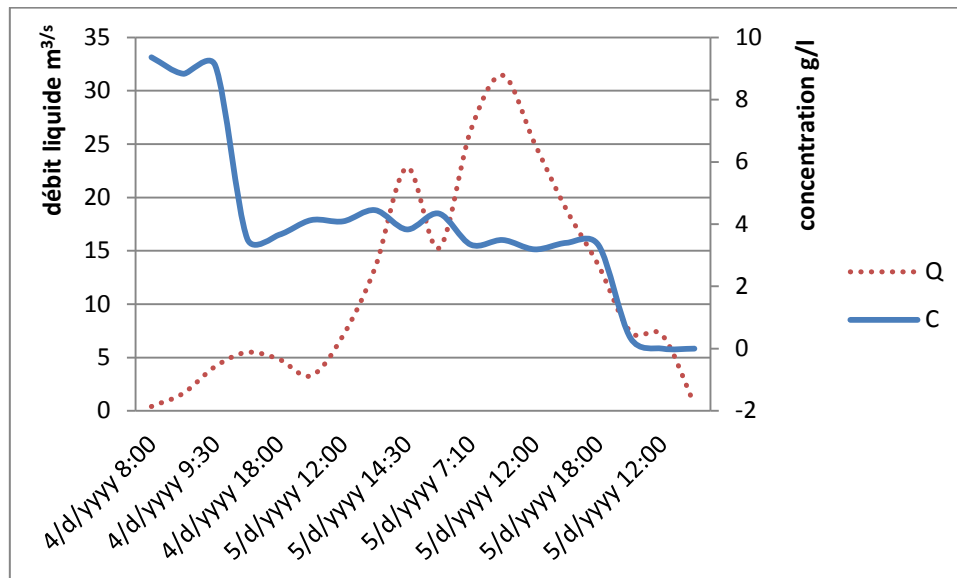


Figure IV-3 : crue d'oued el Abd à la station de Takhmaret

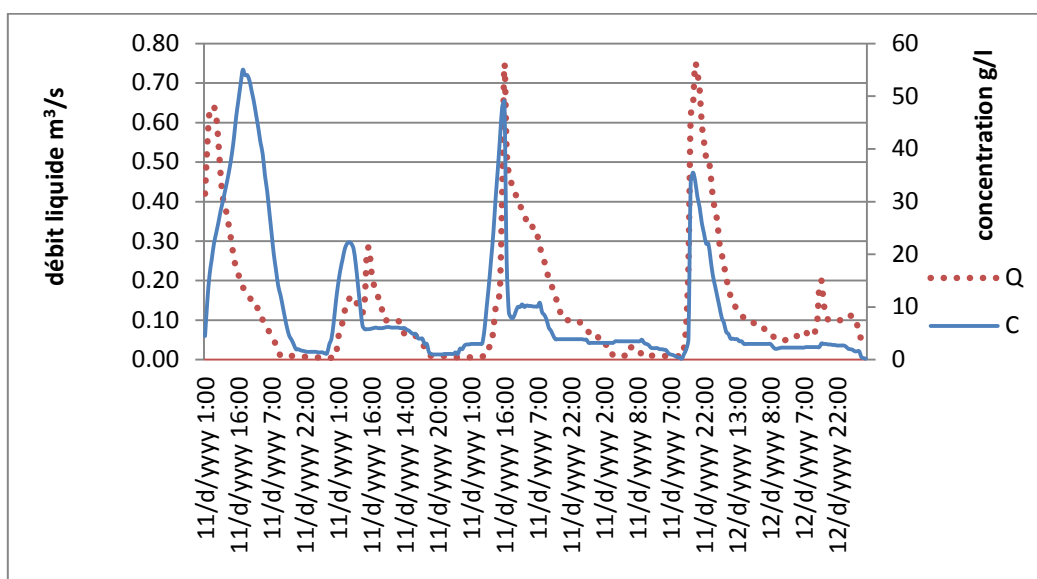


Figure IV-4 : crue d'oued el Abd à la station d'Ain Amara

Dans les deux tableaux suivants sont regroupées les crues enregistrées sur les deux stations hydrométriques réparties du nord au sud sur l'oued el Abd.

Tableau IV-2 : Les crues enregistrées sur la station d'Ain Amara

N °	Début	Fin	Durée (heurs)	Q max m ³ /s	Qmin m ³ /s	Qmoy m ³ /s	C max g/l	Cmin g/l	C moy g/l	Al 10 ⁶ m ³	A s 10 ⁶ t
1	23/10/2000 15:00	26/10/2000 12:00	69	436,60	0,08	91,59	112	00	5,70	1,15	1,415
2	14/11/2000 19:00	18/11/2000 22:00	99	70,00	0,70	22,76	36,00	1	0,39	8,11	0,140
3	02/12/2000 18:00	04/12/2000 23:00	53	27,20	1,22	5,24	18,10	1,2	0,05	1,00	0,009
4	27/02/2001 08:00	02/03/2001 22:00	86	93,99	0,7	16,44	35,5	0,5	0,28	5,09	0,088
5	01/05/2001 07:00	02/05/2001 23:00	40	33,75	1,75	7,99	23,7	0,5	0,12	1,85	0,018
6	30/08/2001 00:00	31/08/2001 23:00	47	46,00	0,02	10,93	38	0,1	0,25	2,5	0,043
7	07/09/2001 00:00	08/09/2001 12:00	36	70,60	1,57	15,90	56	0,5	6,40	2,06	0,83
8	20/09/2001 05:00	23/09/2001 23:00	90	30	0,51	6,17	56	0,4	0,17	2,00	0,0539
9	10/10/2001 03:00	12/10/2001 22:00	67	37,5	1,94	13,18	46,5	1	0,26	3,18	0,0625
10	10/11/2001 11:00	13/11/2001 22:00	83	430,00	0,55	51,27	12,5	0,6	0,38	15,32	0,115
11	02/04/2002 05:30	04/04/2002 22:00	64,5	76,00	3,7	18,78	57,00	1	0,37	4,36	0,0852
12	12/04/2002 06:00	15/04/2002 22:00	88	33,00	0,58	3,57	39,8	6	0,11	1,13	0,0352
13	07/05/2002 02:00	09/05/2002 22:00	68	537,33	0,68	143,87	27	1	0,00	2,2	0,0011
14	11/10/2002 03:00	12/10/2002 15:00	36	16,00	0,35	4,24	37,5	0,5	0,08	0,55	0,0106
15	05/11/2002 01:00	06/11/2002 22:00	45	24,00	7	5,19	28,2	1	0,10	0,84	0,0166
16	18/11/2002 01:00	04/12/2002 22:00	405	74,80	0,43	10,92	55	0,2	0,17	15,92	0,2538
17	09/01/2003 01:00	13/01/2003 22:00	117	51,00	0,31	12,51	47,6	1	0,19	5,27	0,0805
18	31/01/2003 08:00	02/02/2003 20:00	60	41,00	0,82	9,40	10,3	0,5	0,63	2,03	0,1360

19	27/02/2003 14:00	02/03/2003 23:00	81	40,00	0,75	5,14	49,5	2	0,12	1,50	0,0359
20	15/04/2003 12:00	19/04/2003 23:00	107	39,00	0,82	10,57	30	1,2	0,17	4,07	0,0667
21	17/06/2003 01:00	18/06/2003 23:00	46	90,40	5	30,92	36	8	0,58	5,12	0,096
22	08/08/2003 09:00	11/08/2003 13:00	76	141,00	0,05	25,04	120	0,5	1,26	6,85	0,345
23	07/10/2003 06:00	08/10/2003 22:00	40	76,00	0,06	23,54	53,5	2	0,52	3,39	0,07546
24	14/10/2003 02:00	25/10/2003 22:00	284	314,80	0,55	29,68	63	0,2	0,70	30,34	0,71211
25	09/12/2003 13:00	11/12/2003 22:00	57	41,75	0,6	15,20	52,2	0,2	0,65	3,12	0,13240
26	11/05/2004 05:00	12/05/2004 22:00	41	23,00	1,03	7,93	34,8	0	0,23	1,17	0,034
27	24/05/2004 11:00	25/05/2004 23:00	36	61,30	0,38	8,72	86	0,2	0,57	1,13	0,0738
28	07/06/2004 00:00	09/06/2004 23:00	71	29,30	0,26	5,01	62	2,5	0,14	1,28	0,0365
29	07/09/2004 13:00	16/09/2004 20:00	223	27,9	0,23	3,46	39,9	1	0,48	2,78	0,3870
30	30/10/2004 08:00	31/10/2004 18:00	34	13,2	1,44	4,49	16	1,7	0,07	0,55	0,008
31	13/11/2004 18:00	15/11/2004 23:00	53	37,50	0,85	10,53	39	6	0,26	2,01	0,0504
32	08/12/2004 10:00	10/12/2004 23:00	61	41,75	1,18	12,89	34,2	2	0,28	2,83	0,0607
33	26/12/2004 07:00	27/12/2004 23:00	40	22,30	0,62	8,61	8,00	1,9	0,05	1,24	0,00741
34	18/03/2005 00:00	19/03/2005 22:00	46	42,60	1,94	13,35	23,6	2,5	0,24	2,21	0,04
35	26/09/2005 22:00	29/09/2005 23:00	73	47,80	0,51	6,39	39,9	2	0,18	1,68	0,047
36	13/10/2005 08:00	16/10/2005 18:00	82	161,5	1,59	26,96	30,8	1,8	0,56	7,96	0,16431
37	11/11/2005 08:00	13/11/2005 23:00	63	37,5	1,25	11,68	29,1	1	0,14	2,65	0,0309
38	31/01/2006 00:00	05/02/2006 18:00	138	87	1,25	15,78	44	0	0,37	7,84	0,182
39	26/04/2006 00:00	30/05/2006 00:00	816	106	2,62	1,82	64	0	0,06	5,35	0,1836
40	05/11/2006 21:00	08/11/2006 23:00	74	32,25	0,44	6,27	80	0	0,17	1,67	0,04525

41	30/01/2007 00:00	30/01/2007 23:00	23	10,40	1,59	5,19	50	25,5	0,21	0,43	0,01722
42	30/03/2007 00:00	31/03/2007 23:00	47	30,00	1,01	10,11	30,3	4	0,18	1,71	0,03
43	23/04/2007 18:00	24/04/2007 06:00	12	60,40	0,27	32,41	168	9	3,78	1,40	0,1632
44	16/09/2007 00:00	18/09/2007 23:00	71	64,00	0,58	13,22	39,5	2	0,38	3,38	0,096
45	16/10/2007 08:00	20/10/2007 07:00	95	777,20	1,25	121,75	218	6	2,35	41,64	0,8037
46	28/10/2007 16:00	30/10/2007 15:00	47	62,20	12,08	33,22	159	2	0,65	5,62	0,1096
47	23/09/2008 00:00	24/09/2008 23:00	47	50,50	0,75	11,70	29,7	4	0,28	1,98	0,048
48	28/09/2008 00:00	30/09/2008 23:00	71	100,00	12,64	43,43	80,9	10	2,07	11,10	0,530
49	12/10/2008 07:00	13/10/2008 23:00	40	208,90	0,38	71,18	44	4	2,01	10,25	0,290
50	22/10/2008 10:00	22/10/2008 23:00	13	16,00	1,6	8,97	11,2	4	0,07	0,42	0,0031
51	26/10/2008 07:00	26/10/2008 23:00	16	62,20	20,20	34,55	89,9	9	1,09	1,99	0,0628
52	04/11/2008 04:00	06/11/2008 23:00	67	26,50	0,5	5,47	17	2	0,05	1,32	0,0129
53	14/12/2008 13:00	15/12/2008 23:00	34	36,00	6	27,21	75,2	6	1,22	3,33	0,149
54	07/02/2009 00:00	08/02/2009 23:00	47	37,50	0,89	14,72	16,9	5	0,17	2,49	0,0293
55	05/03/2009 08:00	08/03/2009 23:00	87	37,50	2,83	13,67	36,2	4	0,25	4,28	0,07927
56	12/04/2009 12:00	13/04/2009 23:00	35	30,00	0,65	6,35	16,7	2	0,08	0,80	0,0105
57	15/09/2009 01:00	15/09/2009 23:00	22	23,00	1,3	7,95	13	1	0,08	0,63	0,0064
58	28/09/2009 00:00	01/10/2009 18:00	90	55,00	1,77	14,44	54,7	1	0,21	4,68	0,06821
59	01/12/2009 12:00	02/12/2009 23:00	35	6	0,3	1,19	13,8	0,3	0,01	0,15	0,00164
60	15/12/2009 00:00	15/12/2009 23:00	23	10,4	1,4	5,43	18	12	0,08	0,45	0,00697
61	26/01/2010 12:00	28/01/2010 23:00	59	34,50	0,22	2,59	87,10	10	8,34	0,55	1,77064
62	09/02/2010 14:00	11/02/2010 19:00	53	19,50	0,55	5,03	43	2	0,12	0,96	0,0227

63	14/02/2010 00:00	16/02/2010 23:00	71	17,40	1,4	0,03	25	5	0,08	1,86	0,02034
64	07/03/2010 00:00	09/03/2010 23:00	71	36,00	1,03	0,02	34	3,7	0,14	1,61	0,03560
65	22/04/2010 01:00	23/04/2010 19:00	42	6,00	0,06	0,00	11,6	1	0,09	0,20	0,0137
66	18/08/2010 07:00	18/08/2010 23:00	16	94,800	6,88	0,13	67,3	16	1,38	2,02	0,07958

Tableau IV-3 : Différent crues enregistrées sur la station de Takhmaret

N°	Début	Fin	Durée (heures)	Q max m ³ /s	Q min m ³ /s	Qmoy m ³ /s	C max g/l	Cmin g/l	C moy g/l	Al 10 ⁶ m ³	A s 10 ⁶ t
1	28/09/2000 20:15	03/10/2000 09:15	109	120,9	0,127	9,73	63,32	0,001	0,46	3,82	0,1807
2	23/10/2000 16:30	25/10/2000 12:00	43,5	138,1	1,91	38,63	83,91	77,43	1,21	6,05	0,18910
3	29/01/2001 16:10	02/02/2001 12:00	91,8	2,33	0,424	6,96	2,32	0,001	0,13	2,30	0,04185
4	28/02/2001 07:35	03/03/2001 12:00	76,42	75,43	0,415	15,85	13,47	0,001	0,17	4,36	0,0474
5	30/04/2001 08:00	05/05/2001 12:00	124	31,44	0,415	9,72	9,36	0,001	0,03	4,34	0,0117
6	30/08/2001 07:10	02/09/2001 11:30	76,3	60,78	0,055	9,10	26,06	0,001	0,16	2,50	0,045
7	06/05/2002 17:20	09/05/2002 12:00	66,7	308	0,45	86,00	50,7	0,4	2,23	20,64	0,5357
8	21/11/2002 03:30	09/12/2002 12:30	441	5,85	0,115	0,83	13,45	0,001	0,00	1,32	0,0069
9	23/01/2003 11:50	29/01/2003 12:30	144,7	15,74	0,282	2,75	6,21	0,001	0,01	1,43	0,0037
10	17/04/2003 06:30	20/04/2003 12:30	78	10,55	0,159	13,50	9,94	0,66	0,02	3,79	0,0044
11	24/05/2004 08:30	27/05/2004 12:00	75,5	62,2	0,064	5,70	20,51	0,1	0,08	1,55	0,0206
12	17/03/2005 12:25	19/03/2005 12:00	47,6	78,7	2,26	26,33	46,19	0,94	0,82	4,51	0,1409
13	29/01/2006 11:20	05/02/2006 12:00	168,7	7,58	0,63	2,26	85	0,1	0,02	1,37	0,012
14	26/04/2006 07:15	28/04/2006 12:00	52,75	15,85	0,134	1,95	10,11	0,6	0,02	0,37	0,0030
15	07/11/2006 06:15	08/11/2006 12:00	29,75	32,35	7,58	14,75	6,98	3,89	0,08	1,58	0,0081

16	16/10/2007 13:50	20/10/2007 12:30	94,7	95,58	7,58	28,23	17,53	1,04	0,41	9,62	0,139
17	28/10/2007 11:05	01/11/2007 12:10	97,1	95,58	0,76	18,77	14,15	0,68	0,17	6,56	0,0588
18	09/10/2008 08:00	18/10/2008 12:00	220	312	0,92	45,72	21,85	0,6	0,65	36,21	0,5121
19	09/09/2009 14:30	12/09/2009 16:00	73,5	47,04	0,624	11,79	9,21	0,87	0,09	3,12	0,0239
20	28/09/2009 07:00	30/09/2009 06:30	47,5	86,4	3,64	23,98	20,7	2,32	0,26	4,10	0,0453

Au cours de la période d’observation, 66 et 20 crues ont été enregistrées au niveau de la station d’Ain Amara et Takhmaret soit en moyenne 7 et 2 crues par année respectivement.

Il faut signaler que nous avons enregistré des décalages des jours entre les crues de Takhmaret et Ain Amara comme c’est cas de la crue de 09/10/2008 – 12/10/2008 qui était étalée sur 4 jours.

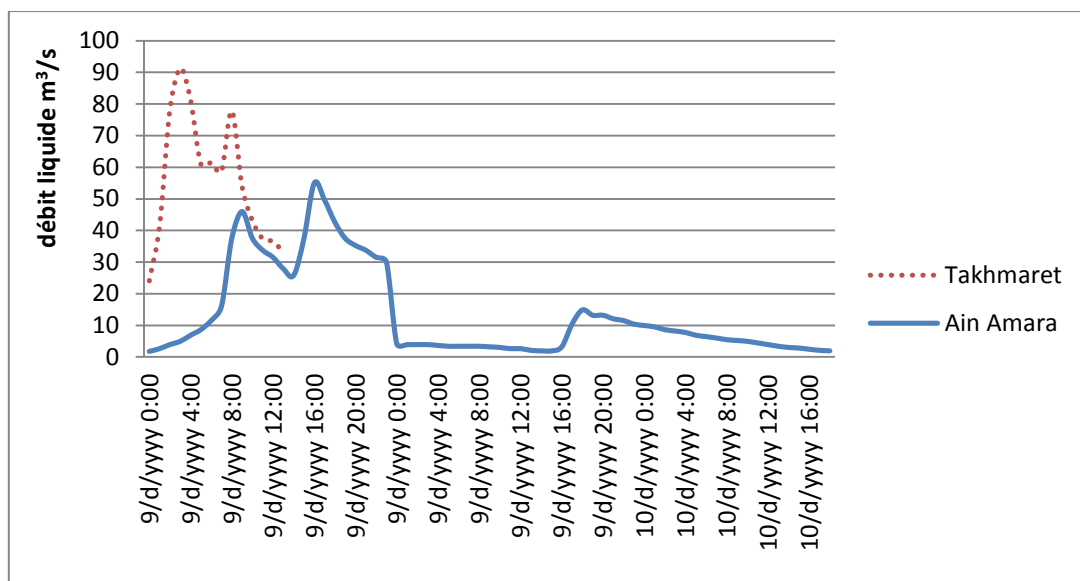


Figure IV-6 : la crue de 28/09/2009

La durée des crues est généralement plus courte à Takhmaret qu'à Ain Amara. Les hydrogrammes observés en amont sont parfois plus aigus traduisant des volumes d'eau mobilisés plus faibles qu'en aval.

C'est l'image que donne la crue du 28 /09/ 2009 par exemple (figure IV-6.) qui montre des temps de montée peu variables aux deux stations : 4 heures à Takhmaret et 8 heures à Ain

Amara. La décrue était aussi plus rapide à Takhmaret où la crue a donc été brève et de très courte durée (six heures), à un débit maximal 86,4 m³/s.

La plus longue crue enregistrée a duré 16 jours (crue du 18/11/2002 au 04/12/2002) à la station d'Ain Amara et la plus longue crue enregistrée a duré 18 jours (crue du 21/11/2002 au 09/12/2002) à la station de Takhmaret.

IV-4-Répartition des crues

Un inventaire similaire des crues observées à Ain Amara et Takhmaret a donné les répartitions mensuelles suivantes :

Les mois d'octobre et janvier sont les mois les plus riches en épisodes de crue à Takhmaret.

Et ce sont aussi les mois les plus pluvieux à la station de Takhmaret. Les mois d'octobre et novembre sont les mois riches en épisodes de crues et les plus pluvieux à la station d'Ain Amara.

La répartition mensuelle est assez variable bien que la saison chaude (mai, juin, juillet, août) soit dépourvue d'événements de crue.

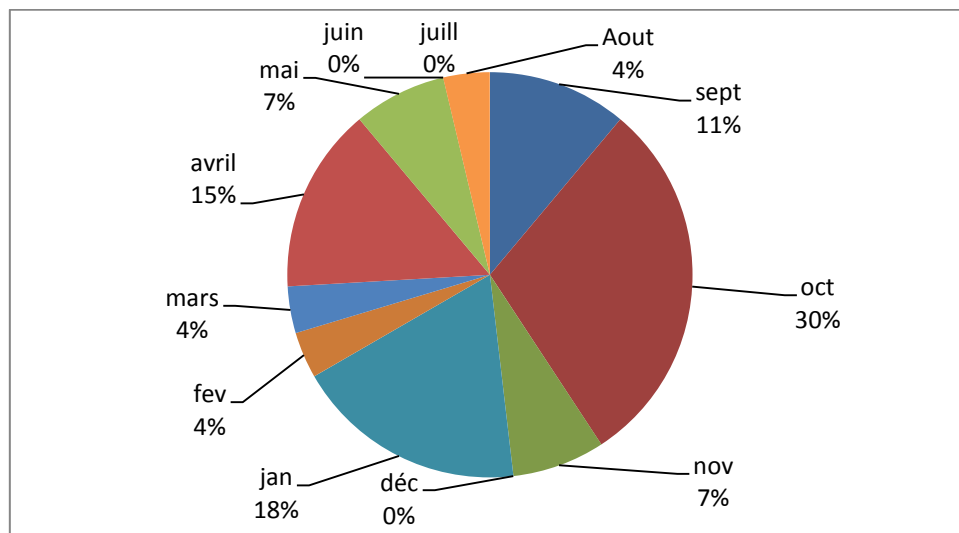


Figure IV-7 : Répartition des crues de l'oued Abd (Takhmaret) dans l'année hydrologique

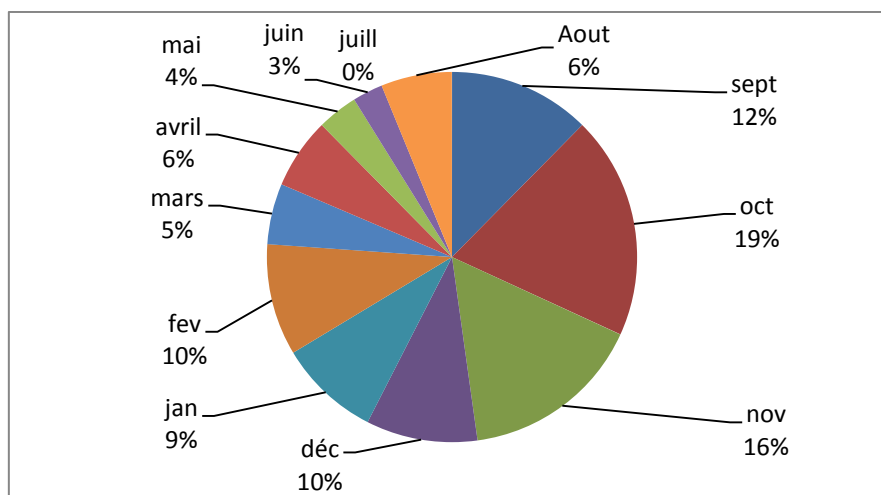


Figure IV-8 : Répartition des crues de l'oued Abd (Ain Amara) dans l'année hydrologique

IV-5- Estimation des apports liquides et solides de crue

Dans cette partie, on a évalué les apports liquides et le transport solide des crues sur les deux stations de l'oued el abd à Ain Amara et Takhmaret.

IV-5-1- Variation inter annuelle des apports liquides et solides des crues

Les deux tableaux (IV-4-5). Représentent les années, le nombre et la durée de la crue, les apports liquides (Al), les apports solides (As), et les dégradations spécifiques (Ass) au niveau du bassin versant d'Oued el abd durant la période 2000 à 2009 :

Tableau IV-4 : les années, le nombre et la durée de la crue, les apports liquides (Al), les apports solides (As), et les dégradations spécifiques (Ass) à la station Ain Amara durant la période 2000/2001 à 2009/2010

Année	2000/2001	2001/2002	2002/2003	2003/2004	2004/2005	2005/2006	2006/2007	2007/2008	2008/2009	2009/2010	Moyenne
Nombre des crues	6	7	9	6	6	5	4	3	9	10	7
Durée de la crue (heurs)	394	496,5	973	752	22	234	1328	213	457	482	592,2
Al 10^6m^3	18,89	15,94	42,16	41,50	11,72	25,49	5,20	50,65	37,97	13,104	26,26
As 10^6t	1,71	0,91	0,92	1,06	0,21	0,60	0,25	1,01	1,22	2,01	0,99
Ass (t/km ² /an)	688,04	368,68	370,73	429,03	82,66	243,83	102,74	406,95	490,42	811,86	399,5

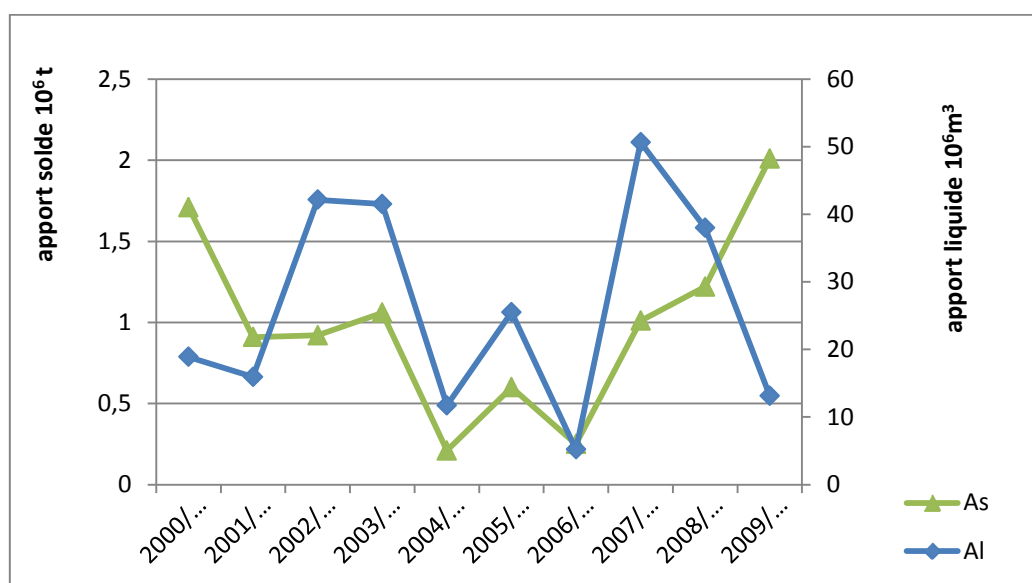


Figure IV-9 : Variabilité des apports solide et liquide interannuels de crue dans la station d'Ain Amara.

Au niveau de la station Ain Amara, l'analyse du tableau (IV-4) et de la figure (IV-9) permet de constater que la variation inter annuelle des apports solides ne se fait pas parallèlement à celle des apports liquides. L'année hydrologique 2007-2008 se distingue par le plus grand

apport liquide de 50,65 millions de m³ qui engendre 1,01 millions de tonnes de sédiments en suspension, une valeur qui est faible par rapport à celle estimée pour l'année 2000-2001 de 1,71 millions de tonnes véhiculée par un apport liquide de 18,89 millions de m³ et celle estimée pour l'année 2009-2010 avec un apport liquide de 13,10 millions de m³ et un apport solide de 2,01 millions de tonnes. Ces deux années hydrologiques quoique leurs apports liquides ne sont pas importants enregistrent les dégradations spécifiques les plus élevées (688 et 812 tonne/km²/an).

Le plus faible apport liquide est enregistré pendant l'année 2006-2007 avec 5,20 millions de m³ apportant un apport solide de 0,25 millions de tonnes tandis que le plus faible apport solide correspond à un apport liquide de 11,72 millions de m³ pendant l'année 2004-2005.

Tableau IV-5 : les années, le nombre et la durée de la crue, les apports liquides (Al), les apports solides (As), et les dégradations spécifiques (Ass) à la station de Takhmaret durant la période 2000/2001 à 2009/2010.

Année	2000/2001	2001/2002	2002/2003	2003/2004	2004/2005	2005/2006	2006/2007	2007/2008	2008/2009	2009/2010	Moyenne
Nombre des crues	5	1	3	1	1	2	4	3	9	10	7
Durée de la crue (heurs)	521,08	66,7	663,7	75,5	47,6	221,4	29,75	191,8	220	121	215,84
Al 10 ⁶ m ³	19,55	20,64	6,54	1,55	4,51	1,74	1,58	16,18	36,21	7,52	11,60
As 10 ⁶ t	0,34	0,54	0,02	0,02	0,14	0,015	0,01	0,20	0,51	0,07	0,21
Ass (t/km ² /an)	215,71	344,95	12,9	12,9	90,79	9,66	5,24	127,33	329,79	45,65	119,20

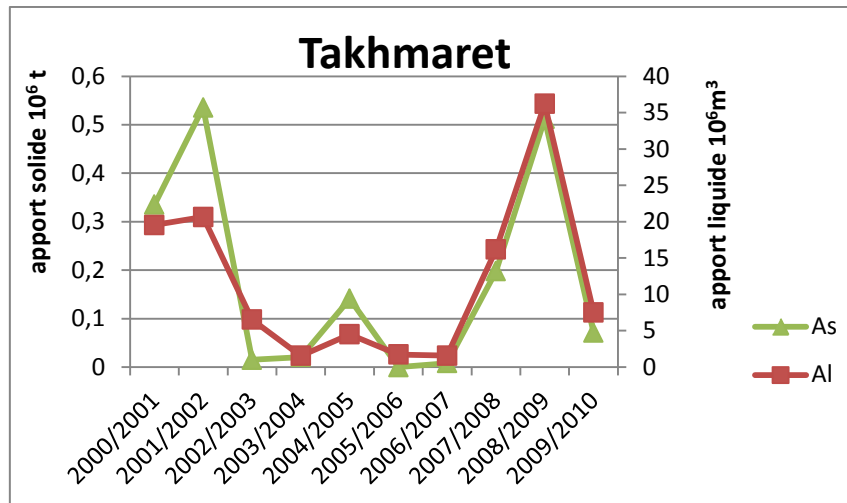


Figure IV-10 : Variabilité des apports solide et liquide interannuels dans le sous bassin versant de l'oued el abd

Au niveau de la station de Takhmaret, l'année la plus productive en apport liquide est celle de 2008-2009 avec 20,31 millions de m^3 (31% d'apport liquide global) engendrant le plus grand apport solide de 0,51 millions de tonnes (28% d'apport solide globale). La dégradation spécifique en cette année est de $330 t/km^2/an$. L'année 2003-2004 se caractérise par le plus faible apport liquide et l'année 2006-2007 par le plus faible apport solide.

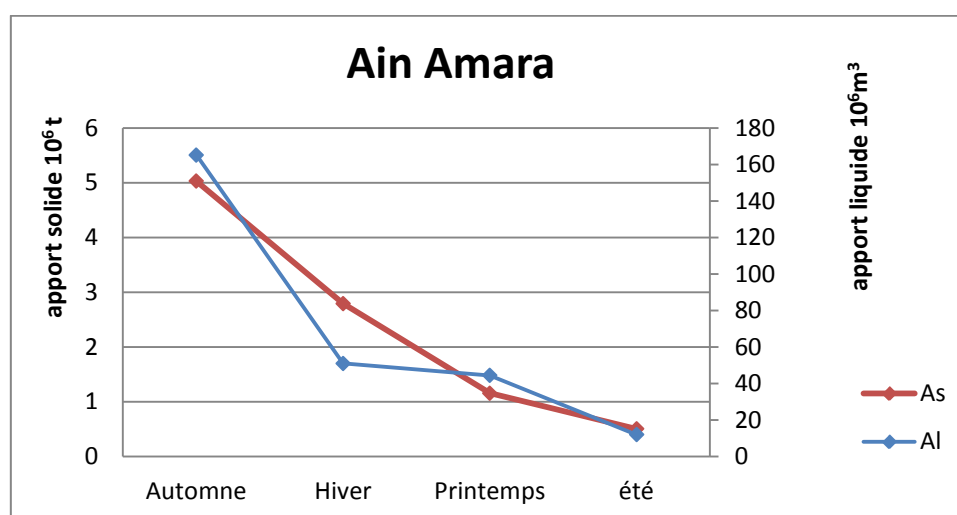
Le bassin versant d'oued el Abd, à Ain Amara et Takhmaret, donne des valeurs moyennes de l'ordre de $399,50 t/km^2/an$ et $119,20 t/km^2/an$ respectivement.

IV-5-2- Variation saisonnière des apports liquides et solides

Le tableau suivant donne le nombre de crues, la durée des crues et les valeurs de l'apport liquide et l'apport solide saisonnier sur les stations hydrométriques.

Tableau IV-6: Apport liquides et solides saisonniers sur les deux stations (Ain Amara et Takhmaret)

Saison	Ain Amara				Takhmaret			
	Nombre des crues	Durée de la crue (heurs)	Al $10^6 m^3$	As $10^6 t$	Nombre des crues	Durée de la crue (heurs)	Al $10^6 m^3$	As $10^6 t$
Automne	28	2099	165,12	5,030	9	1165,95	143,26	1,158
Hiver	17	928	50,97	2,793	4	581,62	9,46	0,105
Printemps	14	1503,5	44,43	1,156	6	464,55	35,2	0,716
été	5	670	12	0,505	1	76,3	2,5	0,045

**Figure IV-11 :** Variation saisonnière des apports liquides et solides à Ain Amara

Les valeurs maximales des apports solides, pour les deux stations hydrométriques, s'observent au début d'automne et à la fin du printemps. Généralement, les apports solides

minimaux saisonniers sont enregistrés en été. Cette saison est caractérisée par une faible pluviométrie et par conséquent un faible écoulement superficiel. Il est à remarquer cependant que les apports solides minimaux ne correspondent pas forcément au mois caractérisé par le plus faible apport liquide.

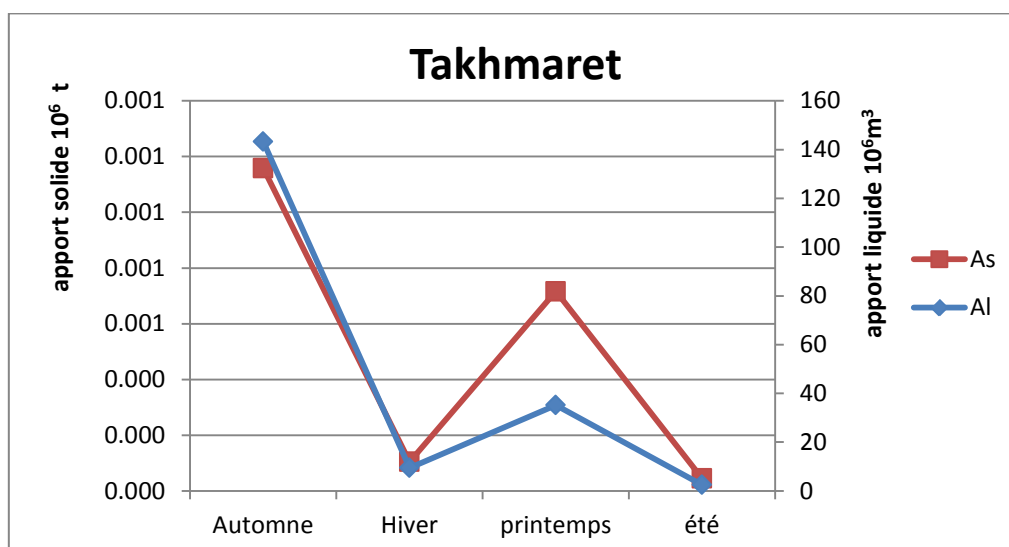


Figure IV-12 : Variation saisonnière des apports liquides et solides à Takhmaret

L'apport solide quoiqu'il soit important au printemps reste inférieur à celui apporté en automne, une saison qui se caractérise par l'agressivité des pluies d'une part et le faible couvert végétal de la saison qui la précède (été) qui favorise la destruction des 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 11.72 % sur l'apport solide puisqu'il succède une saison de forte érosion. L'apport solide en été est insignifiant du fait du faible apport liquide et la rareté des crues en cette saison durant la période d'étude.

La concordance entre les apports solides et liquides (figure IV-12), permet de constater que ce sont les crues exceptionnelles qui sont responsables de l'essentiel des transports solides.

IV-5-3- Variation mensuelle des apports liquides et solides

Tableau IV-7 : Apports mensuels liquides et solides de crues à la station d'Ain Amara

Mois	sept	oct	nov	déc	jan	fev	mars	avr	mai	Juin	Juit	aout
Nombre de crues	9	12	8	7	4	6	4	6	4	2	0	3
Durée de la crue (heurs)	755	825	519	303	259	366	251	251,5	1001	460	0	210
Al $10^6 m^3$	25,61	107,59	31,92	28,04	8,28	14,65	16,4	17,31	10,9	1,28	0	10,72
As $10^6 t$	0,904	3,718	0,409	0,620	1,882	0,290	0,301	0,546	0,309	0,037	0	0,047
Ass t./km ²	0,00036	0,00150	0,00016	0,00025	0,00076	0,00012	0,00012	0,00022	0,00012	0,00001	0	0,00002

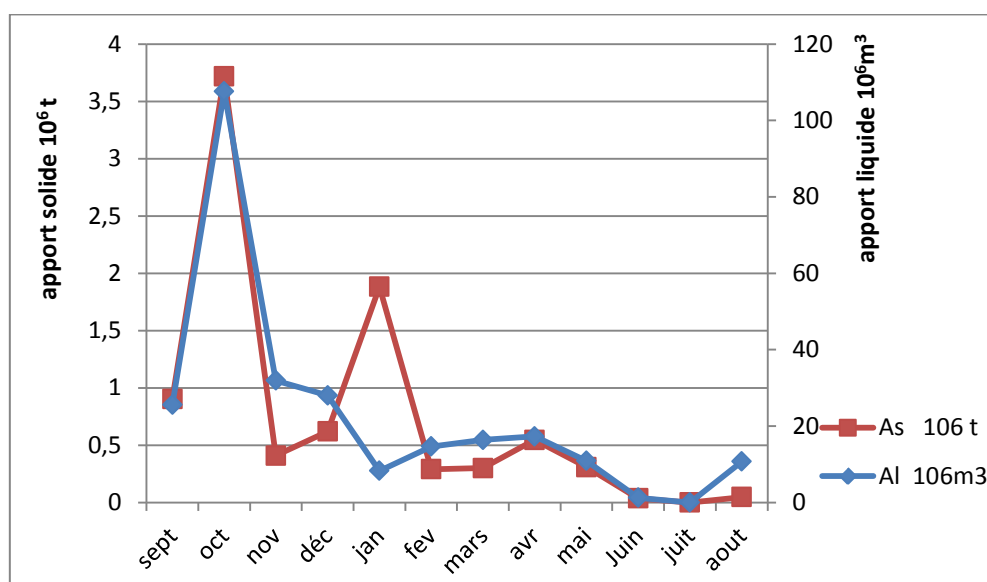


Figure IV-13 : Variation mensuelle des apports liquides et solides

Les mois septembre et octobre 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 d'octobre à la station d'Ain Amara est caractérisé par son fort apport liquide 39 % et solide 41 % de l'apport global du bassin versant d'oued el Abd pendant la période d'étude.

Tableau IV-8 : Apport liquide et solide mensuels de crue à la station de Takhmaret

mois	Sept	oct	nov	déc	jan	fev	mars	Avr	mai	juin	Juit	aout
Nombre de crues	3	4	2	0	2	2	1	3	2	0	0	
Durée de la crue (heurs)	230,0	368,1	567,85	0	505,2	76,42	47,6	274,75	142,2	0	0	76,3
Al $10^6 m^3$	11,04	58,44	73,78	0	3,73	5,73	4,51	8,5	22,19	0	0	2,5
As $10^6 t$	0,250	0,899	0,010	0	0,046	0,059	0,140	0,019	0,556	0	0	0,045
Ass t./km ²	0,00016	0,00058	0,00001	0	0,00003	0,00004	0,00009	0,00001	0,00036	0	0	0,00003

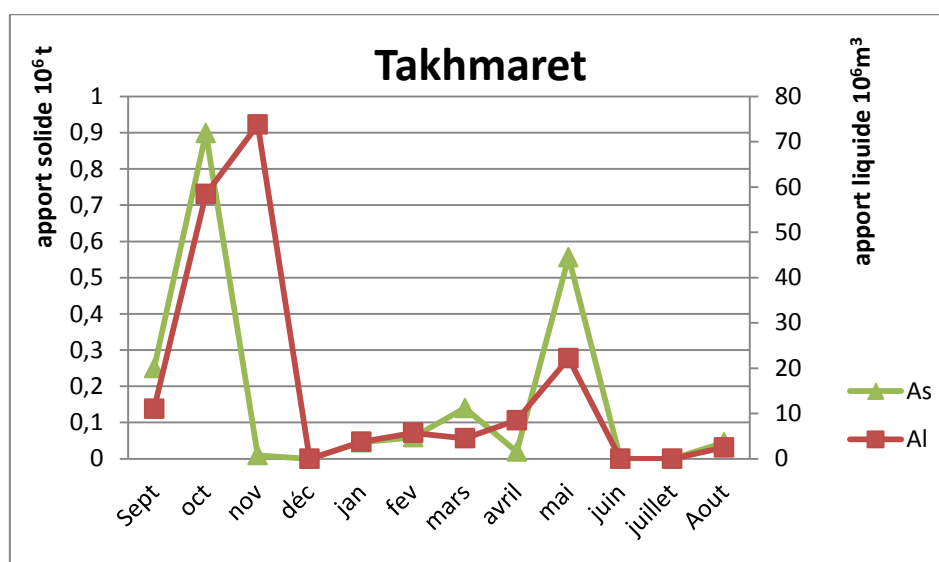


Figure IV-14: Variabilité des apports solide et liquide mensuels dans le sous bassin versant de l'oued el Abd à Takhmaret

L'action érosive est plus active à la station de Takhmaret pendant les mois d'octobre et mai.

Le comportement mensuel du bassin versant de l’oued el Abd indique que durant le mois d’octobre que les apports liquides et solides atteignent leurs valeurs maximales au niveau de la station de Ain Amara et le mois de novembre pour l’apport liquide 39% , le mois d’octobre pour l’apport solide 44% à la station de Takhmaret. Comme c’est indiqué dans le tableau ci-dessus.

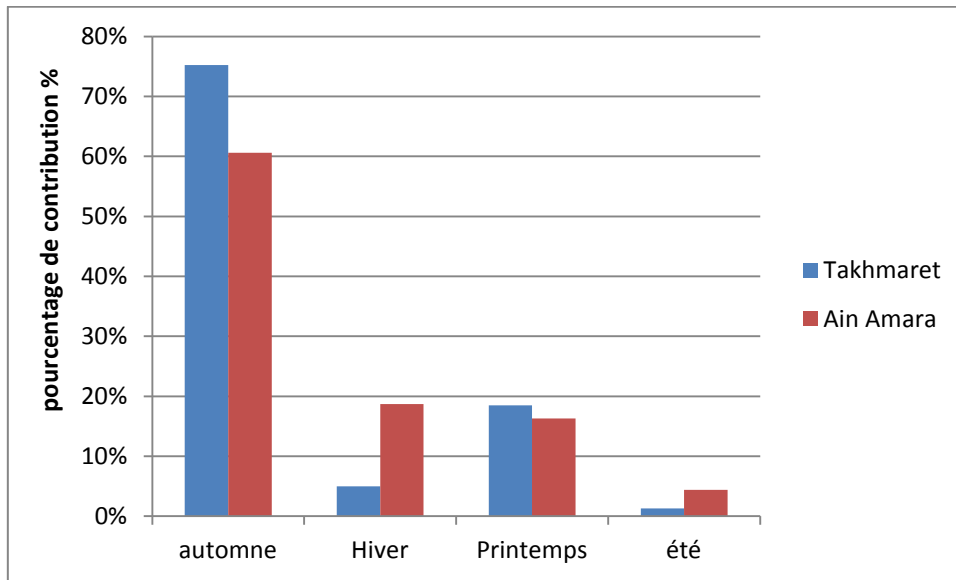


Figure IV-15: Pourcentage saisonnier des apports liquides

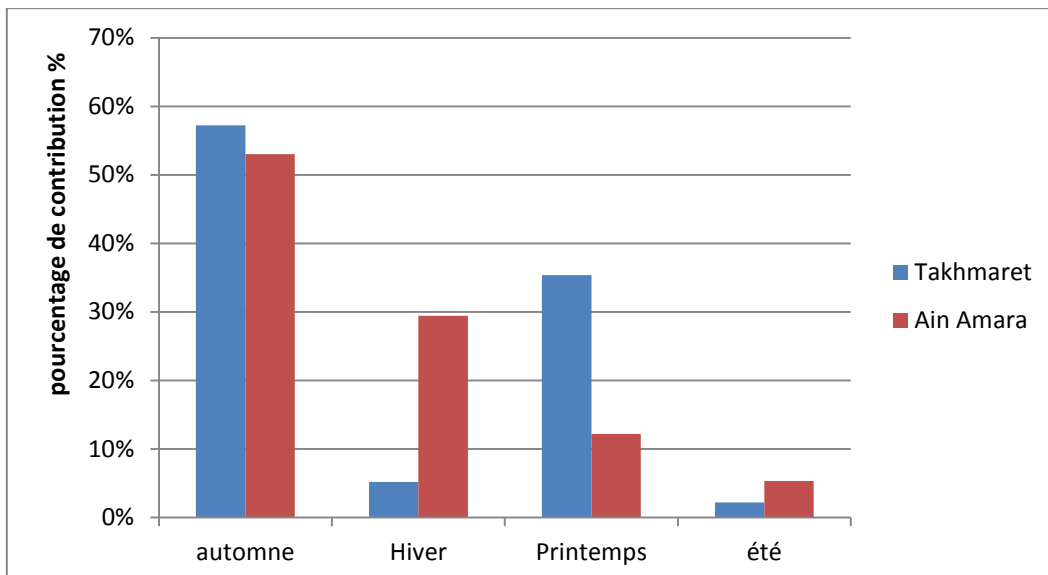


Figure IV-16: Pourcentage saisonnier des apports solides

L'analyse des figures (IV-15) montre que la saison d'automne contribue en moyenne pour 61% de l'écoulement liquide annuel et pour 53% de l'apport solide annuel à la station d'Ain Amara.

Elle laisse apparaître que l'automne et le printemps se distinguent par leurs apports solides forts. Les plus importants sont enregistrés en en automne (61 %) et à un degré moindre au printemps (16 %) de l'apport annuel à Takhmaret et avec (75%) de l'apport liquide annuel.

Les saisons d'hiver et d'été sont des saisons à érosion insignifiante Il faut voir là, l'état de saturation du sol d'une part et la faiblesse de l'intensité des averses.

IV-6- Interprétation des résultats

D'après les résultats qu'on a obtenu, nous remarquons que :

- 1) Il y a des crues produisent au même temps dans les deux stations, ces crues se sont produites : une fois en Automne, une fois en Hiver, et quatre fois en Printemps. Elles sont enregistrées dans le tableau ci-dessous

Tableau IV-9: les crues qui produisent au même temps sur les deux stations

Date de crue	Pointe à Takhmaret	Pointe à Ain Amara	Temps de propagation	Les apports liquides $10^6 m^3$			Les apports solides $10^6 t$		
				Takhmaret	Ain Amara	ΔAl $10^6 m^3$	Takhmaret	Ain Amara	ΔAs $10^6 t$
30/04-05/05/2001	Le 30 à 08:00	Le 01/05 à 07 :00	23h	4,34	1,15	-3,19	0,0117	0,018	0,006
06-09/05/2002	Le 06 à 17:20	Le 07 à 02 :00	8h40	20,64	2,2	-17, 8	0,5357	0,0011	-0,5346
24-25/05/2004	Le 24 à 08:30	Le24 à 11 :00	3h30	1,55	1,13	-0,42	0,0206	0,0738	0,0532
17-19/03/2005	Le 17 à 12:25	Le 18 à 00 :00	11h35	4,51	2,21	-2,3	0,1409	0,04	-0,1009
29/01-05/02/2006	Le 29à 11:20	Le 31/01 à 00 :00	36h40	1,37	7,84	6,47	0,012	0,182	0,17
28/10-01/11/2007	Le 28 à 11:05	Le 28 à 16 :00	4h55	4,10	1,99	-2,11	0,0030	0,0628	0,0598

Le tableau (IV-6) est donne les apports liquides et solides calculé pour les crues qui enregistrées au même temps au niveau de la station de Ain Amara et Takhmaret, Le plus fort apport liquide enregistrée dans notre période d'observation a écoulee à Ain Amara ($35,22 \times 10^6 \text{ m}^3$) le 06/05/2002.

La quantité des sédiments en suspension fournie par le bassin versant de oued El Abd a la station de Ain Amara est supérieur à la station de Takhmaret, La station de Ain Amara situe en Aval du oued El Abd recevait les flots d'eau de la station de Takhmaret en amont du bassin et de tous les affluents au fur et à mesure de leur arrivé à Ain Amara.

✓ La crue de 30/04/2001, et de 24/05/2004 :

Au printemps, l'érosion du lit et des berges du cours d'eau devient importante en raison de l'augmentation des débits dans le chenal de l'oued et au développement de la végétation sur les versants.

A la fin du printemps, le sol est humide et la couverture végétale bien développée. Sur les versants, les sols minces se saturent rapidement et développent une érosion importante en ravine et de mouvement de masse (Rose et al, 1998,1999). De plus, à cette période, les crues ont un rôle important dans la production des sédiments dans les réseaux de drainages.

La crue de 06/05/2002, 17/03/2005 : Les pluies de cette crue a largement élevé les hauteurs d'eau Lues à l'échelle limnimétrique de la station de Takhmaret et a maintenu un débit moyen journalier important puis la crue S'affalé vers Ain Amara.

Lorsque la précipitation tombe sur tout un bassin versant, ou sur une portion de bassin versant les eaux ruissellent et se concentrent rapidement dans le cours d'eau engendrant des crues. Le cours d'eau transporte une quantité de sédiments ce qui se traduit par une érosion du lit et un dépôt de matières transportées.

La crue de 29/01/2006 : se déclencher simultanément aux deux stations et elles grossissent le plus souvent vers l'aval (station d'Ain Amara) à cause de la participation de la totalité ou la quasi-totalité de l'oued El Abd.

À l'hiver, l'érosion du lit et des berges du cours d'eau devient importante en raison de L'augmentation des débits dans l'oued, mais aussi les écoulements sont générés par des séquences pluvieuses relativement abondantes mais de faibles intensités (0,4mm) à Takhmaret et (29,1mm) à Ain Amara. Elles trouvent un sol meuble avec une couverture végétale qui confère une rugosité au sol et favorise la rétention de l'eau.

La crue de 28/10/2007 : pour l'automne, la forte charge s'explique par le fait que les précipitations souvent tombent sur un sol asséché et mal protégé par la végétation.

Le bassin d'oued el Abd est dénudé en automne et après une longue période chaude, les crues de la saison impliquent systématiquement des apports solides en suspension d'ordre maximal, ce phénomène est relativement atténué pour la saison suivante, il s'agit de l'hiver où les terres formant le bassin sont saturées et le couvert végétal développé.

Les pluies qui tombent en octobre qui arrachera de grandes quantités de matières solides, qui seront par la suite véhiculées en suspension par le cours d'eau.

- 2) Les crues qui sont enregistrées au niveau de Ain Amara et puis à Takhmaret : cinq fois en Automne, une fois en Hiver, et en Printemps et nul en été.

La répartition dans le temps des crues d'oued el Abd à différents niveaux du bassin versant laissent penser que ce bassin vaste de 2480 Km² qui est subdivisé en deux secteurs où les crues ne se manifestent pas partout au même temps ou au même jour.

Tableau IV-10: les crues qui enregistrés à Ain Amara et puis à Takhmaret

Date de crue	Pointe à Ain Amara	Pointe à Takhmaret	Temps de propagation	Les apports liquides 10 ⁶ m ³		Les apports solides 10 ⁶ t	
				Ain Amara	Takhmaret	Ain Amara	Takhmaret
23-25/10/2000	Le 23 à 15 :00	Le 23 à 16 :30	1h30	1,15	6,05	1,415	0,189
27/02- 02/03/2001	Le 27 à 08:00	Le 28 à 07:35	23h25	5,09	4,36	0,088	0,047
30/08- 02/09/2001	Le 30 à 00 :00	Le 30 à 07:10	7h10	1,85	2,50	0,043	0,045
18/11- 04/12/2002	Le 18 à 01:00	Le 21 à 03:30	74h30	15,91	1,32	0,253	0,006
15-19/04/2003	Le 15 à 12:00	Le 17à 06 :30	42h30	4,07	3,8	0,066	0,004
26- 28/04/2006	Le 26 à 07:15	Le 26 à 00 :00	7h15	5,35	0,37	0,1836	0,0453
05-08/11/2006	Le 05 à 21:00	Le 07 à 06 :15	32h15	1,7	1,6	0, 045	0,008
16-20/10/2007	Le 16 à 13:50	Le 16 à 08 :00	4h10	41,64	9,62	0,8037	0,139
28/09/2009	Le 28 à 07:00	Le28 à 00 :00	7h	4,68	4 ,1	0,06821	0,045

L'analyse de tableau (IV-7) montre que les apports liquide et solide calculés au niveau de la station d'Ain Amara sont très élevés que la station de Takhmaret.

Ces crues doivent leur origine à un flux perturbé provenant des autres affluents de l'oued Qui a pu traverser le bassin, Ou le balayant la région commençant donc arroser la partie avale du bassin. Ces affluents apporté de débit à la crue mais leurs pics de crue passent généralement avant l'arrivée du oued amont.

Et encore la perméabilité moyenne de la majorité de la zone qui peut donner des temps de réponse aux averses assez courtes.

Le 23/10/2000 il y a des précipitations fortes (44,6 mm) notées sur la station d'Ain Amara et (40,1 mm) sur la station de Takhmaret. Chaque région pouvant avoir sa période de prédilection directement liée à son climat local.

Lorsque les précipitations intéressent différentes zones du bassin versant avec différentes intensités, il en est de même, la contribution des affluents est différent avec des apports en eaux différemment chargées.

Tableau IV-11 : les crues enregistrées dans le sous bassin versant de Ain Amara

Début de crue	fin de crue	Durée (heures)	Al 10 ⁶ m ³	As 10 ⁶ t
14/11/2000 19:00	18/11/2000 22:00	99	8,11	0,140
02/12/2000 18:00	04/12/2000 23:00	53	1,00	0,009
07/09/2001 00:00	08/09/2001 12:00	36	2,06	0,083
20/09/2001 05:00	23/09/2001 23:00	90	2,00	0,054
10/10/2001 03:00	12/10/2001 22:00	67	3,18	0,062
10/11/2001 11:00	13/11/2001 22:00	83	15,32	0,115
02/04/2002 05:30	04/04/2002 22:00	64,5	4,36	0,085
12/04/2002 06:00	12/10/2002 15:00	88	1,13	0,035
12/10/2002 15:00	06/11/2002 22:00	607	0,55	0,010
05/11/2002 01:00	13/01/2003 22:00	45	0,84	0,017
09/01/2003 01:00	02/02/2003 20:00	117	5,27	0,080
31/01/2003 08:00	02/03/2003 23:00	60	2,03	0,014
27/02/2003 14:00	18/06/2003 23:00	81	1,50	0,036
17/06/2003 01:00	11/08/2003 13:00	46	5,12	0,096
08/08/2003 09:00	08/10/2003 22:00	76	6,85	0,346
07/10/2003 06:00	25/10/2003 22:00	40	3,39	0,076
14/10/2003 02:00	11/12/2003 22:00	284	30,34	0,712
09/12/2003 13:00	12/05/2004 22:00	57	3,12	0,132
11/05/2004 05:00	09/06/2004 23:00	41	1,17	0,034
07/06/2004 00:00	16/09/2004 20:00	71	1,28	0,037

07/09/2004 13:00	31/10/2004 18:00	223	2,78	0,039
30/10/2004 08:00	15/11/2004 23:00	34	0,55	0,008
13/11/2004 18:00	10/12/2004 23:00	53	2,01	0,050
08/12/2004 10:00	27/12/2004 23:00	61	2,83	0,061
26/12/2004 07:00	29/09/2005 23:00	40	1,24	0,007
26/09/2005 22:00	16/10/2005 18:00	73	1,68	0,047
13/10/2005 08:00	13/11/2005 23:00	82	7,96	0,164
11/11/2005 08:00	30/01/2007 23:00	63	2,65	0,028
30/01/2007 00:00	31/03/2007 23:00	23	0,43	0,017
30/03/2007 00:00	24/04/2007 06:00	47	1,71	0,029
23/04/2007 18:00	18/09/2007 23:00	12	1,40	0,163
16/09/2007 00:00	24/09/2008 23:00	71	3,38	0,096
23/09/2008 00:00	30/09/2008 23:00	47	1,98	0,048
28/09/2008 00:00	13/10/2008 23:00	71	11,10	0,531
12/10/2008 07:00	22/10/2008 23:00	40	22,75	1,416
22/10/2008 10:00	26/10/2008 23:00	13	10,25	0,291
26/10/2008 07:00	06/11/2008 23:00	16	1,99	0,063
04/11/2008 04:00	15/12/2008 23:00	67	1,32	0,013
14/12/2008 13:00	08/02/2009 23:00	34	3,33	0,149
07/02/2009 00:00	08/03/2009 23:00	47	2,49	0,03
05/03/2009 08:00	13/04/2009 23:00	87	4,28	0,08
12/04/2009 12:00	15/09/2009 23:00	35	0,80	0,010
15/09/2009 01:00	02/12/2009 23:00	22	0,63	0,0064
01/12/2009 12:00	15/12/2009 23:00	35	0,15	0,0016
15/12/2009 00:00	28/01/2010 23:00	23	0,45	0,007
26/01/2010 12:00	11/02/2010 19:00	59	0,55	1,770
09/02/2010 14:00	16/02/2010 23:00	53	0,96	0,023
14/02/2010 00:00	09/03/2010 23:00	71	1,86	0,020
07/03/2010 00:00	23/04/2010 19:00	71	1,61	0,035
22/04/2010 01:00	18/08/2010 23:00	42	0,20	0,001
18/08/2010 07:00	12/10/2002 15:00	16	2,02	0,08

Le tableau (IV-8) montre les crues observées uniquement à Ain Amara, on observe dans cette station des crues provoqués par les affluents de oued el Abd et Les crues qui enregistrées à Ain Amara : 51% en automne, 29 % en hiver, 16 % en printemps, et 4 % en été.

En remarquant que dans le sous bassin versant à Ain Amara il y a des crues qui se produisent en été 17/06/2003, 08/08/2003, 07/06/2004.

En été, lorsque les débits diminuent dans le chenal, les sédiments proviennent exclusivement de l'érosion des versants lors des épisodes orageux.

L'été se distingue des autres saisons, par des valeurs très dispersées, de pluviométrie faible à Nulle sans conséquences généralement sur le transport solide, mais parfois des orages estivaux ramènent des quantités considérables de matières en suspension.

Tableau IV-12 : Les crues enregistrées dans le sous bassin versant de Takhmaret

Début de crue	fin de crue	Durée (jour)	Al 10 ⁶ m ³	As 10 ⁶ t
28/09/2000 20:15	03/10/2000 09:15	109	3,82	0,181
29/01/2001 16:10	02/02/2001 12:00	91,83	2,30	0,042
23/01/2003 11:50	29/01/2003 12:30	144,67	1,43	0,004
09/10/2008 08:00	18/10/2008 12:00	220	36,21	0,512
09/09/2009 14:30	12/09/2009 16:00	73,5	3,12	0,024

Parfois les crues qui sont observées à Takhmaret n'apparaissent pas à Ain Amara à cause de la diminution des précipitations (3,1 mm) et la distance entre les deux stations 30 km.

Peut-être ces crues prenant leur naissance à l'amont d'oued el Abd qui est formé par la confluence de l'oued Chiba et l'Oued Dez. Le premier est également formé par la confluence de l'Oued Tounkira et l'Oued Sidi Yahia.

Conclusion

Conclusion

Au cours du cycle hydrologique les périodes de crues jouent un rôle prédominant dans l'exportation des matières en suspension, en effet, c'est durant les épisodes de crues que les apports solides dans les cours d'eau sont significatifs.

L'évolution des crues de l'amont vers l'aval est fonction à la fois de la nature des Précipitations génératrices de ces crues et de l'organisation et de la hiérarchisation du réseau hydrographique. De plus, cette évolution est très variable d'une crue à l'autre, selon la durée de celle-ci

Les problèmes de mesure, d'analyse et de prédétermination des différents paramètres du transport solide des oueds des zones semi-arides sont d'actualité et nécessitent des approches de solution adéquates quant à la quantification plus précise des charges solides nécessaires au dimensionnement des ouvrages d'aménagements hydrauliques de mobilisation et de protection contre les inondations.

L'oued el Abd draine une zone de calcaires et de marnes subordonnées. Sur les Monts de Frenda et de Saida au sud, les calcaires affleurent souvent.

Les caractéristiques lithologiques du bassin marquant l'existence des marnes et il faut noter que les marnes sont des roches friables, donc un facteur favorable à la dégradation.

Les caractéristiques biogéographiques montrent une insuffisance de la végétation forestière et les surfaces sont souvent soumises au pâturage Concernant les conditions climatiques, on voit que notre région est située dans une région semi -aride avec une précipitation moyenne de 266 mm à Ain Amara et 238 mm à Takhmaret.

A partir de la situation et la présentation de la région d'étude, on note en premier lieu que les Caractéristiques du milieu prévoient l'existence d'une érosion plus ou moins remarquable.

A Ain Amara, les mois d'octobre et novembre sont les mois plus riches en épisodes de crues et ce sont les mois les plus pluvieux. A la station de Takhmaret, le mois d'octobre représente le mois le plus riche en épisodes de crue.

Les valeurs maximales des transports solides sont enregistrées à Ain Amara et Takhmaret sont observées en automne, ceci s'explique par la pauvreté de la couverture végétale durant

Conclusion

cette saison et la nature agressive des pluies d'automne. Une quantité considérable des sédiments transportés après une longue saison sèche caractérisée par une forte température.

L'apport solide moyen annuel estimé au droit de la station d'Ain Amara est de l'ordre ($0,99 \times 10^6$ tonnes) et avec une charge spécifique de l'ordre ($399,5 \text{ t/km}^2/\text{an}$) et à la station de Takhmaret l'apport solide moyen annuel est de ($0,21 \times 10^6$ tonne) et une charge spécifique ($119,20 \text{ t/km}^2/\text{an}$).

Références bibliographiques

- [1] Zoubir .A , 2007, Estimation des apports solides dans le bassin versant de l'oued Hadad à la station hydrométrique Sidi A.E.K Djilali à Relizane, Université d'Oran .
- [2] Meguenni. K, Remini. B, 2008, Evaluation du débit solide dans le bassin versant de Harreza (ALGERIE), Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 07, Juin 2008, pp. 7-19.
- [3] : Bouanani .A , 2004 , Hydrologie, transport solide et modélisation étude de quelques sous bassins de la Tafna (**NW**– Algérie), doctorat d'état en géologie appliquée : Option hydrogéologie; université de Tlemcen,
- [4] M.Henri PELLERAY, Etude sommaire des transports solides dans un petit bassin du nord — cameron, Service Hydrologique de l'ORSTOM au Cameroun
- [5] Benaïcha .A, Etude des processus des transports solide et leur impact sur l'alluvionnement des barrages, Mémoire de Magister en Hydraulique, Option : Simulation Numérique Des Ecoulements Polyphasiques, université de Batna.
- [6] FREY.P , ,1991 Etude expérimentale et simulation numérique du transport turbulent de particules solides dans un décanteur, Docteur, spécialité : Mécanique, L'ecole centrale de Lyon.
- [7] Bouchelkia .A , 2009 , Etude du transport solide dans un bassin versant et son impact sur l'envasement des barrages —cas du bassin versant de chellif-doctodat en Hydraulique, université de Tlemcen.
- [8] 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.
- [9] Komercu. M, Onsoy. H, Kankal. M, Karasu. S, Etude des transports solides en vue de gestion des ouvrages hydrauliques dans la région de la mer noire, Est en Turquie.
- [10] Gestion intégrée des crues: aspects sociaux et participation des parties prenantes, politiques de gestion des crues.
- [11] .Jean,Paul GRANIER, , Juin1993, la mesure in situ du débit solide des cours d'eau, ORSTOM Service hydrologique.
- [12] Alain RECKING, Janvier 2012, Cours d'hydraulique et de transport solide, Master II Paris 6.
- [13] Touaïbia, 28 Février au 1 Mars 2009 , Hydrologie des Retenues, SEMINAIRE, Retenues Collinaires, Corne d'Or. TIPAZA.

- [14] Megnounif.A , Terfous. A, et Bouanani A , 2003, Détermination des dégradations spécifiques dans Trois bassins versants des régions méditerranéennes Algériennes, Hydrology of die Méditerranéen and Semiarid Regions (Proceedings of an internationals ymposion held at Montpellier.Apri12003)JAH SPubl.no.278.
- [15] A. Megnounif, A. Terfous, A. Ghenaim,J.B. Poulet, 7-9 septembre 2004, Rôle des crues dans la production de sédiments transportés en suspension dans un cours d'eau des bassins versants méditerranéens, VIII^èmes Journées Nationales Génie Civil— Génie Côtier, Compiègne.
- [16] Achite. M et Meddi. M , 2004, Estimation Du Transport Solide Dans Le Bassin-Versant De L'oued Haddad (Nord-Ouest Algerien).
- [17] M. Achite, M. Meddi , 2005 , Variabilité spasio-temporelle des apports liquide et solide en zone semi-aride. Cas du bassin versant de l'oued Mina (Nord- Ouest Algérien),Revue des science de l'eau, Rev. Sci. Eau 18/spécial 37-56
- [18] Ghenim. A, Seddini. A, Terfous. A, 2007, Production et exportation des sédiments en suspension lors des évènements de crue, cas du bassin versant de l'oued mouilah, Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 06, Décembre 2007, pp. 35-44.
- [19] EL Amine cherif, Mohamed Errih & Hayet Madani Cherif: Modélisation statistique du transport solide du bassin versant de l'Oued Mekerra (Algérie) en zone semi-aride méditerranéenne, Hydrological Sciences Journal Publication details, including instructions for authors and subscription information: <http://www.tandfonline.com/loi/thsj20>
- [20] Bouchelkia H, Belarbi F et Remini B Décembre 2011 , Quantification du transport solide en suspension par Analyse statistique : cas du bassin versant de Muillah, Revue Scientifique et Technique, LJEE N 19.
- [21] Touaibia. I et Ghenim. A , Décembre 2011, Estimation du Biais du modèle régressive puissance « Concentration —Débit » : Cas du Bassin versant du K'SOB, Revue Scientifique et Technique, LJEE N 19.
- [22] Hallouz.F, Meddi. M, Mahé. G: Relation débit liquide-transport de matières en suspension dans le bassin de l'Oued Mina, en amont du barrage Sidi M'hamed Ben Aouda (Oued Cheliff), Nord-Ouest d'Algérie.
- [23] Fandi. O, Bouanani.A, Baba-Hamed.K et Bekkouche.A: Modélisation du Transport des Particules du Sol en suspension dans L'oued Sikkak (Nord -Ouest Algérien), Colloque International Sols Non Saturés et Environnement UNSA Tlemcen09.
- [24] Belagoune.F, , 2012, Etude et modélisation des crues des cours d'eaux en milieu semi – aride « Cas des grands bassins versants 05, 06 et 07 », Magister en Hydraulique Option : Aménagement hydraulique en zones arides, université de Ouargla.

[25] Bachi .M , 2011, Problématique du risque inondation en milieu urbain ; cas de l'agglomération de sidi Bel Abbes, Magister en Hydraulique : Option Ecoulement et Transport solide, université de Tlemcen.

[27] Le risque inondation Dossier d'information

[28] Le risque d'inondation, Édition de juin 2010.

[29] Achite .M , Ouillon .S, Suspended sediment transport in a semiarid watershed, Wadi Abd, Algeria (1973-1995), Journal of Hydrology (2007) 343,187-202.

[30] Nacef .H, 2013, Etude du transport des sédiments en suspension a l'échelle évènementielle, Magister en Hydraulique : Option Ecoulement et transport solide, université de Tlemcen

[31] David Marc Moreil, Patrick Danard, et François Dugas, juin 1991, Étude de transport solide de Bras, Pointe-à-Pitre.