

Ordre...../F.S.S.A/UAMOB/2021

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ DE BOUIRA



Faculté des Sciences et Sciences Appliquées
Département de Génie Civil

Mémoire de Fin d'Etude

Présenté par :

**BENZERGA MERIEM
SID RAZIKA**

En vue de l'obtention du diplôme de **Master** en :

Filière : **Hydraulique**
Option : **Ressources Hydrauliques**

Thème

**Etude du transport solide et liquide par modélisation dans le
bassin versant d'oued sahel**

Devant le jury composé de :

YAHYA OUI	ABD HALIM	MCA	UAMOB	Examineur
BALOUL	DJOHRA	MAA	UAMOB	Encadreur
DJAAFER KHODJA	HAKIM	MCB	UAMOB	Co-encadreur
METAICHE	MAHDI	MCA	UAMOB	Président

Année Universitaire 2020/2021

REMERCIEMENT

Avant toute personne, nous remercions le bon Dieu de nous avoir prêté vie, santé, force, patience et volonté pour achever ce modeste travail.

Nous adressons nos plus sincères remerciements et notre profonde gratitude à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail, notamment notre promotrice Mme Baloul Djouhra, Et Mr Djafer Khodja Hakim, Mr Davu Hadji, Khaldi Ramzi Et Mr Redouane Ghernaout pour ses orientations et son soutien.

Nos profondes remerciements s'adressent aussi aux membres de jury d'avoir accepté d'examiner notre travail.

Nous tenons à exprimer notre entière reconnaissance envers tous les enseignants qui ont contribué à notre réussite ainsi tous nos collègues de la promotion ressources hydraulique 2021.



DÉDICACE

Je dédie ce travail à celle qui m'a donné la vie, d'où je tire ma force, à la femme de ma vie, à ma mère FARIDA NOUAL.

A la source d'optimisme, qui sacrifie pour notre bonheur, mon père BACHIR.

A mon diamant RAFIK, mes sœurs ZINEB et SABRINA.

A mes chères DHIKRA, ROZY et THILELI.

MERIEM



DÉDICACE

Je dédie ce travail à ma mère et mon père.

A mes beaux parent TEIFOR et BADRA.

Mon partenaire, mon fiancé AHMED AMINE.

A mes frères BAHA ADINNE ADNANE, ABD RAOUF et MOHAMMED.

A mes sœur SARAH, MOTIAA, MERIEM et ABIR.

RAZIKA

المخلص

يشكل النقل الصلب ، من حيث أهميته ، مشاكل رئيسية في الجزائر (تدهور التربة الزراعية ، الخزانات الغرينية) تتيح دراسة النقل الصلب تقييم كميات الرواسب التي تنقلها الوديان وتحديد ديناميكيات التآكل للحوض وفهم طريقة عمل مستجمعات المياه في إنتاج الرواسب

الهدف من الدراسة التي بدأها على محطات مستجمعات مياه وادي الساحل التي تقع في منطقة شبه قاحلة بمساحة 3693 كيلومتر مربع. تتكون الدراسة من جمع سلسلة من البيانات عن التدفقات السائلة والتركيزات المسجلة على مستوى المحطات الهيدرومترية (TASTA 150114 ، EL ASNAM 150204 ، TILES DIT 150106) وبحثنا عن منحنى تقديري من خلال تطبيق نماذج الانحدار المختلفة الثلاث

التدفق في هذا العمل الحالي نحن مهتمون بنموذجين ؛ نموذج القدرة الانحدارية ($Q_s = a QI^b$) الذي يوضح تباين الصلب المعلق بواسطة تدفق السائل ونموذج الشبكة العصبية الاصطناعية الذي يوفر بديلاً مفيداً وقوياً للتنبؤ بنمذجة وقياس حمل الرواسب الذي يؤثر سلباً على البيئة

أظهر التحليل والتقدير الكمي للنقل الصلب أن دالة القدرة لمنحنى النقل الصلب هي طريقة مناسبة لتقدير وتحليل النقل الصلب في مستجمعات مياه وادي الساحل

الكلمات المفتاحية: السحب الصلب ، مستجمعات المياه ، وادي السهل ، التدفق السائل ، التركيز ، نموذج القدرة ، الشبكات العصبية الاصطناعية

Résumé

Le transport solide constitue par son importance des problèmes majeurs en Algérie (dégradation des sols agricoles, alluvionnement des retenues).

L'étude du transport solide permet d'évaluer les quantités des sédiments transportés par les oueds et de préciser la dynamique érosive du bassin et de comprendre le fonctionnement des bassins versants dans la production des sédiments.

Le but de l'étude, qu'on avait entamé les stations du bassin versant de l'Oued El Sahel qui situe en zone semi-aride avec une superficie de 3693 km². L'étude consiste à rassembler une série des données des débits liquides et des concentrations enregistrées au niveau des trois stations hydrométriques (TASTA 150114, EL ASNAM 150204, TILES DIT 150106) et on a cherché une courbe d'estimation en appliquant des différents modèles de régression.

Dans ce présent travail on s'est intéressé à deux modèles ; le modèle de régression puissance ($Q_s = a \cdot Q_l^b$) expliquant la variation du débit solide en suspension par le débit liquide et le modèle de réseau de neurones artificiel qui offre une alternative utile et puissante à la prédiction pour modéliser et quantifier la charge sédimentaire qui affecte négativement sur l'environnement.

L'analyse et la quantification du transport solide a montré que la fonction puissance de la courbe du transport solide est une méthode appropriée pour l'estimation et l'analyse du transport solide dans le bassin versant de l'Oued Sahel.

Mots clés : apport solide, bassin versant, oued el Sahel, débit liquide, concentration, modèle puissance et Réseaux de neurones artificiels.

Abstract:

Solid transport constitutes by its importance major problems in Algeria (degradation of agricultural soils, alluvial reservoirs).

The study of solid transport makes it possible to evaluate the quantities of sediment transported by the valleys and to specify the erosive dynamics of the basin and to understand the functioning of the watersheds in the production of sediments.

The aim of the study, which we started on the stations of the Oued El Sahel watershed, which is located in a semi-arid zone with an area of 3693 km². The study consists of gathering a series of data on liquid flows and concentrations recorded at the level of the three hydrometric stations (TASTA 150114, EL ASNAM 150204, and TILES DIT 150106) and we looked for an estimation curve by applying different regression models. .

In this present work we are interested in two models; the regressive power model ($Q_s = a Q_l^b$) explaining the variation of the suspended solid flow by the liquid flow and the artificial neural network model which offers a useful and powerful alternative to prediction to model and quantify the sediment load which negatively affects the environment.

The analysis and quantification of solid transport has shown that the power function of the solid transport curve is an appropriate method for the estimation and analysis of solid transport in the Oued Sahel watershed.

Key words: solid intake, watershed, wadi el Sahal, liquid flow, concentration, power model and artificial neural networks.

Table des matières

Remerciement

Dédicace

Résumé

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale

CHAPITRE I : Recueils Bibliographiques et Théoriques

I.1.Introduction.....	3
I.2 .Phénomène d'érosion des sols.....	3
I.3 .Processus de l'érosion.....	3
I.3.1.Détachement.....	3
I.3.2.Transport.....	4
I.3.3.Dépôt.....	4
I.4 .Les facteurs de l'érosion.....	4
I.5 .Types d'érosion.....	6
I.5.1. Erosion éolienne.....	6
I.5.2. Erosion hydrique.....	6
I.6.L'envasement.....	7
I.7.Transport solide.....	8
I.8.Modes de transport.....	8
I.8.1.Transport solide par charriage.....	8
I.8.2.Transport solide en suspension.....	9
I.9.Les facteurs de transport solide.....	9
I.9.1. Influence des caractéristiques des particules.....	9
I.9.2.Influence des conditions hydrodynamiques.....	10
I.10.Appareillage pour la mesure des transports solide en suspension.....	10
I.10.1. La mesure du transport en suspension.....	10
I.10.2. La mesure du transport de fond.....	11
I.11.Problèmes liés au Transport solide.....	13

I.12. Ampleur de l'érosion et du transport sédimentaire en Algérie.....	14
I.13. Quelques travaux sur le transport solide en Algérie.....	15
I.14. Conclusion	16

CHAPITRE II : Présentation de la Zone d'Etude

II.1. Introduction.....	20
II.2. Etude topographique.....	20
II.2.1. Localisation.....	20
II.2.2. Choix de l'axe de l'oued.....	21
II.3. Etude géologique.....	22
II.4. Condition du sol.....	23
II.5. Caractéristique générale du bassin versant.....	24
II.5.1 Caractéristiques physico-géographiques du bassin versant.....	25
II.6.2. Caractéristique climatique.....	33
II.6.2.1. Condition climatique.....	33
I.7. Conclusion.....	37

CHAPITRE III : Etude Hydrologique

III.1 Introduction	39
III-2 Etude de précipitation	39
III-2-1 Les stations étudiées	39
III-2-2 La qualité des séries pluviométriques.....	39
III.2.3. Pluies moyennes mensuelles	41
III.2.4. Pluies journalières maximales	42
III.2.4.1. Ajustement des pluies maximales journalières	42
III.2.4.2 Ajustement à la loi de Gumbel	43
III.2.4.3 Ajustement à la loi Normal	45
III.2.4.4. Choix de la loi d'ajustement.....	46
III.3. Etude des apports	47
III.3.1. Présentation des données	47

III.3.2. Apport solide et liquide annuelle	48
III.3.3. Apport solide et liquide mensuelle	53
III.3.4. Apport solide et liquide saisonnier	56
III.3.5 Apport solide spécifique	59
III.4. Conclusion	60

CHAPITRE IV : Modèles d'Estimations de Transport Solide

IV.1. Introduction	63
IV.2.La modélisation des systèmes naturels	63
IV.2.1. Qu'est-ce que la modélisation numérique ?.....	63
IV.3.Modèle en puissance.....	63
IV.4. Les réseaux de neurones artificiels.....	65
IV.4.1. Définition de réseaux neurones artificiel	66
IV.4.2. La structure de RNA	66
IV.4.3. Apprentissage pour les RNA	67
IV.4.3.1. Définition	67
IV.4.3.2 L'apprentissage supervisé	67
IV.4.3.3.L'apprentissage non- supervisé	67
IV.4.3.4. Les réseaux de neurones feed-forward rétro propagation (RNFFRP).....	67
IV.4.4. Les avantages et Les inconvénients de RNA	68
IV.4.4.1. Les avantage	68
IV.4.4.2 Les inconvénients	68
IV.5.Conclusion.....	69

CHAPITRE V : Modalisation des Débits Solides

V.1 Introduction	71
V.2 Modèle en puissance	71
V.2.1 Résultats et discussion	74
V.3 Modèle de réseau de neurones artificiel	76
V.3.1 Les étapes de la modalisation	76
V.3.2 Résultats et discussion	82
V.4 La modalisation des débits solides	83
V.4.1 Résultats et discussion	86

V.5 Conclusion87

Conclusion générale

Liste des Abréviations

ANRH : Agence national des ressources hydrauliques

AL : apport liquide

As : apport solide

Ass : apport solide spécifique (t/km² /an)

BV : bassin versant

C max : concentration maximale

Dg : densité de drainage

Hmoy : altitude moyenne

Hmax : altitude maximale

Hmin : altitude minimale

H5% : correspond à l'altitude lue au point d'abscisse 5% de la surface totale du bassin, sur la courbe hypsométrique

H95% : correspond à l'altitude lue au point d'abscisse 95% de la surface totale du bassin, sur la courbe hypsométrique,

I : pente moyenne

Ig : indice de pente globale

Kc : indice de compacité de graveleuse

L : longueur du thalweg

L: Longueur du rectangle équivalent.

l : Largeur du rectangle équivalent

MSE : l'erreur quadratique

P : Périmètre du bassin versant

P : Précipitations (mm)

P_{max,j} : Pluies maximales journalières (mm)

R : Coefficient de corrélation

R² : Coefficient de détermination

RNA : Les réseaux de neurones artificiels

S : surface du bassin

SB : sous bassin

t : temps

T_c : temps de concentration

Q_{min}, Q_{max}, Q_{moy} : Débits liquides minimum, maximum et moyen

Q_s : débit solide .

LISTE DES FIGURES

Figure I. 1: Processus de l'érosion.....	4
Figure I. 2: types de transport solide	9
Figure I. 3: Fosse artificielle.....	11
Figure I. 4: Installation de mesure de charriage	11
Figure I. 5 : Echantillonneur du transport solide par charriage.....	12
Figure I. 6 : Echantillonneur du transport solide en charriage avec différence de pression à l'entrée	12
Figure I. 7: Traineau portatif des détecteurs.....	13
Figure II. 1:La situation de la zone d'étude par rapport au bassin hydrographique....	21
Figure II.2:Carte géologique du bassin versant d'oued sahel.....	23
Figure II.3:Bassin versant d'oued sahel.....	24
Figure II.4:Réseau hydrographique du bassin versant avec classification.....	26
Figure II.5:Courbe Hypsométrique du bassin versant.....	28
Figure II 6:Courbeshypsométriquesd'aprèsStrahler.....	28
Figure II 7:Température smensuelles moyennes sur la période 2006-2015 (Station BOUIRA).....	34
Figure II 8:Moyennes mensuelles de la vitesse des vents sur la période 2006-2015	35
Figure II 9:Moyennes mensuelles d'humidités de l'air sur la période 2006-2015.....	36
Figure III. 1 :Critique des données par la méthode des doubles cumuls.....	40
Figure III. 2 : Critique des données par la méthode des doubles cumuls.....	40
Figure III. 3:Pluies moyennes mensuelles considérées pour le bassin versant d'OUED SAHEL.....	41
Figure III. 4 : Ajustement à la loi de Gumbel (Maximum de vraisemblance).....	44
Figure III. 5 : Ajustement à la loi normal (Maximum de vraisemblance).....	46
Figure III. 6 : Position des stations hydrométriques.....	48
Figure III. 7 :L'évaluation des apports solides et liquides annuel de station hydrométrique TASTA (de 1975 à 2012).....	50
Figure III. 8 :L'évaluation des apports liquides et solides annuel de station hydrométrique TILES DIT (de 1967 à 1989).....	51
Figure III. 9 :L'évaluation des apports liquides et solides annuel de station EL ASNAM (de 1994 à 2012).....	52
Figure III. 10 : Apport solide et liquide de station TILES DIT (de 1967 à 1995)....	53
Figure III. 11: Apport solide et liquide mensuelle de station TASTA (de 1974 à 2014).....	54
Figure III. 12: Apport solide et liquide mensuelle de station EL ASNAM.....	55
Figure III. 13: Apport solide et liquide saisonnier de station TILES DIT.....	56
Figure III. 14: Apport solide et liquide saisonnier de station TASTA (de 1974 à 2014).....	57
Figure III. 15: Apport solide et liquide saisonnier de station EL ASNAM.....	58
Figure IV. 1: La structure (l'architecture) des réseaux de neurone.....	66

Figure V. 1: Evaluation des concentrations mesurées et calculées en fonction de débit.....	72
Figure V. 2 : Evaluation des concentrations mesurées et calculées en fonction de débit (C=f(Q)) pour la station de TASTA 150114 (validation).....	73
Figure V. 3 : Evaluation des concentrations mesurées et calculées en fonction de débit (C=f(Q)) pour la station de TILESDIT 150106 (entraînement).....	73
Figure V. 4 : Evaluation des concentrations mesurées et calculées en fonction de débit (C=f(Q)) pour la station de TILESDIT 150106 (Validation).....	74
Figure V. 5: Evaluation des concentrations mesurées et calculées en fonction de débit (C=f(Q)) pour la station de EL ASNAM 150204 (entraînement).....	74
Figure V. 6 : Evaluation des concentrations mesurées et calculées en fonction de débit (C=f(Q)) pour la station de EL ASNAM 150204 (Validation).....	75
Figure V. 7: Evaluation des apports solides pendant les années de mesures dans la station d'EL ASNAM.....	85
Figure V. 8: Evaluation des apports solides pendant les années de mesures dans la station de TASTA.....	86
Figure V. 9: Evaluation des apports solides pendant les années de mesures dans la station de TILESDIT.....	87

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I. 1: Etudes d'estimations des sédiments en suspension en Algérie.....	15
Tableau II. 1: les surfaces par tranches d'altitude.....	27
Tableau II. 2: altitude moyenne du bassin versant.....	29
Tableau II. 3 : classification des reliefs.....	30
Tableau II. 4: récapitulatif du temps de concentration.....	32
Tableau II. 5: Températures mensuelles moyennes sur la période 2006-2015 (Station Bouira).....	33
Tableau II. 6: Moyennes mensuelles de la vitesse des vents sur la période 2006-2015.....	34
Tableau II. 7 : Moyennes mensuelles de la vitesse des vents sur la période 2006-2015 (station de BOUIRA).....	35
Tableau III. 1: Caractéristiques des stations pluviométriques.....	39
Tableau III. 2: Pluies moyennes annuelles du bassin versant d'oued sahel.....	41
Tableau III. 3 : Caractéristiques de la série des Pjmax.....	42
Tableau III. 4 : Résultat d'ajustement par la loi de Gumbel.....	44
Tableau III. 5 : Résultat d'ajustement par la loi normal.....	45
Tableau III. 6 : Les caractéristiques des stations hydrométriques étudiées.....	47
Tableau III. 7 : Apport solide et liquide annuel de station TASTA (de 1975 à 2012).....	49
Tableau III. 8 : Apport solide et liquide annuel de station TILESDIT (de 1967 à 1989).....	51
Tableau III. 9: Apport solide et liquide annuel de station EL ASNAM (de 1994 à 2012).....	52
Tableau III. 10 : Apport solide et liquide mensuelle de station TILESDIT (de 1967 à 1995).....	53
Tableau III. 11 : Apport solide et liquide mensuelle de station TASTA (de 1974 à 2014).....	54
Tableau III. 12: Apport solide et liquide mensuelle de station EL ASNAM (de 1994 à 2012).....	55
Tableau III. 13: Apport solide et liquide saisonnier de station TILESDIT (de 1967 à 1995).....	56
Tableau III. 14: Apport solide et liquide saisonnier de station TASTA (de 1974 à 2014).....	57
Tableau III. 15 : Apport solide et liquide saisonnier de station EL ASNAM (de 1994 à 2012).....	58
Tableau III. 16 : L'apport solide spécifique.....	59

Introduction générale

L'Algérie est un pays à un climat semi-aride dont les ressources hydriques sont caractérisées par une irrégularité dans le temps et dans l'espace. Pour répondre aux différents besoins (domestiques, industrielles, agricoles...) croissant de cette richesse, orienté vers l'exploitation des ressources non conventionnelles pour compensé les ressources conventionnels. L'un des solutions était la réalisation des barrages pour stocker les eaux fluviales.

Le problème majeur des barrages en Algérie est l'envasement précoce de leurs cuvettes. Ceci est dû au caractère très érosif des bassins versant qui contribue à environ 2 à 5 % de la perte annuelle de capacité de stockage d'eau. Sans oublié les problèmes lié aux pertes des sols et la diminution de la fertilité des terres agricoles.

L'importance de transport sédimentaire exercée par les cours d'eau algériens a encouragé de nombreux auteurs pour étudier le transfert de sédiments en suspension dans cette zone. Au cours de la dernière décennie, plusieurs travaux se sont concentrés sur l'évaluation des budgets et l'analyse de la variabilité spatiale et temporelle des apports sédimentaires (Megnounif et al., 2003 ; Achite et Meddi, 2005 ; Achite et Ouillon, 2007 ; Ghenim et al., 2007, 2008). Étant donné un tel problème et afin de déterminer la durée de vie des barrages et pour mettre en œuvre une meilleure stratégie de gestion des ressources en eau, les recherches sur la dynamique des sédiments mettent l'accent sur la nécessité d'une meilleure compréhension des variations de l'érosion, du dépôt et du stockage dynamique des sédiments dans une variété de bassins versants et de rivières. Dans ce contexte, un certain nombre d'études ont utilisé des relations de concentration de sédiments en suspensions et le débit liquide pour mieux comprendre les processus du bassin versant.

Dans ce travail on vise à exploiter les données disponibles fournies au niveau des services de l'Agence Nationale des ressources hydrique (ANRH) afin d'établir et de tester l'efficacité de deux méthodes différentes pour l'estimation du transport solide en suspension à partir des débits liquides, à savoir le modèle puissance qui est un modèle de régression linéaire ainsi que les réseaux de neurones artificiels.

Ce modeste travail est structuré comme suit :

- ✓ Introduction général
- ✓ Chapitre I : Recueils bibliographiques et théoriques
- ✓ Chapitre II : Présentation de la région d'étude
- ✓ Chapitre III : Etude hydrologique
- ✓ Chapitre IV : modèle d'estimation du transport solide
- ✓ Chapitre V : Modélisation des concentrations des sédiments en suspensions.

Et enfin, nous avons terminé par une conclusion générale.

CHAPITRE I
RECUEILS BIBLIOGRAPHIQUES ET THEORIQUES

□.1.Introduction :

Le transport des sédiments par ruissellement est un phénomène physique qui dépend de la forme du réseau de drainage naturel. On peut voir que tous les interventions susceptibles de modifier les conditions hydrologiques ou les lits des rivières doivent vérifier les processus d'érosion, de migration solide et de dépôt. Nous pouvons distinguer le processus de transport solide en fonction des propriétés physiques de la substance, la composition granulométrique et les conditions du matériau transporté et des sédiments (débit, vitesse, profondeur).

Dans ce chapitre, concernant les phénomènes de l'érosion et le transport solide, on met en place une bibliographie pour répondre à ces questions importantes.

□.2 .Phénomène d'érosion des sols :

L'érosion correspond au mouvement des particules du sol causé par les intempéries. Ces particules sont transportées par l'air, l'eau ou la glace.

Ce sont toutes les interactions physiques et organiques qui conduisent à la destruction des roches et au nivellement progressif du terrain. Plus simplement, l'érosion est l'abrasion de la surface de la croûte terrestre. L'eau, le vent et l'homme sont les principaux médias.

L'érosion est un phénomène naturel qui affecte la couverture terrestre de l'ensemble de la géologie et du relief, et est l'un des facteurs importants dans la formation et l'évolution de l'environnement naturel.

□.3 .Processus de l'érosion[1]

L'érosion hydrique est le résultat d'une succession de trois processus complémentaires, ils sont résumés comme suit :

□.3.1.Détachement

Lorsque sous l'action des gouttes de pluie, les agrégats éclaboussent ou lorsque la force de cisaillement du ruissellement est supérieure à la résistance au détachement du sol, les particules se détachent à la surface du sol.

□.3.2.Transport

Les particules grossières ou fines produites par la dissociation se déplacent alors vers l'aval sous l'action de la gravité. Certains, comme les rochers et les glissements de terrain, tombent directement. D'autres, plus fins, sont transportés par des agents maritimes,

généralement de l'eau. La puissance du véhicule ajustera naturellement la taille des sédiments ; le vent ne peut déplacer que la poussière et le sable fin, tandis que les torrents charrient du sable, des graviers et des cailloux.

□.3.3. Dépôt

Cela se produit lorsque l'énergie cinétique du matériau en mouvement produite par la séparation est réduite ou décalée.

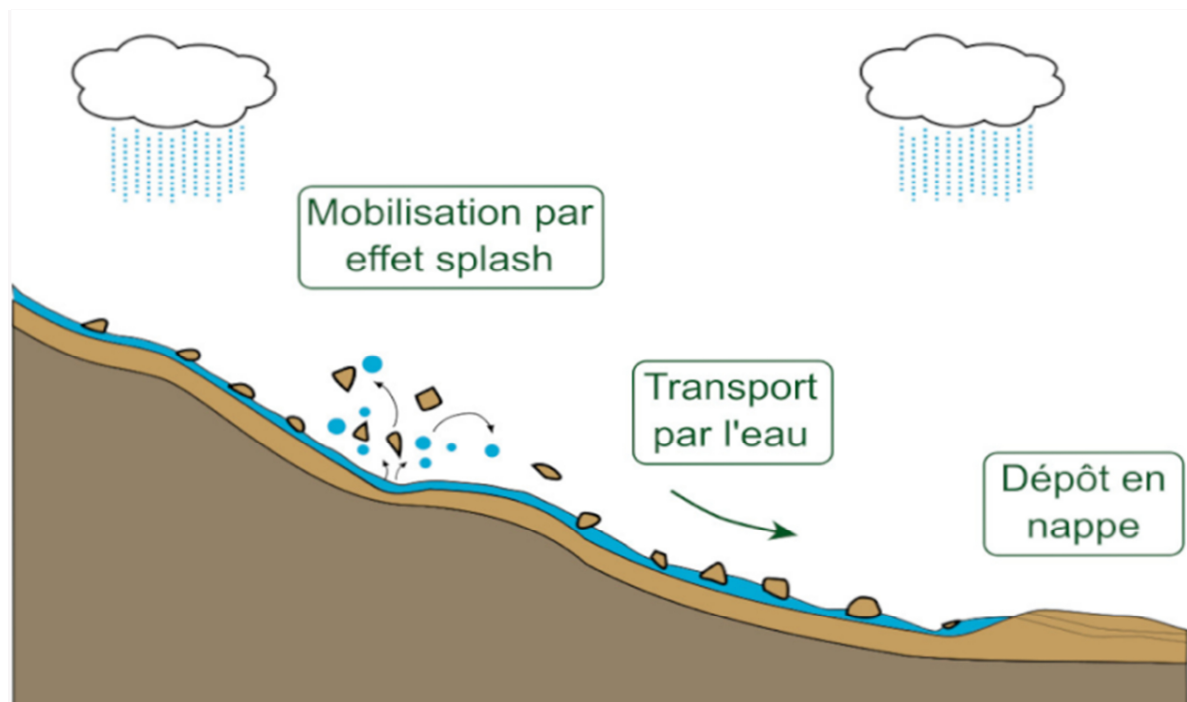


Figure I. 1: Processus de l'érosion.

□.4 .Les facteurs de l'érosion : [2]

L'érosion hydrique est un problème auquel les hydrologues et les hydrogéologues sont confrontés depuis des décennies. En raison de différents facteurs, de nombreux facteurs affecteront et augmenteront l'érosion hydrique dans le bassin. L'érosion hydrique est principalement contrôlée par quatre facteurs principaux, sont :

❖ Climat :

Tous les facteurs climatiques (p. Ex. Précipitations, humidité, température, évapotranspiration, rayonnement solaire et vitesse du vent) influent sur l'érosion hydrique.

- La précipitation est l'agent principal de l'érosion hydrique.
- La quantité, l'intensité et la fréquence des précipitations déterminent l'ampleur de l'érosion.
- L'intensité de la pluie est le facteur le plus critique.
- Plus orage est intense, plus le ruissellement et la perte de sol sont importants.
- Une température élevée peut réduire l'érosion hydrique en augmentant l'évapotranspiration et en réduisant la teneur en eau du sol.
- Une forte humidité de l'air est associée à une teneur en eau du sol plus élevée.
- Des vents plus forts augmentent l'épuisement de l'eau du sol et réduisent l'érosion hydrique.

❖ **Couvert végétale :**

- La couverture végétale réduit l'érosion en interceptant, adsorbant et réduisant l'énergie érosive des gouttes de pluie.
- La morphologie de la plante comme la hauteur de la plante et la structure de la canopée l'efficacité de la couverture végétale. - La couverture de résidus de surface éponge les gouttes de pluie qui tombent et réduit le rebond des gouttes. Il augmente la rugosité du sol, ralentit la vitesse de ruissellement et filtre les particules de sol dans les eaux de ruissellement.
- Le détachement du sol augmente avec la diminution de la couverture végétale.
- La végétation dense et à croissance courte (par exemple, l'herbe) est plus efficace pour réduire l'érosion que la végétation clairsemée et haute.
- Plus le couvert végétal est dense et plus la couverture de litière est épaisse, plus le contrôle de l'érosion par éclaboussure est important et plus l'érosion totale du sol est faible.

❖ **Topographie :**

- L'érosion du sol augmente avec l'augmentation de la pente du champ.
- La topographie du sol détermine la vitesse à laquelle l'eau s'écoule du champ.
- La capacité de transport des eaux de ruissellement augmente avec l'augmentation de la pente.

- Les sols sur les champs convexes sont plus facilement érodés que dans les zones concaves en raison de l'interaction avec le fluage superficiel du sol par gravité.

-Le degré, la longueur et la taille de la pente déterminent le taux d'écoulement de surface.

-L'érosion des rigoles, des ravins et des canaux est typique des bassins versants en pente.

-Les pentes plus abruptes sont sujettes à l'érosion des coulées de boue et aux glissements de terrain.

❖ **Propriété du sol :**

La texture, la teneur en matière organique, la macroporosité et l'infiltration d'eau influencent l'érosion du sol.

-La teneur en eau antécédente est également un facteur important car elle définit l'espace poreux du sol disponible pour l'absorption de l'eau de pluie.

-L'agrégation des sols affecte le taux de détachement et de transportabilité.

-Les particules d'argile sont transportées plus facilement que les particules de sable, mais les particules d'argile forment des agrégats plus solides et plus stables.

-Les matériaux organiques stabilisent la structure du sol et coagulent les colloïdes du sol.

-Le compactage réduit la macroporosité du sol et l'infiltration de l'eau et augmente les taux de ruissellement.

-Les agrégats grands et instables sont plus détachables.

-Les processus interactifs parmi les propriétés du sol définissent l'érodabilité du sol.

□.5 .Types d'érosion

□.5.1. Erosion hydrique

Elle débute avec un splash, qui représente le détachement des particules du sol suite à la chute des gouttes de pluies. Cette étape est généralement accompagnée du transport des particules détachées par le ruissellement de l'eau. Ce ruissellement peut avoir plusieurs formes selon la nature du relief et l'intensité de la pluie, on les résume dans ce qui suit :

□.5.1.1 .Erosion en nappe (ou aréolaire) :

Pour les faibles reliefs, elle correspond au réaménagement des particules du sol ou leur déplacement sur de courtes distances.

□.5.1.2.Erosion en rigoles (ou griffée) :

L'érosion aréolaire s'observe généralement accompagner d'un ruissellement creusant de petits chenaux sous forme de rigoles.

□.5.1.3 .Erosion en ravines :

Une évolution de l'érosion en rigoles peut conduire à l'érosion en ravines. Les rigoles sont appelées ravines lorsqu'elles s'étendent au point de ne pouvoir être comblées par les opérations normales de travail du sol, ou lorsqu'elles deviennent nuisibles au travail du sol.

I.5.2. L'érosion mécanique sèche :

Ce phénomène d'érosion n'est pas dû au travail du sol qui arrache les particules, les facteurs influençant la quantité de terre déplacée sont :

- Le type d'outil ;
- La fréquence des passages ;
- La pente; plus la pente est forte, plus les mottes de terres détachées roulent bas. C'est ce qui explique que les sommets des collines sont souvent décapés.

I.5.3. Erosion éolienne :

Elle concerne les sols à faible teneur en matière organique comme les sols sableux ou sablo-limoneux et provoque le transport de ses particules préalablement détachées des agrégats.

□.6.L'envasement

Tous les effets décrits précédemment sont intimement liés et leur accumulation entraîne un fonctionnement artificiel du bassin versant, dont les conséquences doivent être analysées sur le long terme, ou à la suite d'événement naturels exceptionnels.

L'envasement des barrages est la conséquence la plus dramatique de l'érosion des bassins versants et du transport solide. Il est défini comme étant le dépôt de sédiments dans les retenues et les barrages, réduisant ainsi leurs capacités de stockage.

A l'amont, il provoque un blocage des sédiments transités sur le lit, y compris une partie du débit des fines maintenues en suspension. Le développement des algues génère à son tour, une surproduction de matériaux fins et cohésifs, qui ont tendance à former des courants de densité qui apportent les vases jusqu'au barrage. Le tassement de ces vases est relativement rapide et il peut être très difficile de les remettre en suspension après quelque jour. Les modifications du comportement rhéologique sont donc considérables derrière la digue.

A l'aval, le déficit en matériaux grossiers (débit en matériaux du lit) déclenche une érosion progressive dans le lit mineur, éventuellement accompagnée des phénomènes de pavage. La restitution d'une partie de débit des fines maintenue en suspension se concentre dans cette même ligne, puis les débits liquides relâchés sont laminés. Il en résulte une augmentation de temps de MES dans le lit mineur et des difficultés de gestion de ces matériaux fins par le débordement de l'eau qui entraîne des érosions, ou les échanges de quantité de mouvement sont fortement réduits. D'autre part, la modification du régime des écoulements agit directement sur la valeur du débit dominant et peut entraîner des fluctuations de la ligne d'eau, qui accélèrent le processus de végétalisation des bancs de dépôt et en augmente la stabilité.

□.7. Transport solide

Le transport solide joue un rôle important dans la dynamique fluviale, son expression recouvre une très large gamme de phénomènes physiques, il entraîne des particules solides sous forme granulaire sous l'action de l'écoulement fluide.

Le transport solide des particules de sol dépend de deux critères de base, à savoir le débit et la taille des particules. Par conséquent, les particules solides entraînées par le courant liquide sont essentiellement fonction de la taille des particules.

□.8. Modes de transport

Deux méthodes de transport de solides sont généralement envisagées, le transport de solides en charge et le transport de solides en suspension.

□.8.1. Transport solide par charriage

Le transport solide par charriage, représente la progression de sédiments grossiers (sables, gravier, galets et blocs) de diamètre supérieur à 1 mm, qui se déplacent par

glissement ou roulement au voisinage du fond du cours d'eau et parcourent des distances relativement petites et discontinues dans le temps et l'espace.

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). 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. 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.

□.8.2.Transport solide en suspension

Le transport de solides en suspension représente le transport de sédiments fins de l'ordre du micron (argile, limon, sable fin) sous l'action des fluctuations turbulentes de l'eau, maintenant un état suspendu sur toute la hauteur de la masse liquide du cours d'eau. Les sédiments se déplacent sur des grandes distances et le débit solide croît de l'amont vers l'aval. Dans la très grande partie des cas, la charge en suspension représente quantitativement un pourcentage très important du transport global.

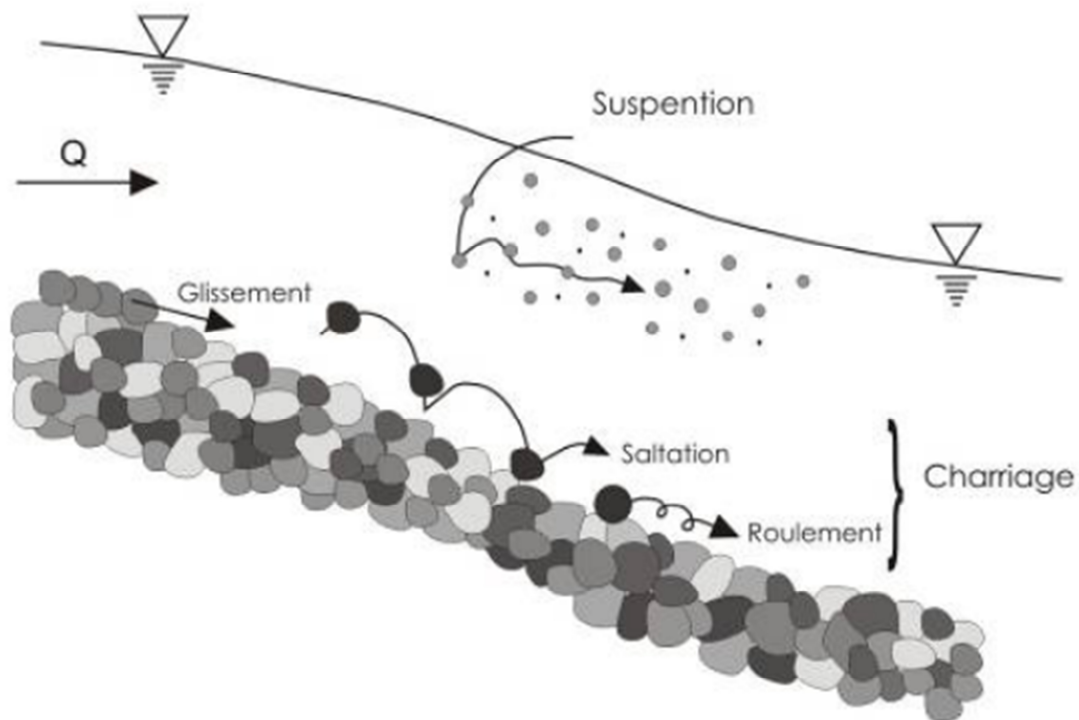


Figure I. 2: types de transport solide.[3]

□.9. Les facteurs de transport solide

□.9.1. Influence des caractéristiques des particules

Le mode de transport est également lié à la dimension et la taille des particules. Une partie particule, si elle est arrachée, peut rester en suspension et être transportée dans la masse de l'écoulement sur d'assez longues distances, dans la mesure où la fluctuation des vitesses verticales turbulentes (action motrice exercée par l'écoulement) générée des impulsions pouvant plus au moins compenser la vitesse de chute de grain (fonction de diamètre et de la densité de la particule). A partir d'une certaine taille de particule, et pour un écoulement donné, la mise en suspension est impossible, le cheminement des grains transportés sur le fond se fait alors par charriage, les particules roulant, glissant ou sautant les uns par-dessus (saltation).

Dans le cas des sédiments cohésifs, les critères de mise en mouvement et les processus de transport solide dépendent surtout de la nature minéralogique et organique des composantes du substrat, ainsi que de la composition physico-chimique de l'eau.

□.9.2. Influence des conditions hydrodynamiques

Lorsque les conditions hydrodynamiques deviennent suffisantes pour générer un transport, il se fera d'abord sous la forme du charriage. Certaines particules constituant le fond se mettent alors en mouvement : elles glissent, roulent, parfois s'arrêtent, se remettent à rouler font des petits sauts (saltation) avant de retoucher le fond.

Lorsqu'elles deviennent plus importantes, les particules sont transportées sur la totalité de la colonne d'eau. Elles parcourent alors de grandes distances sans contact avec le fond : on parle de suspension.

I.10. Appareillage pour la mesure des transports solide en suspension

I.10.1. La mesure du transport en suspension

Les matériaux fins sont facilement amènes en suspension par la turbulence de la rivière et ils circulent à une vitesse similaire à celle de l'eau. La concentration des matériaux fins dans l'eau dépend de la quantité des sédiments fournis par le bassin versant, cette quantité elle-même liée aux précipitations. Cette concentration ne dépend pas uniquement du débit ou de la capacité de transport du cours d'eau puisque la concentration en matériaux fins peut varier énormément avec temps pour des débits similaires (Megnounif et al. 2013). Cependant,

L'évaluation du transport solide en suspension est sujette à de nombreuses erreurs commises dans l'échantillonnage, dues à un nombre de mesures insuffisant pour déterminer ces fortes variations. Ainsi, le prélèvement d'échantillons doit se faire avec des appareils à action très rapide. Il existe plusieurs appareils de prélèvements d'échantillons actuellement utilisé, à

Savoir:

- ✓ Turbinions de NEYRPIC
- ✓ Turbinions de 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 [4].

I.10.2. La mesure du transport de fond [5]

a) Mesure directe

La mesure se fait dans une fosse artificielle. La procédure consiste à creuser un trou dans le lit du cours d'eau (Figure 1.10) 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.

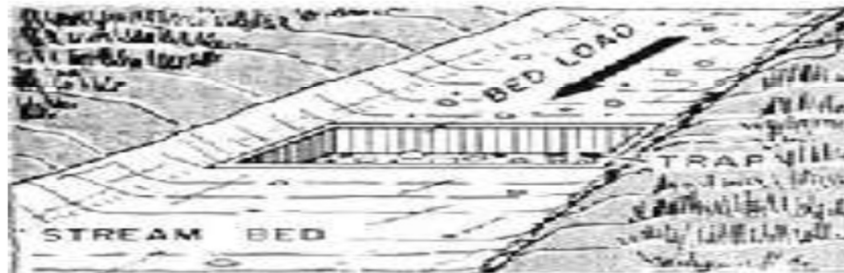


Figure I. 3: Fosse artificielle.

Méthode de la trappe transversale est utilisée aux Etats-Unis. Elle peut être fixe ou semi portative pour des petites rivières. L'installation fixe est menue d'un radier construit sur la largeur totale du lit, et à sa partie avale la rivière est divisée au moyen des pilettes en béton dont le fond est menu d'une trappe ouverte ou fermée. Le débit solide qui tombe dans la trappe est périodiquement pompé vers une trémie située sur la berge [5].

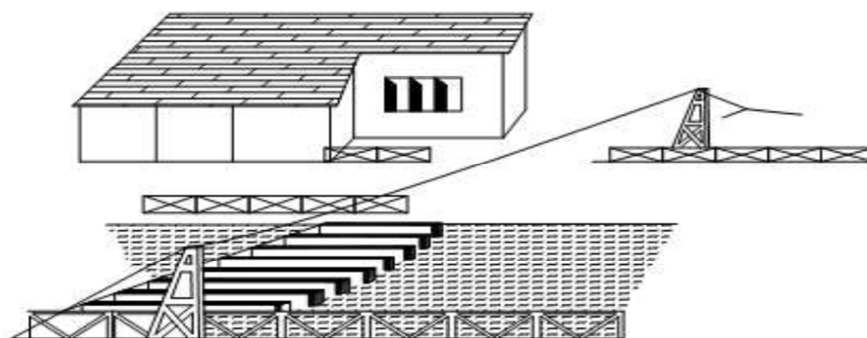


Figure I. 4 : Installation de mesure de charriage [5].

Échantillonneurs : le charriage peut être évalué à partir des échantillons attrapés dans un dispositif introduit dans le cours d'eau pour un temps donné puis retirés pour être pesé. Il existe divers instruments qui démontrent la difficulté de prendre un échantillon précis et

représentatif. Ces échantillonneurs ont l'inconvénient de déranger l'écoulement et changer les conditions hydrauliques à leur entrée et peuvent être bloqués dans le fond

Ceux-ci s'appellent les échantillonneurs à différence de pression, un exemple est illustré sur la figure 1.5

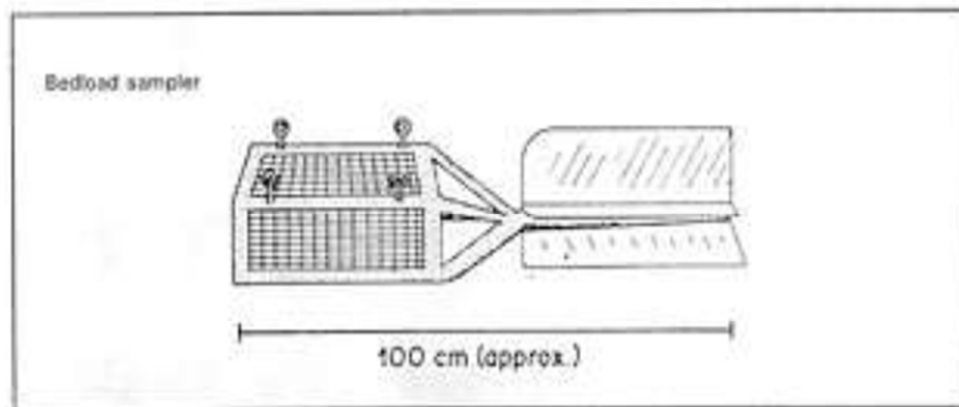


Figure I. 5 : Echantillonneur du transport solide par charriage [5].



Figure I. 6 : Echantillonneur du transport solide en charriage avec différence de pression à l'entrée [5].

b) Les mesures indirectes

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 hydroponique : 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 attaché à une tige reliée à un lecteur phonographique. Cet appareil est appelé aréna phone.

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 ultérieure des données.

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 [5].

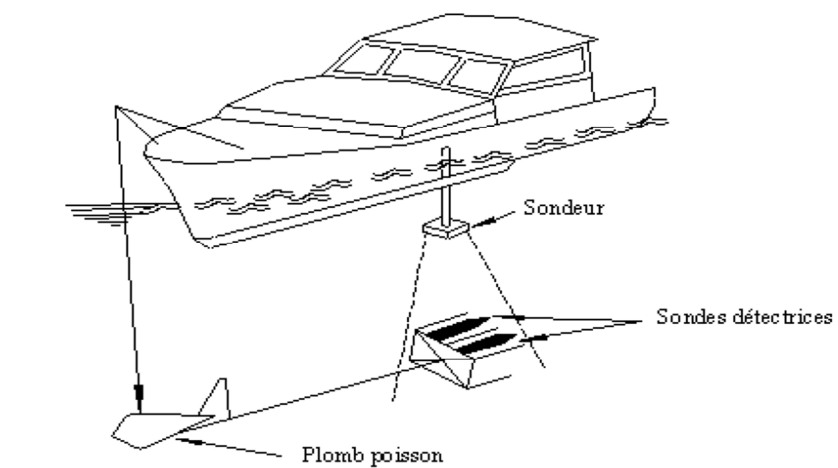


Figure I. 7: Traineau portatif des détecteurs [5].

□.11.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.

Le problème le plus important et inquiétant est l'envasement des cuvettes des barrages. [6]

❖ Dépôt selon des séquences à polarité normale

En un point donné du profil en long, si l'on effectue une coupe transversale au lit du cours du cours d'eau, on observe une séquence sédimentaire détritique (succession de dépôts alluvionnaires) à polarité normale, c'est-à-dire les plus gros diamètres retrouvent à la base de la séquence et les plus fins au sommet de la séquence conformément à la théorie de la sédimentation.

❖ Disposition des dépôts

Au cours d'un cycle hydrologique, un cours d'eau affouille son lit transport et dépose les éléments arrachés. La succession des phases : érosion, transport et dépôt, engendre en une section transversale de ce dernier des séquences sédimentaires emboîtées (entrecroisées) et/ou étagées : Ce sont les terrasses alluviales anciennes et actuelles que l'on observe dans les vallées de ces cours d'eau.

□.12. Ampleur de l'érosion et du transport sédimentaire en Algérie [7].

L'Algérie du nord est soumise à de fortes pressions en hommes et en bétail qui ont engendré une sévère dégradation des sols et de la couverture végétale. On estime à plus de 20 millions d'hectares des terres touchées par l'érosion particulièrement dans les zones montagneuses où sont implantés plus de 90% des barrages et où se concentrent environ 20 millions d'habitants.

Par conséquent, il est estimé selon que 40 000 ha de terres cultivables sont perdus chaque année. Et une quantité de 30 millions de mètre cube de vase se dépose chaque année dans les barrages Algériens.

L'étude du transport solide est nécessaire pour :

- Évaluer la perte de sols et son impact sur la valeur agricole de ces sols ;

- Suivre l'évolution morphologique des cours d'eau ;
- Prévenir l'alluvionnement prématuré des cuvettes de barrages ;
- Suivre et évaluer le transport des polluants absorbés par le sédiment fluvial ;
- Évaluer les effets du transport solide sur l'environnement.

□.13. Quelques travaux sur le transport solide en Algérie :

Le flux de sédiments en suspension dans une rivière est un paramètre important pour la gestion des projets hydrauliques et un indice de l'état de l'érosion des sols et de l'environnement écologique d'un bassin versant, le tableau suivant représente quelques études d'estimation des sédiments en suspension :

Tableau I. 1: Etudes d'estimations des sédiments en suspension en Algérie.

Auteurs	Années	Oued	Technique	Durée
Meddi	1999	Oued Ebda	Régression linéaire	16 ans
Benkhaled et Remini	2003	Oued Wahrane	Régression linéaire	18 ans
Bouanani	2004	Oued Sebdou, Mouilah, Isser et Sekkar	Régression linéaire	30 ans
Lefkir et all	2006	Oued Isser	Régression linéaire	3 ans
Khanchoul	2006	Oued Safsaf, Mellah, Ressoul	Régression linéaire	22 ans
Khanchoul	2009	Oued mellah	Régression linéaire	24 ans
Cherif et all	2009	Oued Mekkara	Régression linéaire	8 ans
Tachi	2017	Oued Isser, Sebaou	Réseaux de neurones artificiels	30 ans

□.14.Conclusion

En conclusion dans ce chapitre, on concentre sur la théorie de l'érosion, la théorie du transport la solidification et l'envasement sont des phénomènes liés et mutuellement de cause à effet. Beaucoup d'auteurs tentent de décrire et de quantifier le transport solide en se basant sur les principes de la dynamique des fluides, mais ils ont rencontré la complexité de ce phénomène. L'érosion des sols, à son tour, à un impact négatif, les barrages sont bloqués, il devient une menace directe pour les réserves d'eau mobilisées par le barrage.

CHAPITRE II
PRESENTATION DE LA REGION D'ETUDE

II.1. Introduction:

Avant de commencer notre travail de recherche, nous avons jugé l'étude du site comme étant un élément qu'on ne peut pas omettre, afin de se rendre compte des caractéristiques du lieu et les facteurs qui peuvent bien influencer sur notre projet.

En effet, le bassin versant oued sahel a été choisi comme bassin d'application suite à la disponibilité et à la diversité des données, qui permettent de donner une vision assez complète du bassin versant. Dans ce chapitre, nous présentons les caractéristiques principales du bassin, à savoir :

Les caractéristiques physiographiques (géométriques, de forme) les caractéristiques du réseau hydrographique ainsi que les caractéristiques du climat de la région.

II.2. Etude topographique :

II.2.1 Localisation :

Le bassin versant d'oued sahel, objet de cette étude est le plus important de Kabylie. Ces limites approximatives sont :

- Au Nord, la méditerranée.
- Au Sud, les monts du HODNA et les hauts plateaux SETIFIEN ;
- A l'ouest, les hauts plateaux de BOUIRA ;
- A l'Est, les monts de Djurdjura.

L'oued sahel se situe dans le bassin Soummam qui porte selon la codification de l'ANRH le N°15. Le Soummam est borné de plusieurs bassins versants (Fig. I.1). Limité au Nord, par le bassin de l'Oued Sebaou (code 02b) et par celui du côtier Algérois (code 02a), au Nord-est par le bassin versant de l'Oued Kébir Rhumel (code 10) et par le bassin versant du côtier Constantinois (code 03), à l'Est par les basses hauts plateaux Constantinois (code 07) ; au Sud par le bassin de Chott El Hodna (code 05), et à l'Ouest par le bassin de l'Oued Isser (code09)(FigureII-1)[8].

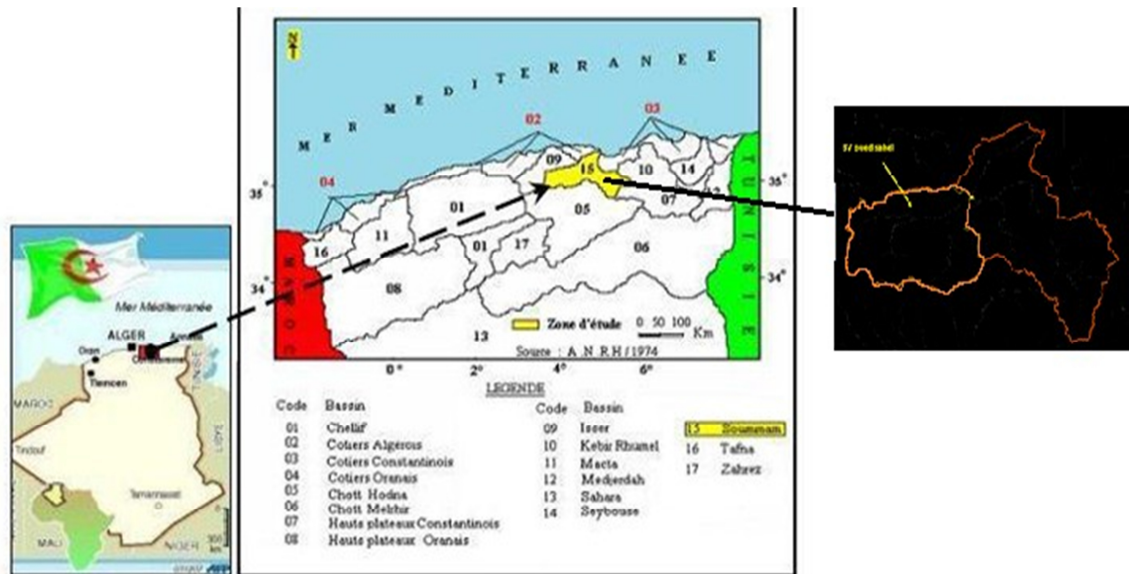


Figure II. 1: La situation de la zone d'étude par rapport aux bassins hydrographiques de l'Algérie.

Le bassin versant de l'Oued sahel est dans ses grandes lignes constitué, sur la rive gauche, par de l'oligocène traversé par des formations du crétacé inférieur ; du miocène inférieur apparaît dans la partie aval, en bordure de l'Oued de terrasses alluviales importantes tapissent en généra le pied des pentes sauf dans la région de Sidi-Aich où le crétacé apparaît jusque dans le lit. Le versant rive droite est en majeure parti formé de crétacé inférieur moyen et supérieur ; les terrasses alluviales sont beaucoup plus restreintes. Les terrains rencontrés sont généralement imperméables : argilo grès de l'oligocène, schistes de l'alboaptien, marno calcaires du crétacé.

II.2. 2. Choix de l'axe de l'oued :

L'axe de l'oued qui représente l'exutoire du bassin versant de l'oued limitant la superficie drainée est localisé aux coordonnées Lambert : (projection UTM) zone 31

$$X=636418.8 \text{ mE}$$

$$Y=4031615.6 \text{ mE}$$

$$Z=181\text{m}$$

II.3. Etude géologique :

Il y a une complexité géologique des terrains formant le bassin versant d'oued sahel, on distingue:

- **Le Quaternaire** : représenté par des alluvions le long des Oueds et au niveau des hautes plaines.

- **Le Pliocène Continental** : le coteau du Sahel est couronné par des graviers siliceux et fluviaux. Ailleurs, il est conglomératique sinon caillouteux.

- **Le Miocène** : il s'agit essentiellement du Miocène inférieur. Il est continu depuis l'ouest de Bejaia jusqu'aux environs de Sidi Aich. Il affleure également du côté de Djebel Mansourah sous forme de grés.

- **L'Oligocène** : il est généralement argilo-gréseux. Il affleure en abondance à partir de Tazmalt et de part et d'autre de la vallée de la Soummam, en allant vers l'ouest. On note également sa présence au niveau de la chaîne de Gouraya et de la région de Béni-Mansour.

- **L'Eocène** : il est quasiment marneux, parfois calcaro-marneux. Il affleure surtout au niveau des hautes plaines.

- **Le Crétacé** : se présente, en général, sous forme de flysch. Il est étendu, continu depuis la chaîne des Bibans jusqu'aux montagnes de la petite Kabylie. Le faciès est marneux au Crétacé supérieur (Sénonien). Il est schisteux, sous forme de bancs de plusieurs centaines de mètres d'épaisseur avec quelques intercalations de grés au crétacé moyen (Albien) et apparaît dans la région de Béni-Mansour et la chaîne des Bibans. Il est gréseux pélitique, parfois carbonaté-gréseux au crétacé inférieur.

- **Le Jurassique** : il affleure surtout au niveau de la chaîne calcaire et le long de sa continuité vers l'est. Il est principalement calcaire-dolomitique.

- **Le Trias** : il est de faciès gypso-salin et apparaît le long de contacts anormaux (contact des nappes de charriage) dans le Tell méridional et est représenté par des conglomérats et des grés rougeâtres dans le Tell septentrional [9].

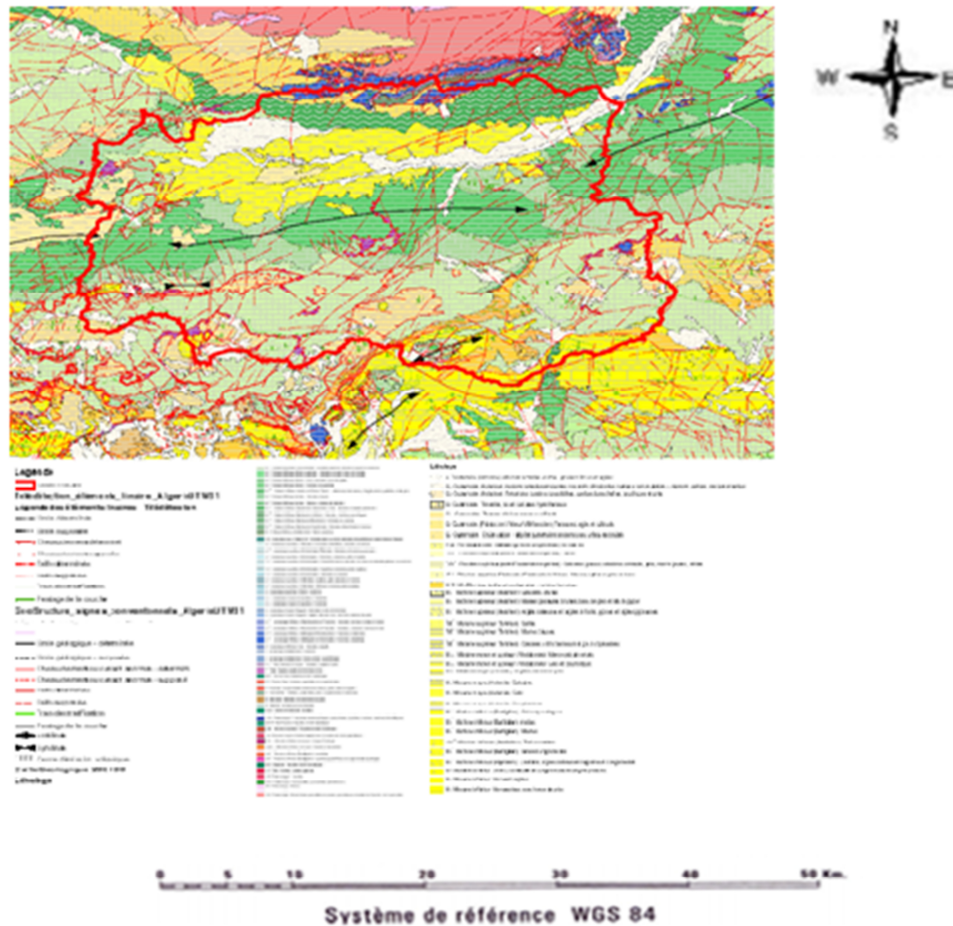


Figure II.2: Carte géologique du bassin versant d'oued sahel.

II.4. Condition du sol:

Le sol agit de différentes manières sur le régime d'une rivière. Sa nature et surtout sa couleur interviennent dans le bilan thermique. Par son influence sur le développement et la nature de la végétation, il agit indirectement sur l'évapotranspiration. Ce sont surtout les propriétés mécaniques du sol qui intéressent les hydrologues. Dans notre zone d'étude la majorité des sols sont des sols calcaires qui ont généralement une texture légère et sont donc perméables. Au nord du bassin, on rencontre des sols insaturés qui ne contiennent pas de calcaire dont l'argile peut être plus abondante en surface qu'en profondeur. Leurs roches mères sont généralement imperméables ou donnent des produits de décomposition imperméables. Le long des oueds, les sols existants sont des dépôts alluviaux appelés sols alluviaux. En outre on rencontre, en petites quantités des sols calciques et des sols en équilibre peu épais, plus ou moins riches en calcaire et très pauvres en sels solubles.

Le traitement des cartes suivantes a été effectué via le Logiciel ARC GIS (10.4) :

- Carte de délimitation de bassin versant.
- Carte du plan altimétrique du bassin versant.
- Carte du réseau hydrographique du bassin versant.

II.5. Caractéristique générale du bassin versant :

Le bassin versant est caractérisé par un contour quelconque, il est déterminé sur la carte topographique à l'échelle 1/50.000, en suivant le linge conventionnel de partage des eaux.

La (figure II-3) présente la délimitation du bassin versant .Il se caractérise par un relief relativement accidenté dans sa partie Sud avec un dense réseau hydrographie .les pentes du versant et du thalweg principal sont assez importantes. Le bassin versant génère une superficie de 3693.94km² pour un cours d'eau de 133.512 km.



Figure II.3: Bassin versant d'oued sahel.

II.4.1 Caractéristiques physico-géographiques du bassin versant :

A) Caractéristiques géométriques :

La superficie le périmètre et la longueur de thalweg du bassin versant ont été déterminés après avoir numérisé les deux cartes d'état majeur à l'échelle 1/50.000 à l'aide du logiciel Arc Gis en délimitant le contour du bassin versant (figure II.3)

- ✓ La superficie : $S=3693.94 \text{ Km}^2$.
- ✓ Périmètre : $p=347.193 \text{ Km}$.
- ✓ Longueur du Thalweg $L=133.512 \text{ km}$.

B) Caractéristiques hydro morphologiques : [10]

➤ Paramétré de forme :

a) Indice de compacité de graveleuse « k_c »

La forme du bassin joue un rôle important sur la forme de l'hydrogramme résultant d'une averse donnée à l'exutoire du bassin il est égale au rapport du périmètre du bassin versant considéré à celui d'un cercle qui aurait la même surface.

Plus ce coefficient s'approche de 1, plus la forme de bassin versant sera ramassée et plus le temps de concentration des eaux seront court. Elle sera allongée dans le cas contraire.

$$K_c = \frac{P}{2\pi\sqrt{\frac{S}{\pi}}} = \frac{P}{2\sqrt{\pi S}} = 0,28 \frac{P}{\sqrt{S}}$$

P : périmètre du bassin versant (Km)

S : surface du bassin versant (Km^2)

K_c : indice de Gravellius, avec $K_c=1,59$

Si $K_c = 1 \Rightarrow$ bassin ramassé

Si $K_c > 1 \Rightarrow$ bassin allongé

Selon la valeur de K_c on pourra dire que notre bassin est de forme allongé.

b) Rectangle équivalent :

La notion de rectangle équivalent a été introduite dans l'étude géomorphologique des bassins et elle permet la comparaison des bassins entre eux de point de vue de l'influence de la

forme sur l'écoulement, en possédant la même superficie et le même périmètre que le bassin considéré et par conséquent le même indice de compacité.

Les dimensions sont tirées comme suit :

- **Longueur du rectangle :**

$$L_r = \frac{K_c \sqrt{S}}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_c} \right)^2} \right] = 147.52 \text{ km}$$

- **Largeur du rectangle :**

$$L_r = \frac{K_c \sqrt{S}}{1.12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_c} \right)^2} \right] = 25.03 \text{ km}$$

- **Coefficient d'allongement**

C_a coefficient est obtenu par la relation :

$$C_a = \frac{L^2}{S} = 4.825$$

Avec : L : la longueur du talweg principal $L=133.512 \text{ km}$

S : la superficie du bassin versant $S= 3693.94 \text{ km}^2$

C) Caractéristiques hydrographiques :

➤ Paramétré du relief :

Une pente plus forte provoque un écoulement rapide, donc un temps de concentration plus court et une montée plus rapide des crues.

Notre but recherché est la détermination de la classe de relief. On réalise le réseau hydrographique qui représente dans la (figure II.4) à l'aide de logiciel Arc gis.



Figure II.4: Réseau hydrographique du bassin versant avec classification du cours d'eau principale.

On a obtenu la somme des longueurs de tous les cours d'eau $L = 1903.57$ km

➤ **Courbe hypsométrique :**

Pour estimer ces paramétré on doit présenter la répartition hypsométrique après planimétrage des aires partielles compisses entre les courbes de niveau maitresses et les différentes cotes (tableau II-1)

Tableau II. 1: les surfaces par tranche d'altitude.

Altitudes			Surface Partielles	
MIN	MAX	Moyenne	Surface	%
2180	2286	2233.0	0.27	0,01
2074	2179	2126.5	1.15	0,03
1968	2073	2020.5	2.70	0.07
1862	1967	1914.5	3.61	0.10
1756	1861	1808.5	8.83	0.24
1650	1755	1702.5	18.00	0.49
1544	1649	1596.5	23.77	0.64
1438	1543	1490.5	33.17	0.90
1332	1437	1384.5	48.86	1.32
1226	1331	1278.5	71.85	1.94
1119	1225	1172.0	138.62	3.75
1013	1118	1065.5	267.80	7.25
907	1012	959.5	431.3	11.67
801	906	853.5	500.64	13.55
695	800	747.5	595.66	16.13
589	694	641.5	604.76	16.37
483	588	535.5	484.74	13.12
377	482	429.5	251.14	6.80
271	376	323.5	148.67	4.02
164	270	217.0	58.55	1.58
		TOTAL	3694.00	

La courbe hypsométrique est présentée dans la figure II-5, en abscisses les surfaces cumulées en % et en ordonnées les altitudes en NGA

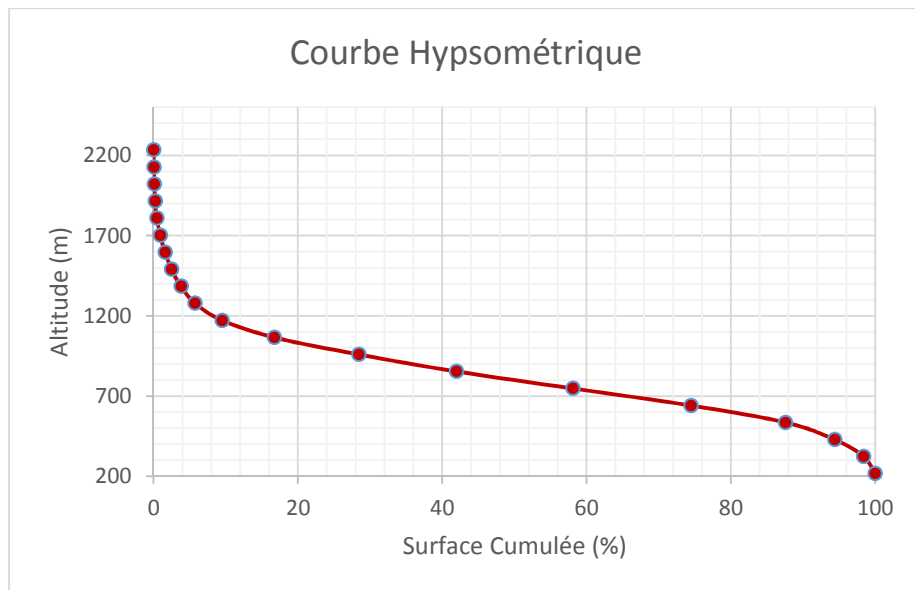


Figure II.5: Courbe Hypsométrique du bassin versant.

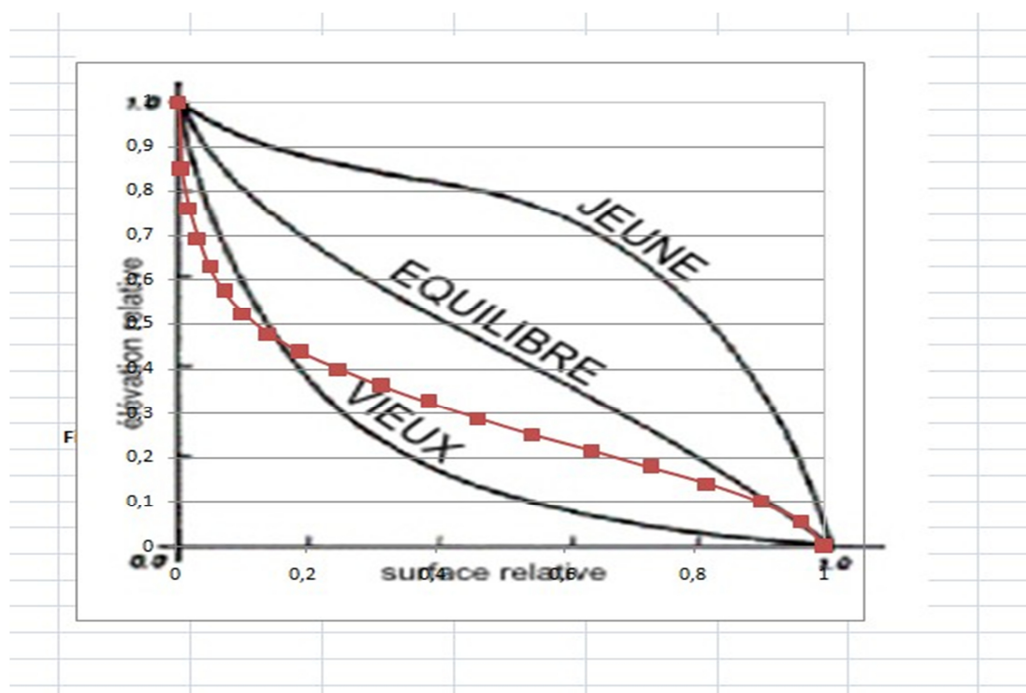


Figure II 6: Courbes hypsométriques d'après Strahler.

Interprétation de la courbe hypsométrique :

D'après la courbe hypsométrique du bassin versant j'ai obtenu que c'est un vieux bassin (plaine douce pré d'un cours d'eau ou l'altitude varie très peu malgré une superficie importante).

➤ **Altitude moyenne du bassin versant**

- Altitude médiane

$$H_{50\%} = 800.72\text{m}$$

- Altitude moyenne

$$H_{\text{moy}} = \sum S_i * H_i / S = 773.99\text{m}$$

Avec :

S_i : surface partielle entre deux courbes de niveau (km^2)

H_i : altitude moyenne entre deux courbes de niveau consécutives ($i-1$) et i en (m)

S : superficie du bassin versant (km^2)

Tableau II. 2: altitude moyenne du bassin versant.

Surface Cumulées		
Surface	%	$h_i \times S_i$
0.27	0.01	602.24
1.42	0.04	2436.60
4.11	0.11	5447.68
7.72	0.21	6913.42
16.56	0.45	15976.14
34.56	0.94	30643.13
58.32	1.58	37942.39
91.49	2.48	49444.67
140.35	3.80	67640.34
212.20	5.74	91857.46
350.82	9.50	162463.36
618.62	16.75	285343.57
1049.75	28.42	413667.51
1550.39	41.97	427298.29
2146.05	58.10	445255.47
2750.81	74.47	387950.35
3235.55	87.59	259578.13
3486.68	94.39	107862.55
3635.35	98.41	48094.16
3693.90	100,00	12704.68
	totale	2859122.12

➤ **Indice de pente**

• **Indice de pente globale I_g**

A partir de la courbe hypsométrique, nous déduisant les fréquence 5% et 95% de la surface du bassin versant.

$$I_g = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L} = 6.78 \text{ m/km}$$

Avec :

L : longueur du rectangle équivalent (km)

$H_{5\%}$: 1319.07 m

$H_{95\%}$: 413.37 m

➤ **Indice de pente moyenne I_{pm} :**

L'indice de pente moyenne est le rapport entre la dénivelée et la longueur de rectangle équivalent.

$$I_{pm} = \frac{H_{max} - H_{min}}{L} = 15.89 \text{ m/km}$$

• Dénivelée spécifique :

Elle est donnée par la formule suivante :

$$D_s = I_g \sqrt{S} = 412.07 \text{ m}$$

Tableau II. 3 : classification des reliefs.

	Relief	D s (m)
1	Très faible	<10
2	Faible	10<Ds<25
3	Assez faible	25<Ds<50
4	Modéré	50<Ds<100
5	Assez fort	100<DS<250
6	Fort	250<DS<500
7	Très fort	DS>500

J'ai déduit d'après le tableau précédent que notre relief est fort.

➤ **La densité de drainage :**

Elle est définie pour un bassin versant donnée de surface « s », comme la longueur totale des cours d'eaux de tous les ordres sur la surface drainée, et est exprimée en km/km².

$$D_d = \frac{\sum_1^n L}{S} = 0.87 \text{ km/km}^2$$

$\sum_1^n L$: Somme des longueurs de tous les cours d'eau d'ordre i (=1903.57km)

S : surface du bassin versant (km²).

➤ **Temps de concentration :**

On appelle temps de concentration TC d'un bassin versant, la durée nécessaire pour que la pluie tombée sur le point le plus éloigné hydrologiquement de l'exutoire atteigne celui-ci.

Le temps de concentration est une caractéristique principale de toutes les formules permettant le passage des pluies aux débits de crue.

Plusieurs formules de détermination du temps de concentration ont été mises au point, les plus courantes sont :

a) Formule de Giandotti :

$$T_C = \frac{4\sqrt{S+1,5L}}{0,8\sqrt{H_{moy}-H_{min}}} = 22,44 \text{ Heures}$$

Avec :

TC : temps de concentration (heures) ;

S : surface du bassin versant (km²) ;

L : longueur du talweg principal (km) ;

H_{moy} : l'altitude moyenne du bassin versant (m) ;

H_{min} : l'altitude minimale du bassin versant (m).

b) Formule de l'ANRH

$$T_c = \left[\frac{S \cdot L}{(10I)^2} \right]^{0.25} = 11.17 \text{ heures}$$

Avec :

T_c : temps de concentration (heures)

S : surface du bassin versant (km²)

L : longueur du talweg principale (km)

I : pente moyenne du talweg principal

Tableau II. 4: récapitulatif du temps de concentration.

Formule ou méthode	Valeur(h)
Giandotti	22.44
ANRH	11.17

Etant donné que la valeur moyenne des méthodes est 16.80 heures, ainsi que le fait qu'il ne soit pas nécessaire dans la pratique d'estimer le temps de concentration d'un bassin versant avec une très grande précision, nous retiendrons pour la suite de nos calculs la valeur obtenue par la formule de Giandotti qui est proche de la valeur moyenne :

$T_c = 16.80$ heures.

Après traitement cartographique, on a déterminé les caractéristiques morphologiques du bassin versant comme le montre (le tableau II -5)

Tableau II-5 : Caractéristiques principales du bassin versant

DESIGNATION	SYMBOLE	UNITE	VALEURS	
Superficie	S	km ²	3693.94	
Périmètre	P	km	347.193	
Longueur du thalweg	L	km	133.512	
Altitude	Moy	Hmoy	m	773.99
	Max	Hmax	m	2286
	Min	Hmin	m	164
Indice de compacité	Kc	-	1.59	
Rectangle équivalent	L	km	147.52	
	B	km	25.03	
Pente moyenne	I	m/km	15.89	
Indice de pente globale	IG	m/km	6.78	
Densité de drainage	Dg	(km/km ²)	0.87	
Temps de concentration	TC	(heure)	16.80	

II.6.2. Caractéristique climatique :

II.6.2.1. Condition climatique :

Les conditions climatiques qui prévalent dans la région d'étude seront décrites par les mesures et observations disponibles dans les stations et sites de mesures les plus proches.

Une région de montagne ne subira pas le même climat qu'une plaine. Une vallée située sur le versant d'une montagne n'a pas le même climat qu'une autre vallée sur le versant opposé, même si les deux sont à la même altitude. [11]

Le climat du bassin versant d'oued sahel, montre une série de transition entre climat humide, dans les montagnes proches de la méditerranée, et climat semi-aride des hautes-plaines (environ Sétif). Mais partout les averses sont fréquentes et règne aussi en été une sécheresse prolongée. Les argiles se dessèchent, se fendillent, ce qui favorisant certaines phénomènes (ruissellement, mouvement de masse et surtout nuit à la végétation). [12]

A. Températures

La température est variable d'un mois à un autre, mais l'ensemble présente toujours un maximum et un minimum.

De manière générale le climat de la région est caractérisé par un été chaud et un hiver froid.

Les valeurs moyennes de la température en (°c) sont données dans (le tableau II-6)

Tableau II. 5: Températures mensuelles moyennes sur la période 2006-2015 (Station Bouira).

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fev	mar	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout	Année
Temp moy ^e	30.2	25.3	18.1	14.2	13.5	13.6	17.1	21.3	25.8	31.2	36.3	35.9	23.5

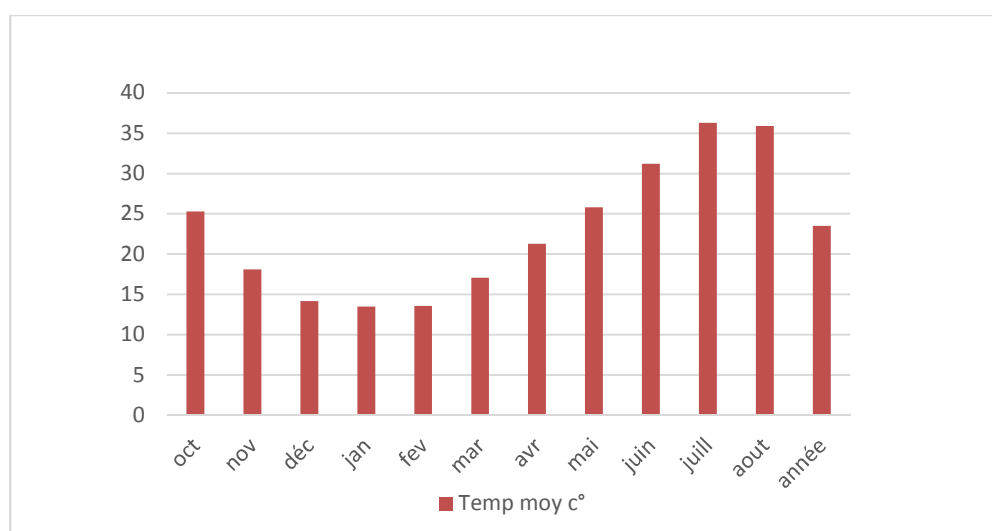


Figure II 7: Températures mensuelles moyennes sur la période 2006-2015(StationBOUIRA).

D'après l'histogramme représenté sur la figure précédente le climat de cette région est caractérisé par un été chaud et un hiver froid.

La température varie entre 13.5 °C en janvier et 36.3 °C en juillet, avec une moyenne qui atteint 23.5°C. La saison chaude s'étend de Mai à Octobre, et la période froide s'étend entre Novembre et Avril, mois pendant lesquels la température est inférieure à la moyenne.

B. Vent :

Les moyennes mensuelles des vitesses des vents de la station de BOUIRA, sont récapitulées ci-dessous (pour période 2006-2015) :

Tableau II. 6: Moyennes mensuelles de la vitesse des vents sur la période 2006-2015 (station de BOUIRA).

Mois	Sep	oct	nov	dec	Jan	fev	mars	Avr	mai	juin	Juil	aout	Année
Vitesse vent (m/s)	12.7	10.9	10.3	9.5	10.3	11.6	12.4	12	12.6	13.1	13	13	11,78

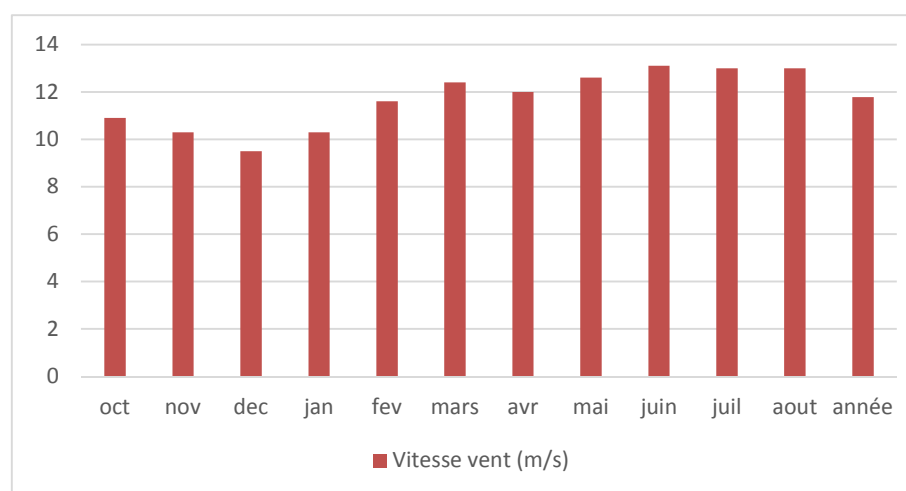


Figure II 8: Moyennes mensuelles de la vitesse des vents sur la période 2006-2015 (Station de BOUIRA).

On a construit l'histogramme de la répartition mensuelle de la vitesse des vents (figureII-8), Qui représente les moyennes mensuelles de la vitesse des vents sur la période2006-2015 La vitesse des vents varie entre 11.6m/s et 13.1m/s en septembre, mai, juin, juillet Et aout, et avec une moyenne qui atteint 10m/s pendant les mois octobre jusqu'àdécembre.

C. Humidité de l'air :

L'humidité relative moyenne dans la région d'oued sahel est de 68.6%. Les moyennes mensuelles humidités de l'air de la station de BOUIRA, sont récapitulées ci-dessous (pour période (2006-2015)).

Tableau II. 7 : Moyennes mensuelles de la vitesse des vents sur la période 2006-2015(station de BOUIRA).

Mois	Sep	oct	nov	dec	Jan	Fev	Mars	Avr	mai	Juin	Juil	aout	Année
Humidité De l'air(%)	64.2	68.4	76.5	81.2	81.4	80.4	75.9	71	66.1	57.2	48.5	52.4	68.6

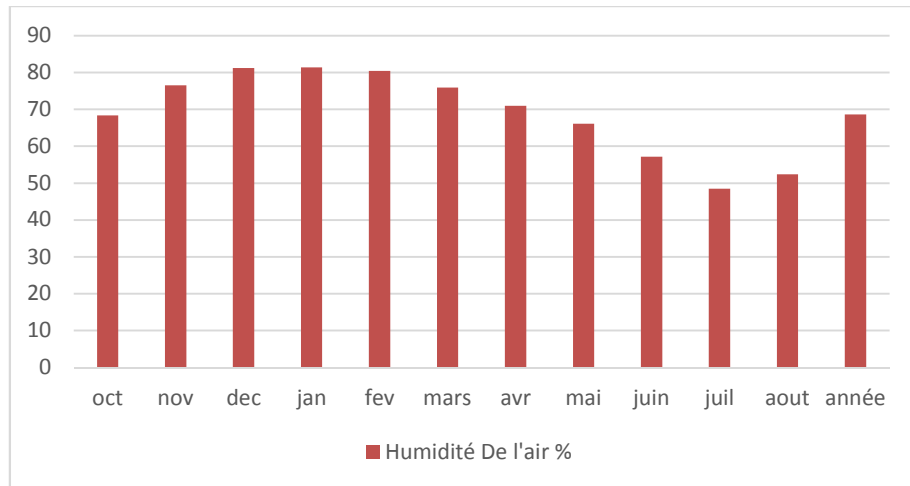


Figure II 9: Moyennes mensuelles d'humidités de l'air sur la période 2006-2015
(Station de BOUIRA).

On a construit l'histogramme de la répartition mensuelle de L'humidité de l'air (figure II-9) qui représente les moyennes mensuelles de L'humidité de l'air sur la période 2006-2015. L'humidité de l'air varie entre 66.1% et 52.4% dans les mois septembre, mai, juin, juillet et aout, et une valeur moyenne qui atteint 76.4% pendant les mois octobre jusqu'à décembre.

I.7. Conclusion

En conclusion de ce chapitre, on peut dire que le comportement hydrologique du bassin versant de l'oued sahel est lié à plusieurs facteurs physiques, géomorphologique et hydrauliques. Les principaux paramètres du milieu physique analysés dans ce chapitre font du bassin une géo structure plus ou moins complexe rendant très sensible au processus d'érosion et du transport solide. Cette complexité s'explique en grande partie par la grande variété des faciès géologiques, des formes topographiques, des systèmes de pentes, du faible couvert végétal, et des nuances climatiques.

D'après la présentation de la région d'étude et l'analyse des résultats obtenus, on constate que :

- surface du bassin versant est de 3693.94 km^2 ;
- le périmètre du bassin versant est de 347.193 km ;
- longueur du talweg principale est de 133.512 km ;
- pente moyenne du talweg principal 15.89 m/km ;
- densité de drainage 0.87 km/km^2 ;
- le temps de concentration est de $16,30 \text{ h}$.

CHAPITRE III
ETUDE HYDROLOGIQUE

III.1 Introduction :

L'étude hydrologique a pour objectif d'étudier statistiquement les précipitations maximales journalières et les précipitations total annuel afin d'estimer les écoulements liquide et solide.

□-2 Etude de précipitation :

□-2-1 Les stations étudiées :

Les données pluviométriques disponibles dans la région d'Oued sahel sont fournies par l'Agence Nationale des Ressources Hydraulique ANRH.

Les stations pluviométriques 150208, 150301, 150204 qui sont localisées dans notre bassin versant sont représentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau III. 1: Caractéristiques des stations pluviométriques.

Station	Altitude (NGA)	X (m)	Y (m)	Nombre d'année d'observation	P _{moy} (mm)
BOUIRA 150208	520	616	337.25	44	439,69
MCHEDALLAH 150301	450	640.9	341.7	54	352,6
EL ESNAM SH 150204	435	620.4	335.5	88	362,42

□-2-2 La qualité des séries pluviométriques:

Les erreurs dans les mesures des séries pluviométriques changent les caractéristiques et les conditions des phénomènes, si ces conditions changent ça veut dire que les données de mesures ne sont pas de la même population et que la série de mesures n'est pas homogène.

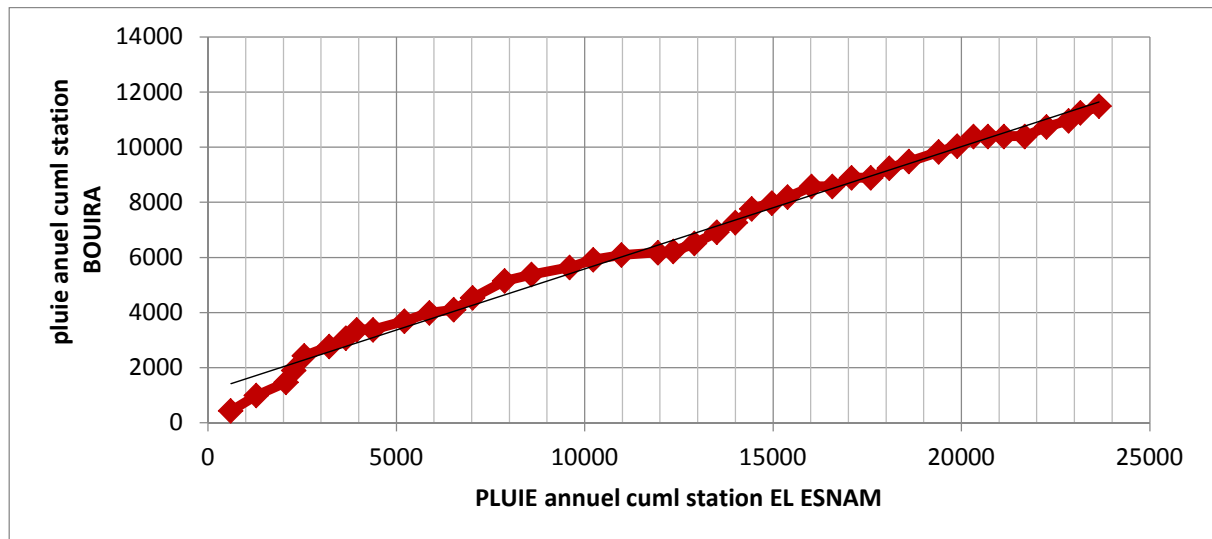


Figure III. 1: Critique des données par la méthode des doubles cumuls
(Station BOUIRA)

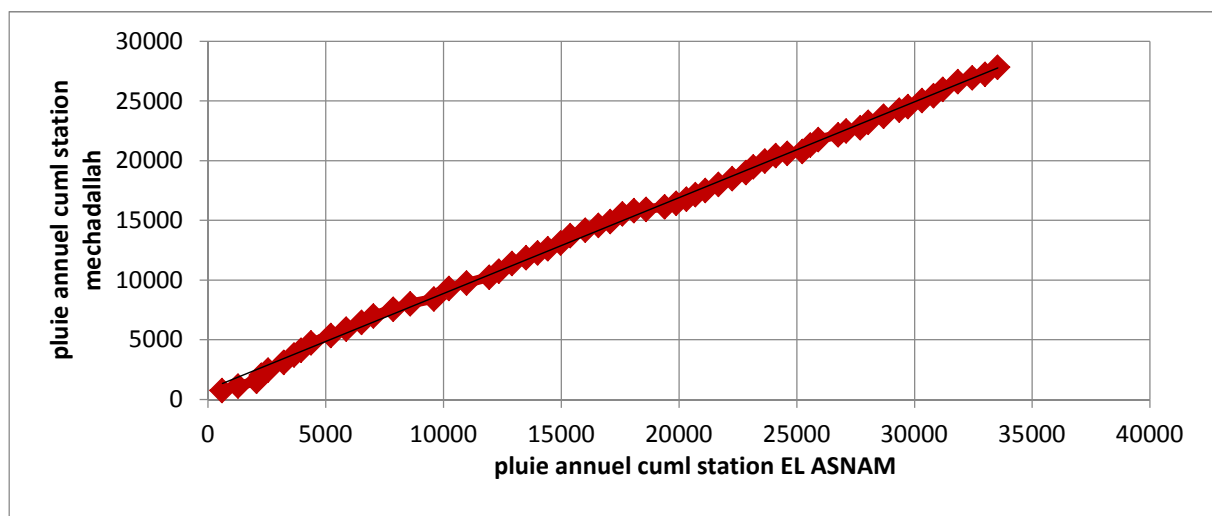


Figure III. 2 : Critique des données par la méthode des doubles cumuls
(Station MECHADALLAH).

Donc les séries pluviométriques pour ces stations ne présentent, si on peut dire, il y a une seule station qui est homogène parmi les autres stations, c'est la station de MECHADALLAH (Voir figures III-1-III-2).

III.2.3. Pluies moyennes mensuelles :

La répartition mensuelle de la pluie moyenne annuelle proposée pour le bassin versant d'oued sahel est inspirée de la répartition mensuelle de la pluviométrie moyenne de la station EL ESNAM (Tableau III-2).

Tableau III. 2:Pluies moyennes annuelles du bassin versant d'oued sahel.

Mois	sep	Oct	nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	juill	Aout	Annuel
P (mm)	41.4	42.3	60.1	57.1	64.0	84.22	84.6	56.9	41.8	13.8	2.8	10.2	32.53

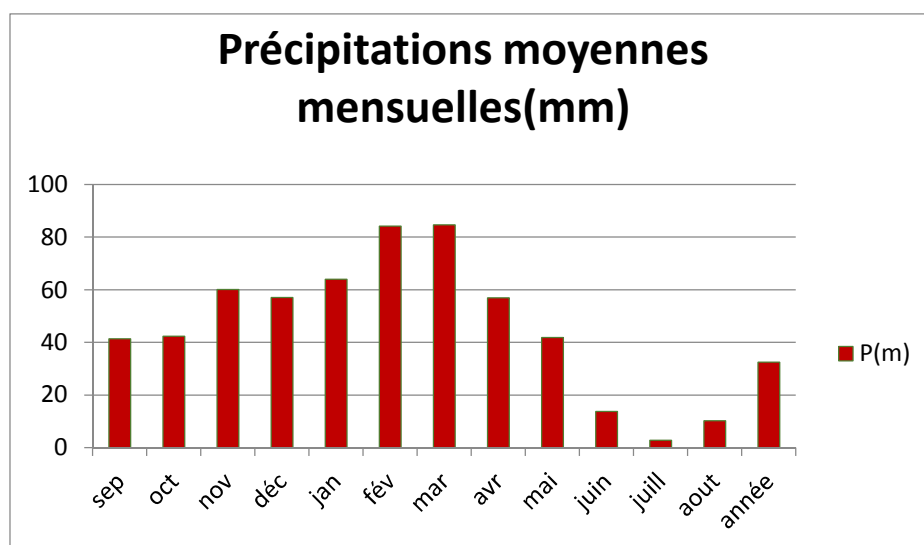


Figure III. 3:Pluies moyennes mensuelles considérées pour le bassin versant d'OUED SAHEL.

La période humide dure du mois d'octobre au mois de mai, alors que la période sèche s'étale du mois de juin au mois de septembre. Le mois décembre est en général le plus arrosé, alors que les mois de juillet et août sont les plus secs.

III.2.4.Pluies journalières maximales :

Le traitement des pluies journalières, suppose que la durée et l'origine des pluies sont fixes, par contre qu'elles soient continuées ou non, n'a pas d'intérêt, car un arrêt bref de l'intérieur d'une averse n'a pas d'effet sur l'hydrogramme. Dans les calculs de dimensionnement des ouvrages hydrotechniques, il n'est pas recherché une Protection

absolue qui induirait un surdimensionnement des ouvrages, mais une protection contre une averse type de probabilité déterminée et de durée égal au temps de concentration.

Selon la série des pluies journalières maximales relevées à la station de EL ESNAM la moyenne est $PJ_{\max} = 194.2 \text{ mm}$,

III.2.4.1. Ajustement des pluies maximales journalières :

On a effectué l'ajustement de la série des pluies journalières (Pj_{\max}) à la loi de Gumbel et Galton en utilisant le logiciel Hyfran, avec une comparaison des deux graphiques de régression obtenues par les deux ajustements.

Les caractéristiques de la série des Pj_{\max} sont présentées sur le Tableau III-3.

Tableau III. 3: Caractéristiques de la série des Pj_{\max} .

Statistique de base	Nombre d'observation
Minimum	0.00
Maximum	194
Moyenne	83.4
Ecart-type	38.8
Médiane	82.2
Coefficient de variation c_v	0.465
Coefficient de d'asymétrie c_s	0.130
Coefficient d'aplatissement c_k	3.21

III.2.4.2 Ajustement à la loi de Gumbel :

L'ajustement de la série des Pjmax à la loi de Gumbel d'expression :

$$F(x) = e^{-e^{-u}}$$

Avec :

$$u = \frac{x - X_0}{s}$$

$$s = 0,78\sigma_x \text{ (gradex)}$$

$$\sigma_x = \left(\frac{\sum(X - X_m)}{n-1} \right)^{0.5}$$

Où :

X : représente la variable pluviométrique

Xm: la pluie journalière maximale moyenne (Pjmax)

Paramètres du logiciel :

T: Période de retour.

Q: Fréquence.

Xt: Pluie journalière maximale correspondante à la période de retour donnée.

Résultat de l'ajustement

Gumbel (Maximum de vraisemblance)

Nombre d'observation: 88

Paramètres: U = 63.61116

Alpha = 39.89

Quantiles : Q = F(x) probabilité au non dépassement

T=1/ (1-q)

Tableau III. 4: Résultat d'ajustement par la loi de Gumbel.

T (ans)	Q	XT (mm)	Ecart -type	Intervalle de confiance (95%)	
10000	0,9999	431	31.2	370	492
1000	0,9990	339	23.9	292	386
100	0,9900	247	16.6	215	280
50	0,9800	219	14.5	191	248
20	0,9500	182	11.6	159	205
10	0,9000	153	9.50	135	172
5	0,8000	123	7.39	109	138
2	0,5000	78.2	4.80	88.1	111

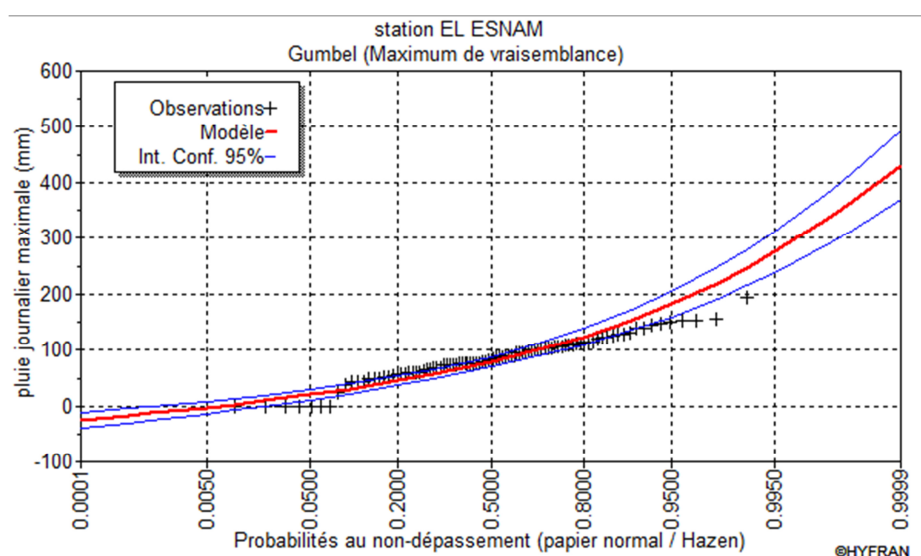


Figure III. 4: Ajustement à la loi de Gumbel (Maximum de vraisemblance).

Test d'adéquation (test de Khi 2)

- Hypothèses

H_0 : l'échantillon provient d'une loi Gumbel

H_1 : l'échantillon ne provient pas d'une loi Gumbel

- **Résultat**

Résultat de la statistique: $X^2 = 22.85$

p- value: 0.0065

Degrés de liberté: 9

Nombre de classes: 12

Remarque

Nous pouvons accepter H_0 au niveau de signification de 1%

III.2.4.3 Ajustement à la loi Normal :

Tableau III. 5 : Résultat d'ajustement par la loi normal.

T (ans)	q	XT (mm)	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)	
10000	0,9999	228	11.3	206	250
1000	0,9990	203	9.61	184	222
100	0,9900	174	7.69	159	189
50	0,9800	163	7.05	149	177
20	0,9500	147	7,05	135	159
10	0,9000	133	55.39	123	144
5	0,8000	116	4.64	107	125
2	0,5000	83.4	3.98	75.6	91.2

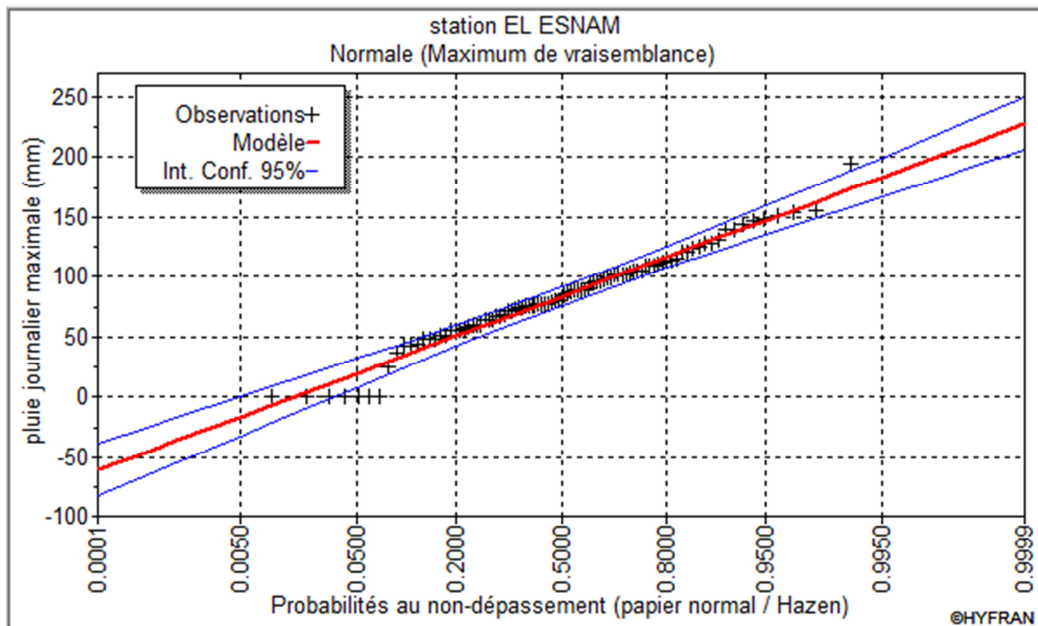


Figure III. 5: Ajustement à la loi normal (Maximum de vraisemblance).

Test d'adéquation

- **Hypothèses**

H_0 : L'échantillon provient d'une loi normale

H_1 : L'échantillon ne provient pas d'une loi normale

- **Résultats**

Résultat de la statistique: $T = 2.15$

p-value: $p < 0.999$

Degrés de liberté: 9

Nombre de classes: 12

Remarque

Nous pouvons accepter H_0 au niveau de signification de 5%.

- **Vérification des hypothèses**

Parfois les conditions de prise des données se voient modifiées à cause de plusieurs actions, telles qu'un déplacement des stations de mesure ou un remplacement des instruments. C'est pour cela, il est indispensable de vérifier que les données ciblées sont stationnaires (caractéristiques statistiques ne varient pas dans le temps), indépendantes et homogènes. Cette vérification sera basée sur les tests de l'ajustement, Les résultats de ces deux tests sont présentés par la valeur de la statistique et sa probabilité au dépassement

exprimée par p-value ou valeur critique (la valeur limite à partir de laquelle on pourra rejeter H_0) que l'on compare ensuite avec le niveau de signification.

III.2.4.4. Choix de la loi d'ajustement

D'après les deux droites d'ajustement ainsi que le test de Khi2 on constate que les pluies journalières maximales s'ajustent mieux à la loi normale, donc pour la suite on considère les pluies journalières maximales obtenues par l'ajustement de la loi normal.

III.3. Etude des apports :

En raison des caractéristiques de la variable d'entrée (précipitations), les tendances dans le temps. Il est important de comprendre l'ampleur de ces changements afin de déterminer les caractéristiques dynamiques de la sédimentation fluviale dans le bassin. La répartition des flux dans une année dépend du changement climatique saisonnier.

Dans la plupart des applications, l'allocation mensuelle du trafic est suffisante Et il peut être dérivé des changements dans les paramètres météorologiques. Un peu problème, il peut être nécessaire de considérer la répartition du trafic sur l'échelle du quotidien. Il est essentiel d'étudier la variation saisonnière du débit mensuel moyen. Mieux comprendre les fluctuations du trafic.

III.3.1. Présentation des données :

Les données hydrométriques concernant le bassin étudié ont été fournies par l'Agence Nationale des Ressources en Hydrauliques (ANRH) et l'Agence de Bassin Hydrographique Algérois Hodna Soummam (ABH AHS).

Les données utilisées sont recueillies au niveau des trois stations hydrométriques contrôlant le sous bassin versant d'oued sahel :

- ❖ TILES DIT 150106
- ❖ TASTA150114
- ❖ EL ASNAM 150204

Ce tableau représente les caractéristiques de ces stations :

Tableau III. 6 : Les caractéristiques des stations hydrométriques étudiées.

Les stations étudiées	Débit minimal Q_{min}	Débit moyenne Q_{moy}	Débit maximal Q_{max}	Concentration minimale C_{min}	Concentration moyenne C_{moy}	Concentration maximale C_{max}	Nombre de valeur	Les années d'observation
Station TILES DIT	0	35,468	635	0,04	3,2244	101,6	968	1967-1989
Station TASTA	0,004	5,9838	119	0	14,423	172,25	559	1974-2012
Station EL ASNAM	0,001	41,016	1143,7	0,62	20,322	126,02	128	1994-2012

La figure suivant représente la position de ces stations :

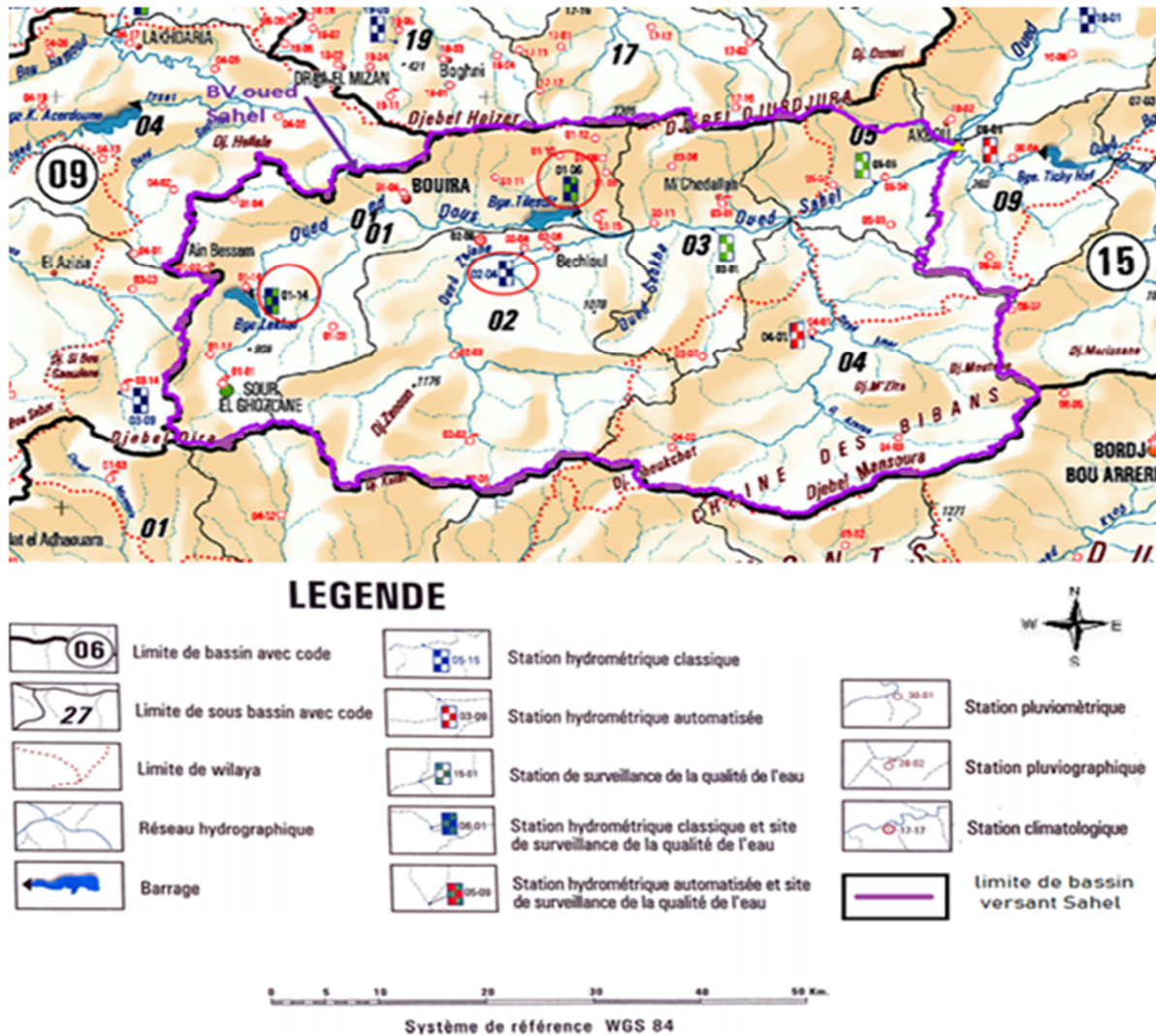


Figure III. 6: Position des stations hydrométriques.

III.3.2. Apport solide et liquide annuelle :

Le flux annuel des matières solides en suspension exporté par les différentes stations étudiées est calculé par la formule :

L'apport solide moyen pour la période entre les temps t_i et t_{i+1} est donné par la relation:

$$As_i = \frac{1}{2}(Q_i C_i + Q_{i+1} C_{i+1})(t_{i+1} - t_i) \quad [5]$$

La somme arithmétique des apports solides élémentaires pendant une période donnée (mois, saison, année et crue) donnera l'apport solide de cette période. Le tonnage spécifique ou l'apport spécifique exprimé en tonne par kilomètre carré (T/km²), est obtenu en divisant l'apport total par la surface du bassin versant couverte par la station de mesure. Ceci permet de comparer les valeurs obtenues sur différents bassins de tailles différentes.

De même l'apport liquide correspondant est donné par la relation:

$$Al_i = \sum_0^i \frac{1}{2}(Q_i + Q_{i+1})(t_{i+1} - t_i)$$

C_i = Concentration instantanée mesurée ;

Q_i = Débit instantané mesuré ;

n = Nombre de mesures.

L'apport solide annuel est très irrégulier d'une année à une autre. Les apports liquides et solides transportés par l'oued sahel sont calculés et présentés dans le tableau suivant :

Station TASTA 150114 :

Tableau III. 7: Apport solide et liquide annuel de station TASTA (de 1975 à 2012).

Année	Débit moyen m ³ /s	Concentration moyenne mol/l	Apport Liquide m ³	Apport Solide g/m ³
1975-1976	10,808	37,054	19467299,7	647284,068
1981-1982	5,859	5,573	564636,278	3490,568
1982-1983	8,609	9,480	7610918,02	97334,518
1988-1989	1,753	15,873	149479,552	3927880,96
1990-1991	5,679	12,822	1244115,55	18279,979
1991-1992	2,279	12,076	3281065,35	15515,184
2010-2011	3,590	9,713	854051,829	12864,027
2011-2012	10,477	10,477	10001146,6	209487,076

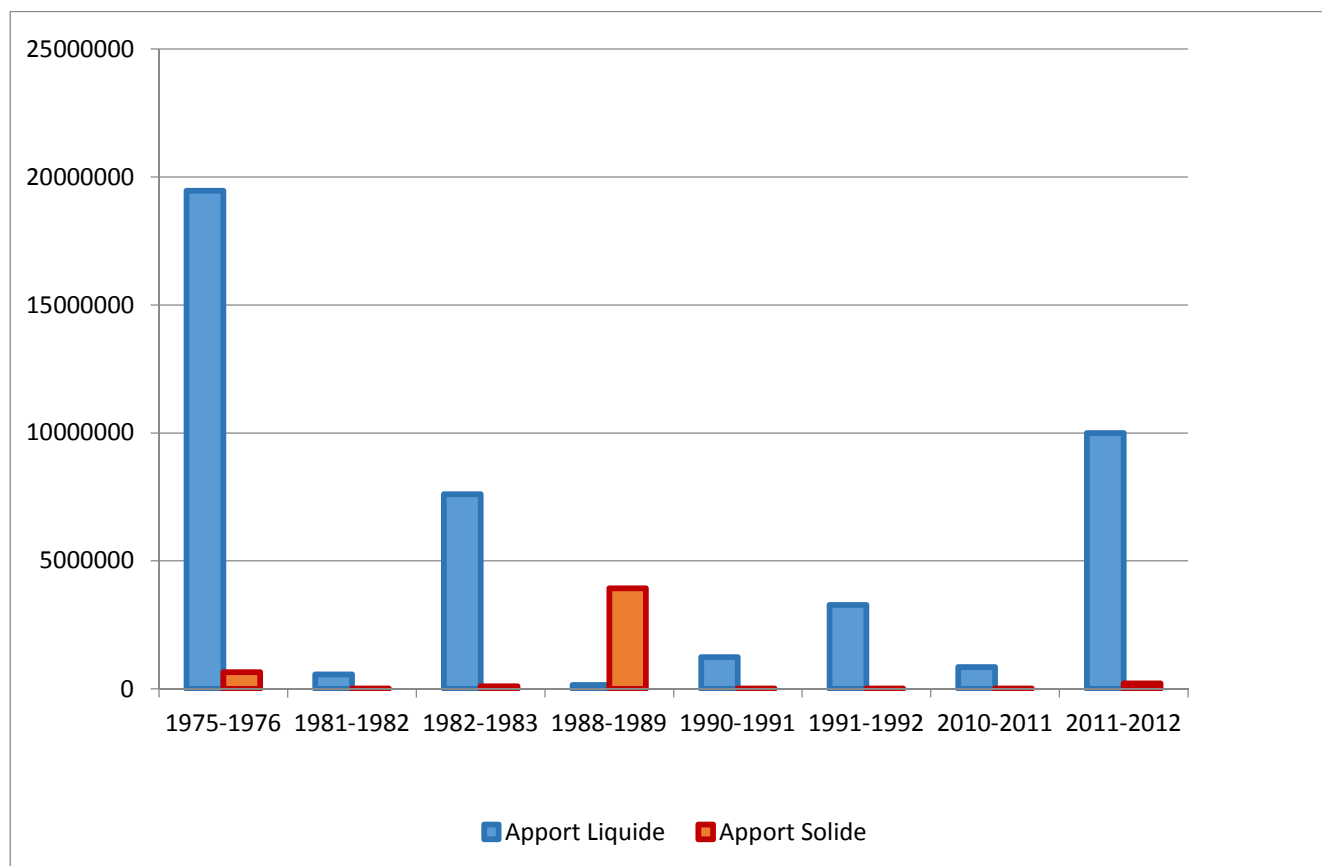


Figure III. 7: L'évaluation des apports solides et liquides annuel de station hydrométrique en fonction des années d'étude TASTA (de 1975 à 2012).

Le graphe précédant représente l'évaluation des apports solides et liquides annuel de la station hydrométrique TASTA150114 entre l'année 1975 et 2012. On observe que l'apport liquide maximal se mesure pendant l'année hydraulique 1975-1976, il augmente jusqu'à 19.4hm^3 et l'apport solide maximale se mesure pendant l'année 1988-1989 avec une valeur de 39.3 Tonne vu que l'apport liquide dans cette année est dans son état minimal avec une valeur de 0.15hm^3 .

- Station TILES DIT 150106 :

Tableau III. 8 : Apport solide et liquide annuel de station TILES DIT (de 1967 à 1989).

Année	Débit moyen m^3/s	Concentration moyenne mol/l	Apport Liquide m^3	Apport Solide g/m^3
1967-1968	47,6682036	2,38323353	2476928,21	13016,2364
1968-1969	29,1751351	7,64054054	3545315,08	26108,1011
1969-1970	41,9917714	10,3561905	4600228,83	48731,4444
1970-1971	1,45526667	0,457	79495,6034	40,9702301
1971-1972	41,1775491	3,39526012	9897634,28	124929,662
1972-1973	13,9519357	0,91391813	798131,816	1980,6069
1980-1981	103,608654	4,43038462	5394548,16	13931,6011
1981-1982	63,3211212	3,48666667	6048044,3	18315,0761
1988-1989	37,1424167	9,06	48008395	213046,98

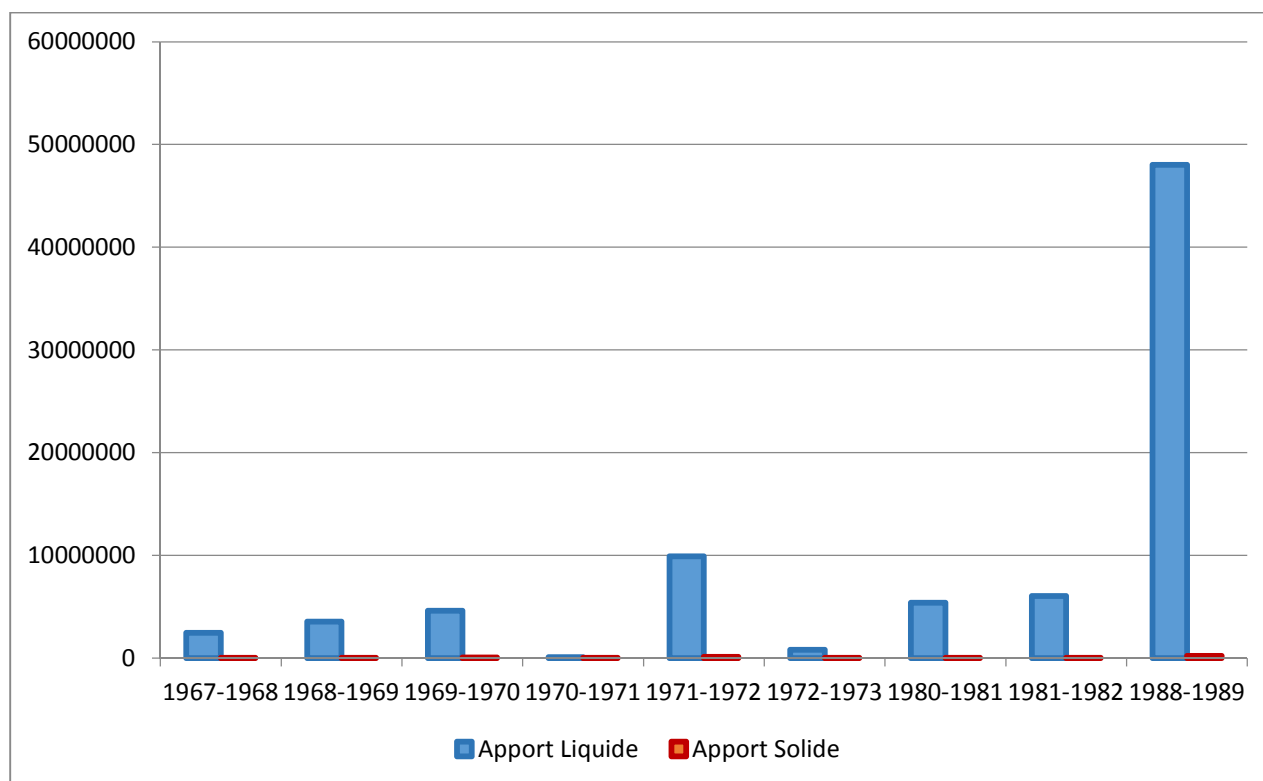


Figure III. 8: L'évaluation des apports liquides et solides annuel en fonction des années d'étude de station hydrométrique TILES DIT (de 1967 à 1989).

Ce graphe représente l'évaluation des apports solides et liquides annuel de la station hydrométrique TILES DIT 150106 entre l'année 1967 et 1989. On remarque que l'apport liquide maximal se mesure pendant l'année 1988-1989, il égale à 48 hm^3 et l'apport solide

maximal se mesure pendant la même année avec une valeur de 0.213 Tonne, aussi on observe un apport solide remarquable pendant l'année 1971-1972 égale à 0.124 Tonne.

- **Station EL ASNAM 150204 :**

Tableau III. 9: Apport solide et liquide annuel de station EL ASNAM (de 1994 à 2012).

Année	Qmoyen m ³ /s	Concentration Moyenne Mol/l	ApportLiquide m ³	ApportSolide g/m ³
1994-1995	0,67516667	11,0379167	75544,5913	1083,56812
1998-1999	9,513375	39,949375	14768,49	700,798007
2009-2010	101,74775	22,3966667	12369387,4	695375,355
2010-2011	8,86294118	7,06588235	13217491,3	61494,8996
2011-2012	2,32944444	13,4644444	2797810,31	2731,05215

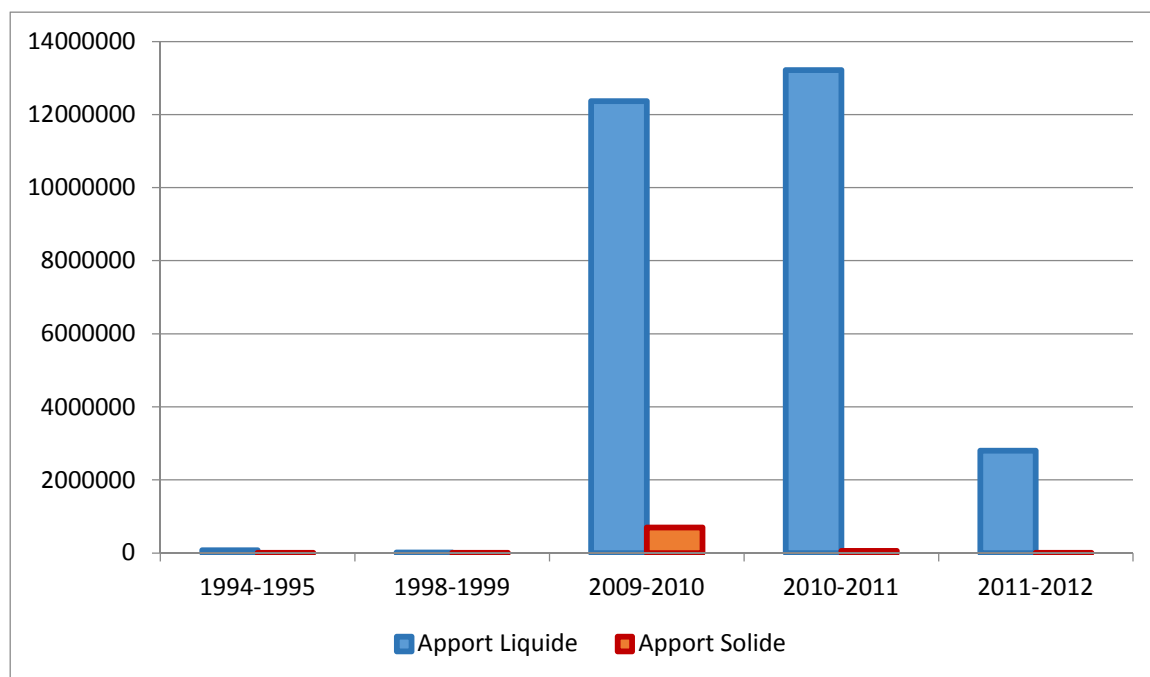


Figure III. 9: L'évaluation des apports liquides et solides annuel en fonction des années d'étude de station EL ASNAM (de 1994 à 2012).

Ce graphe représente l'évaluation des apports solides et liquides annuel de la station hydrométrique EL ASNAM 150206 entre l'année 1994 et 2012. On observe une valeur maximal de l'apport liquide pendant l'année 2010-2011 égale à 13.2 hm³ et un apport solide maximal pendant l'année 2009-2010 avec une valeur de 0.69 Tonne.

III.3.3. Apport solide et liquide mensuelle :

Le flux mensuel des matières solides en suspension exporté par les différentes stations est calculé de la même manière que le flux annuel, pour chaque mois considéré de l'année.

- Station TILES DIT 150106 :

Tableau III. 10: Apport solide et liquide mensuelle de station TILES DIT (de 1967 à 1995).

Mois	Q moy m ³ /s	Concentration moyenne Mol/l	Apport liquid m ³	Apportsolide g/m ³
Septembre	0,59043243	0,99405405	651443,308	272,471555
Octobre	12,9300247	9,7591358	17941033,1	62886,2408
Novembre	31,323697	9,02666667	342341176	14328917,7
Décembre	67,0304667	4,6735	984897640	4305213,87
Janvier	66,602963	3,42681481	114577710	384151,157
Février	52,4225753	1,61287671	330916209	819305,196
Mars	32,1739078	1,48269504	1458263839	4390993,68
Avril	25,7151852	3,37641975	18786812,5	1694,9388
Mai	9,47253731	1,2538806	46180401	165300,932
Juin	1,29344828	0,04965517	110509,971	5,80156457
Juillet	0,69013333	0,07316667	385613,929	26,232571
Août	0,26941176	0,04215686	143005,005	5,7838338

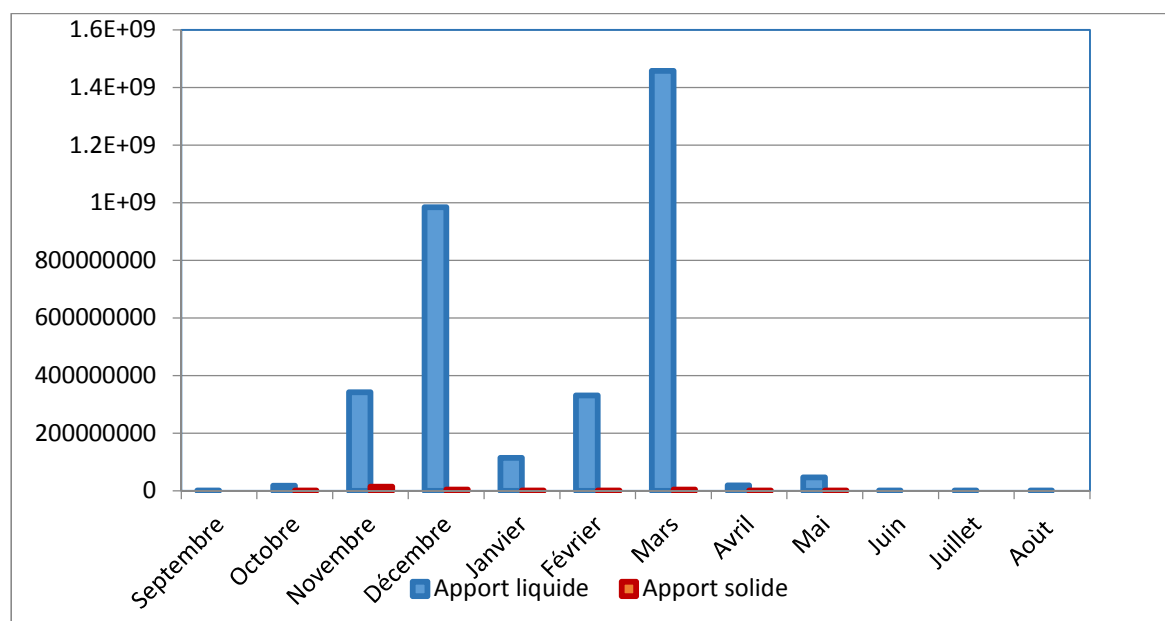


Figure III. 10 : Apport solide et liquide en fonction des années d'étude de station TILES DIT (de 1967 à 1995).

Cette figure représente l'évaluation des apports solide et liquide de la station TILES DIT 150106 entre la période 1967 et 1995. Ce dernier montre que la valeur maximale de l'apport solide atteint 14.3 Tonne et un apport liquide maximal égale à 1.4 hm³.

- **Station TASTA 150114 :**

Tableau III. 11: Apport solide et liquide mensuelle de station TASTA (de 1974 à 2014).

Mois	Débit moyen m ³ /s	Concentration moyenne mol/l	Apport liquide m ³	Apport solide g/m ³
Septembre	18,163	51,593	21316384,1	577322,322
octobre	0,789	20,056	5760132,13	402380,064
Novembre	3,663	23,38	223738588	500141,053
Décembre	3,978	8,336	38013967,6	126956,181
Janvier	5,837	6,6405	7121605,15	60394,647
février	6,025	6,708	50639014,5	607312,042
Mars	11,806	8,046	27110310,6	212674,302
Avril	4,0307	10,837	7520088,48	52689,011
Mai	4,169	9,974	4167757,81	34358,9738
Juin	0,396	27,598	6641706,3	73675,2601
Juillet	14,071	42,78	173599110	5146966,37
Aout	1,245	20,905	34253707,4	4060,14415

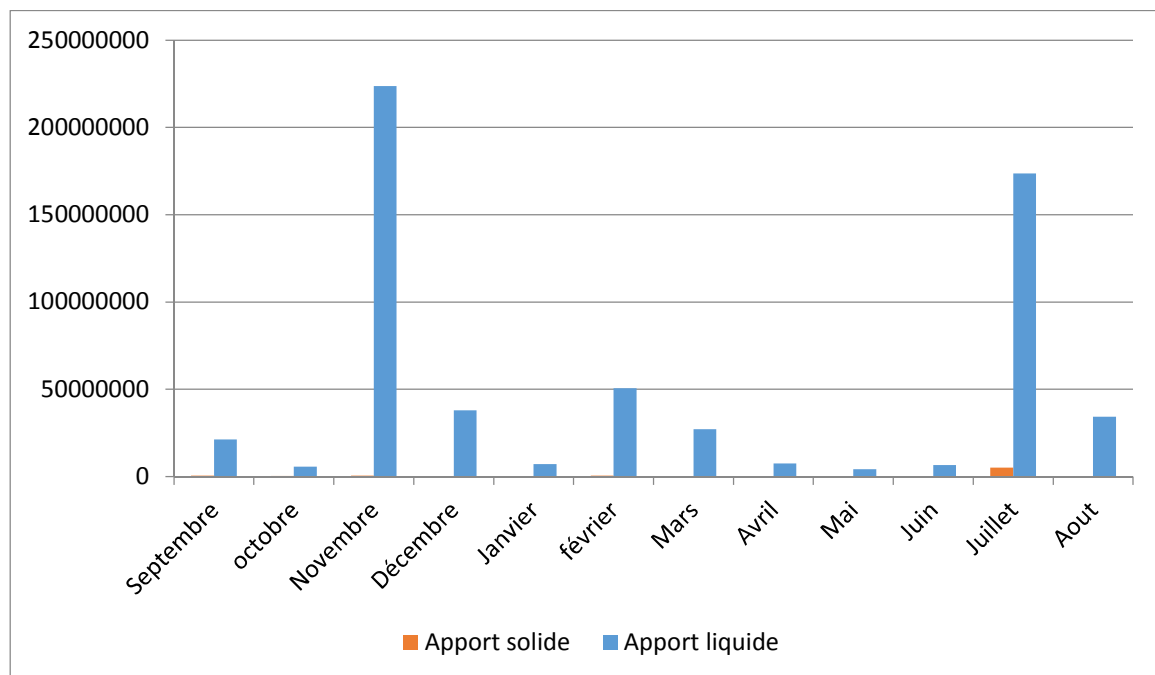


Figure III. 11: Apport solide et liquide mensuelle de station TASTA (de 1974 à 2014).

La figure III-11 représente l'évaluation des apports solide et liquide de station TASTA 150114 entre l'année 1974 et 2014, la valeur maximale de l'apport solide est enregistrée au mois de juin égal à 73.7Kg et l'apport liquide maximal mesure au mois décembre avec une valeur de 38 hm³.

- **Station EL ASNAM 150204 :**

Tableau III. 12: Apport solide et liquide mensuelle de station EL ASNAM (de 1994 à 2012).

Mois	Débit moyen m ³ /s	Concentration moyenne mol/l	Apport Liquide m ³	Apport Solide g/m ³
Septembre	8,463	39,961	1304775,71	30211,860
Novembre	3,3045	24,89	14535,2571	382,804
Décembre	1,419	15,431	102763,5	2376,6371
Janvier	0,556	10,052	41246515,3	732362,632
Février	1,415	13,12	127751,6	2873,869
Mars	1,395	15,854	3736150,77	34754,0073
Avril	11,582	3,490	8251102,43	27573,658
Mai	1,227	26,306	3987290,88	28199,772
juin	319,0417	29,385	3271616081	114297061
Aout	9,896	35,645	177367612	21406746,5

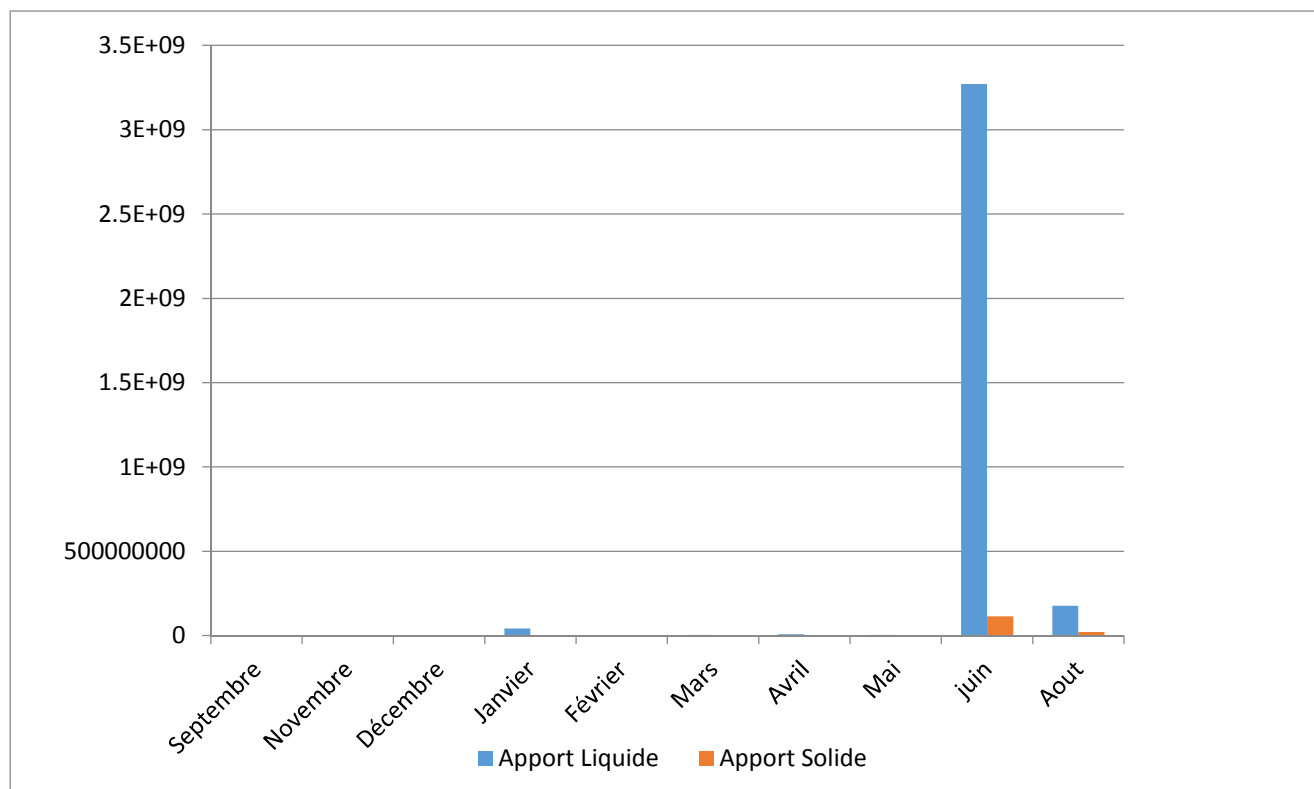


Figure III. 12: Apport solide et liquide mensuelle de station EL ASNAM (de 1994 à 2012).

Ce graphe montre l'évaluation des apports solide et liquide mensuelle de station EL ASNAM150204 entre l'année 1994 et 2012. On remarque que les apports maximaux solide et liquide sont enregistrés en mois de juin avec des valeurs sont réparties dans l'ordre comme suite 3.3 hm^3 et 0.114 Tonne , ces valeurs dus à une crue enregistré en 18 juin 2010 au niveau de bassin versant El Asnam

III.3.4. Apport solide et liquide saisonnier :

Pour mieux appréhender le phénomène de l'érosion et du transport solide, nous avons vu qu'il serait judicieux d'analyser la répartition saisonnière des flux et des apports solides en suspension dans notre bassin.

- **Station TILESDIT 150106 :**

Tableau III. 13: Apport solide et liquide saisonnier de station TILESDIT (de 1967 à 1995).

Saison	débit moyen m^3/s	Concentration moyenne Mol/l	Apport liquide m^3	Apport solide g/m^3
Automne	14,9480514	6,59328551	120311218	4797358,79
hiver	62,0186683	3,23773051	476797187	1836223,41
printemps	22,4538768	2,03766513	507743684	1519329,85
été	0,75099779	0,0549929	213042,968	12,6059898

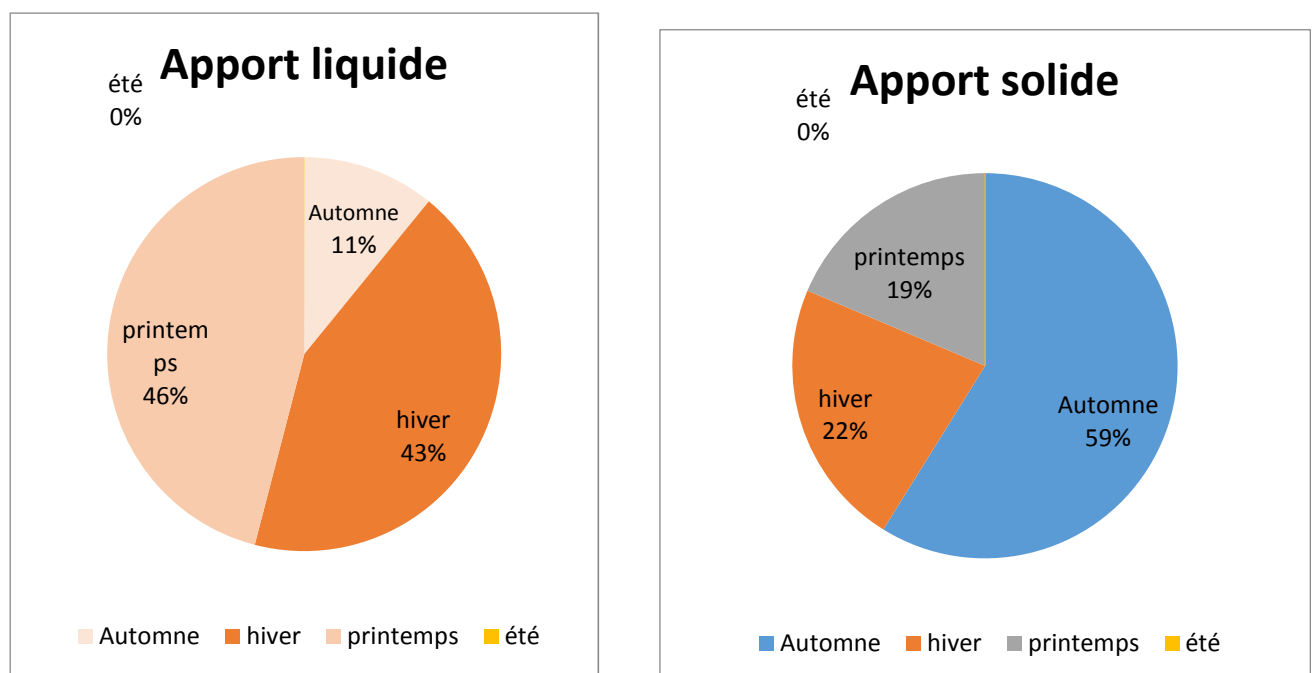


Figure III. 13: Apport solide et liquide saisonnier de station TILESDIT (de 1967 à 1995).

La valeur supérieure de l'apport solide de la station TILES DIT entre l'année 1967 et 1995 qui est représenté dans la figure précédente s'observe au l'automne, il occupe 59% de l'apport solide totale de la station et un apport liquide maximal pendant la saison de printemps égale à 46% de l'apport totale.

- **Station TASTA 150114 :**

Tableau III. 14: Apport solide et liquide saisonnier de station TASTA (de 1974 à 2014).

Saison	débit moyen m ³ /s	Concentration moyenne mol/l	Apport liquide m ³	Apport solide g/m ³
Autumn	7,53900892	31,6765325	83605034,8	493281,146
hiver	5,2801835	7,22835832	31924862,4	264887,623
printemps	6,66885482	6,66885482	12932719	99907,4289
été	5,23788889	30,4278571	71498174,6	1741567,26

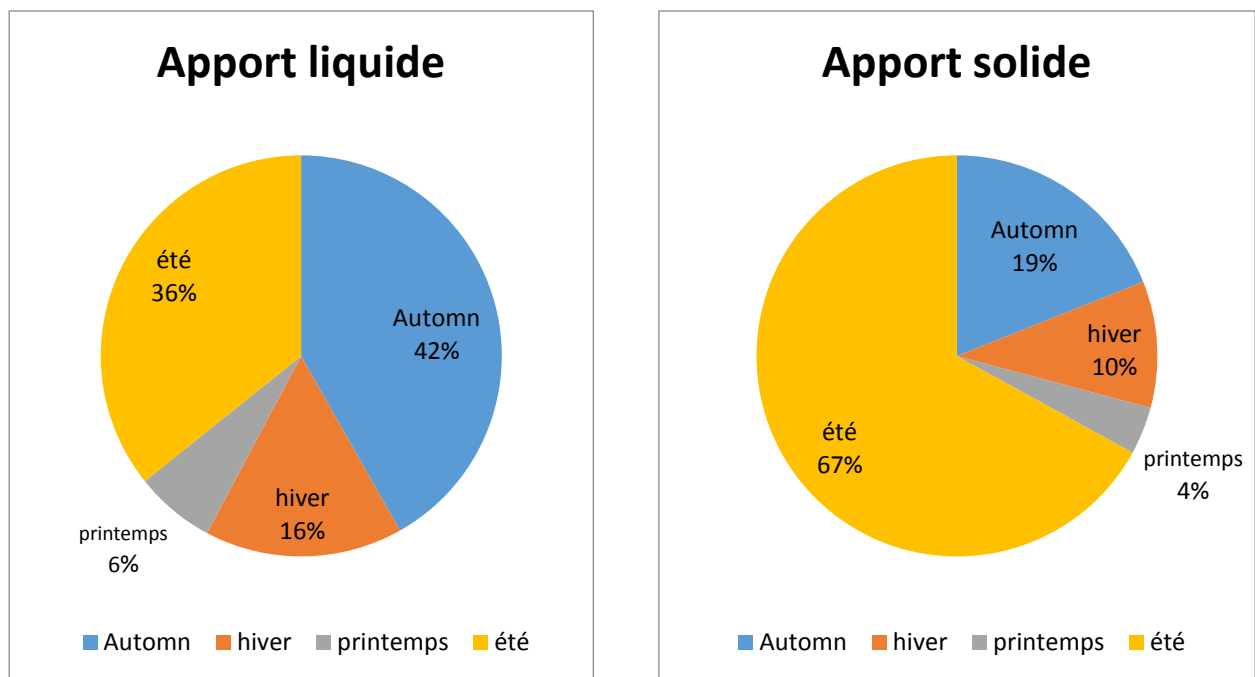


Figure III. 14: Apport solide et liquide saisonnier de station TASTA (de 1974 à 2014).

Cette figure représente les apports solide et liquide saisonnier de station TASTA 150114 entre l'année 1974 et 2014, cette figure montre les pourcentages des apports dans les quatre saisons de l'année vue que un apport liquide de 36% et un apport solide maximal de 67% sont observés pendant la saison de l'été. Ainsi, l'apport liquide maximal se remarque pendant la saison de l'hiver avec une valeur de 49%.

- Station EL ASNAM 150204 :

Tableau III. 15: Apport solide et liquide saisonnier de station EL ASNAM (de 1994 à 2012).

Saison	débit moyen m ³	Concentration moyenne mol/l	Apport liquide m ³	Apport solide g/m ³
Autumn	5,88394444	32,4258333	659655,486	15297,332
hiver	1,13032035	12,8679004	13825676,8	245871,046
printemps	4,73525325	15,2174062	5324848,03	30175,8129
été	164,469117	32,5151667	1724491847	67851903,6

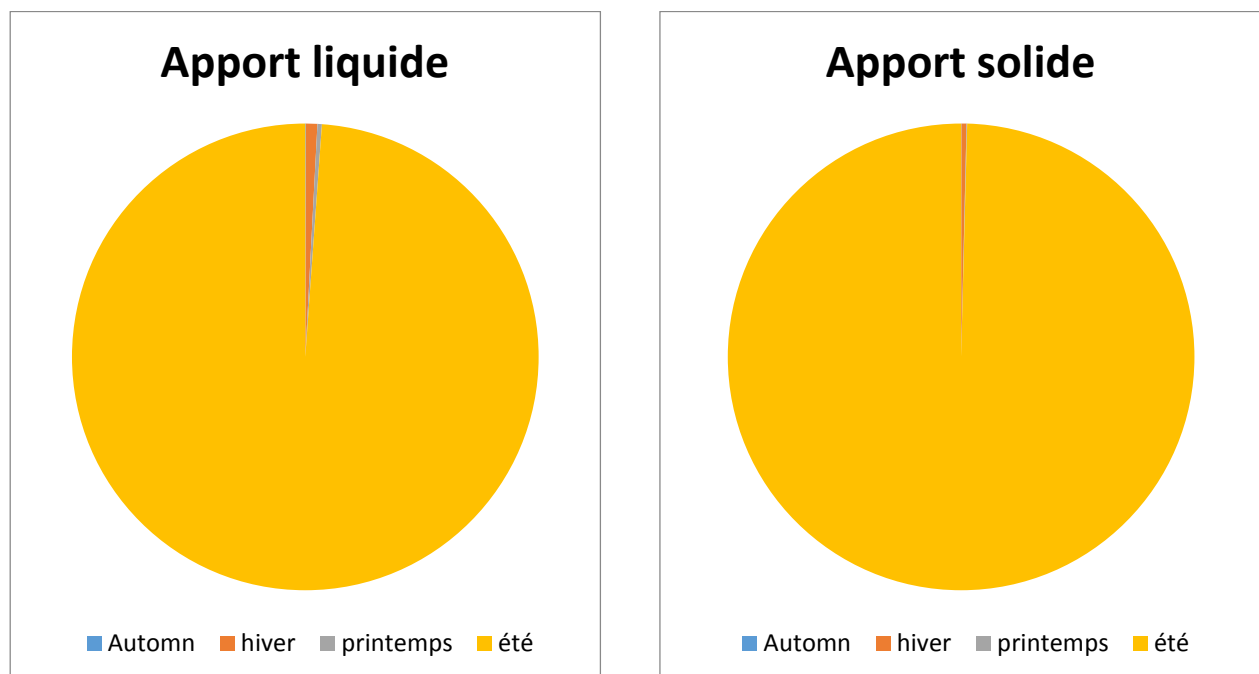


Figure III. 15: Apport solide et liquide saisonnier de station EL ASNAM
(de 1994 à 2012).

Généralement, les apports solide et liquide minimaux sont enregistrés en été. Cette saison dans la station de EL ASNAM est caractérisée par un grand débit et une grande concentration, on remarque que les apports solide et liquide maximaux entre l'année 1994 et 2012 sont observés pendant l'été (99% de l'apport totale), ces résultats sont dus à une crue observée en 18 juin 2010 à 18h du soir jusqu'à 19h 30 avec un débit s'étendant jusqu'à 1143 m³.

III.3.5 Apport solide spécifique :

Les apports solides en tonnes ou en millions de tonnes, As (10^6 t ou MT) et les apports spécifiques en tonnes par kilomètre carré par an, Ass (t/km²/an) sont données par :

$$\text{Ass} = (\text{As} \cdot 10^6) / S$$

Avec :

As : apport solide annuel, mensuel ou saisonnier (MT)

Ass : apport solide spécifique (t/km² /an)

S : superficie du bassin versant (km²) avec S=3693.94Km²

Tableau III. 16 : L'apport solide spécifique.

Les stations hydrométriques	L'apport solide As (10^6 t)	L'apport solide spécifique Ass (t/km ² /an)
Station TILES DIT 150106	51122,2976	13,839
Station TASTA 150114	616517,047	166,9
Station EL ASNAM 150204	152277,135	41,22

Si on regarde la variabilité interannuelle de ce phénomène, on constate que la dégradation spécifique varie considérablement.

La comparaison des valeurs de dégradation spécifique révèle une très forte disparité spatiale du taux d'érosion des sols au Maghreb. Cette disparité résulte principalement de la différence de la lithologie, du couvert végétal, de la pente et de la taille de bassin versant (Probst et Suchet, 1992 ; Fox et Moore, 1993). A cette variabilité spatiale s'ajoute la variabilité temporelle aux échelles annuelle, saisonnière et mensuelle

En tout état de cause, cette variabilité temporelle dépend de la fréquence des orages et de leur période d'occurrence. En effet, ce sont ces orages qui génèrent la plus grande partie de la charge en suspension.

III.4. Conclusion :

D'après l'étude hydrologique et l'analyse des résultats obtenus, on constate que :

-Les apports mensuels reflètent les particularités du régime des apports et son irrégularité.

- L'apport liquide annuel est de $10,00 \text{ hm}^3$.

CHAPITRE IV
MODELES D'ESTIMATIONS DE TRANSPORT SOLIDE

IV.1. Introduction :

Ce chapitre sera consacré à donner une idée sur les modèles essentielles pour la modélisation du transport solide. La simulation est basée sur les paramètres d'entrée ainsi que sur un ensemble de fonctions essentielles et de méthodes gérés par le modèle puissance et le modèle réseaux de neurones artificiels.

IV.2. La modélisation des systèmes naturels : [14]

IV.2.1. Qu'est-ce que la modélisation numérique ?

La modélisation commence dès que l'on cherche à comprendre et prévoir, même de manière qualitative, le comportement d'un système : modèle conceptuel. Les équations sont aussi des modèles, et les calculs à la main de la modélisation. Ce n'est finalement que quand les calculs deviennent trop complexes et trop longs pour être menés à la main, et que l'on fait appel aux ordinateurs, que cela devient de la modélisation numérique. Souvent, et ce sera le cas ici, on entendra par modélisation numérique quelque chose de plus précis encore : des calculs distribués des processus physiques (généralement sous forme d'équations différentielles) sur un maillage représentant la topographie. Ce type de modélisation permet d'obtenir des résultats extrêmement spectaculaires, qui peuvent être frappant de réalisme tout en étant complètement faux. Le modélisateur peut alors être tenté de porter ses efforts sur la qualité du rendu visuel plus que sur celle des résultats. Inutile de dire que cette approche est commercialement très porteuse, car en donnant l'illusion de représenter la réalité complète dans un boîtier d'ordinateur, elle développe de manière démesurée la confiance du client, quand ce n'est pas celle du modélisateur lui-même.

IV.3. Modèle en puissance: [17]

La relation entre la concentration des sédiments en suspension C et le débit liquide Q constitue une relation fondamentale en matière de transport solide.

La concentration des sédiments en suspension C et le débit liquide évoluent en général suivant un modèle de puissance du type :

$$C = aQ^b \text{ (Etchanchu et Probst, 1986).}$$

En l'absence d'appareils automatiques pour une prise des échantillons d'eau à des pas de temps courts et fréquents, de nombreux auteurs utilisent la courbe de transport solide afin d'estimer la charge solide transportée en suspension à partir des séries d'écoulement. La courbe de transport solide est sous forme de graphe ou équation reliant le débit solide (Q_s) ou la concentration (C) et le débit liquide (Q). Selon Einstein (1989), ce type de relation a été proposé dès 1895 par Kenedy. Cependant, l'étude menée par Campbell et Bauder (1940) sur la rivière rouge « Red River » du Texas est considérée comme le premier exemple de l'utilisation de la courbe d'estimation de la charge solide aux Etats Unis d'Amérique. Le rapport de Miller (1951) a décrit l'analyse des charges solides de la rivière San Juan et a donné une évaluation plus détaillée de la technique, en introduisant la nécessité d'utiliser les saisons pour élaborer la courbe de relation $C - Q$, qui servirait à estimer le débit solide sur une longue période d'écoulement. Depuis 1970, un grand intérêt est apporté à l'estimation du transport solide en suspension en appliquant la relation de $C - Q$.

Les raisons sont nombreuses et diverses parmi lesquelles nous citons, le cheminement des contaminants, par les eaux fluviales l'envasement des barrages, l'érosion et les pertes des sols (Walling, 1977 ; Ferguson, 1986 ; khanchoul. 2006). La recherche de modèles reliant le flux des matières en suspension en transit à l'écoulement dans différents bassins mondiaux a fait l'objet de multiples études qui permettent de déterminer quelques principes de comportement de ces paramètres (Walling et Webb 1981 ; Owens et Walling 2002). Il s'agit des courbes de transport sédimentaire, «rating curves», utilisées pour estimer les concentrations et les flux de matière solide en suspension à partir des seules mesures de débit. Diverses méthodes sont développées pour définir ces courbes, mais les régressions de type puissance restent les plus courantes pour décrire les relations entre le débit liquide et la concentration ou le débit solide Q_s et le débit liquide Q , sous la forme : $Q_s = aQ^b$

Où Q_s est le débit solide en suspension (kg/s); Q est le débit liquide (m^3/s); et a et b sont des paramètres du bassin versant et sont estimés par régression linéaire des variables transformées en log. L'exposant b représente la pente de la courbe sur échelle log-log. Le paramètre a pourrait traduire la sensibilité à l'érosion du bassin versant et b pourrait être lié à la capacité érosive de la rivière ainsi qu'à l'augmentation de la disponibilité en sédiment en fonction du débit (Asselman, 2000).

Depuis, plusieurs chercheurs ont essayé d'identifier surtout la valeur de l'exposant b . Leopold et al. (1953) proposent pour les rivières de l'ouest des Etats Unis d'Amérique des

valeurs de b variant entre 2 et 3, d'autres auteurs tels que Parsons et al. (1963), Muller et Forstner (1968), Bruschin et Trau (1977), Wood (1977), Finlatson (1978), Walling et Webb (1981, 1982), Meybeck (1984) ainsi que Probst et Bazerabachi (1986) les limitent entre 1 et 2, en fonction des caractéristiques physiques, climatiques et hydrologiques des bassins versants, ou des conditions hydrauliques de l'écoulement dans les cours d'eau (Bouanani.A 2004).

Les facteurs qui interviennent dans les processus d'érosion et de transport des sédiments sont à la fois nombreux et variables dans le temps et dans l'espace. Les matériaux solides provenant soit des versants soit du réseau de drainage et leur éventuel transport par les cours d'eau, sont difficiles à quantifier (Graf, 2000 ; Asselman, 2000 ; Rovira et Batalla, 2006) (Sidahmed B). Dans ce contexte, de nombreux auteurs (Wood, 1977 ; Walling et al. 1981 ; Etchanchu et al. 1986) ont montré que les paramètres a et b dépendent des caractéristiques du bassin versant considéré (Parsons et Stone, 1963 ; Bruschin et Trau 1977 ; Terfouset al. 2001 ; Achite et Ouillon 2007. Selon Léopold et al. (1953), la valeur de b fluctue entre 1 et 2 et représente la puissance érosive du cours d'eau. Flemming (1969) montre que le paramètre a dépend de la taille des bassins versants et de la couverture végétale.

D'après Probst (1986), la valeur de b varie très peu d'un cycle hydrologique à un autre et représente un indice de la sévérité de l'érosion sur les versants. Terfous et al. (2001) montrent que les paramètres a et b varient suivant les saisons. Benkhaled et Remini (2003) justifient les variations saisonnières des coefficients a et b aux changements de l'état hydrique du sol. Cependant, l'utilisation de ce modèle a fait l'objet d'un certain nombre de critiques.

En effet, la relation en puissance souvent utilisée pour caractériser la dynamique érosive des cours d'eau, produit une erreur ou « biais » dû à la transformation de l'échelle logarithmique à l'échelle arithmétique. Ce biais est responsable d'une sur- ou sous-estimation de l'apport solide en suspension et la courbe peut significativement surestimer ou sous-estimer le flux de la charge solide en suspension (Horowitz. 2003).

IV.4. Les réseaux de neurones artificiels: [15]

Les réseaux de neurones artificiels est l'un des modèles mathématiques pour la prévision en utilisant des procédures d'appariement et de comparaison de modèles Fischer, (1998), TACHI (2017). Les RN sont une approche dans le cadre plus large de l'hydro-informatique qui a émergé dans les années 1990 comme un moyen efficace de gérer la surcharge d'information Govindaraju, (2000). L'RNA est l'une des forces les plus significatives des techniques d'intelligence artificielle (IA) utilisées par les hydrologues au

cours des vingt dernières années, car l'RNA est considéré comme est un exemple de méthode de prédiction non linéaire (PNL), qui a été largement étudié et appliqué à divers problèmes, y compris la simulation météorologique et la prévision ,Varoonchotikul(2003). Tingsanchali,(2009) et Campolo et al, (2003) ont mené plusieurs études basées sur les RNA qui se sont intéressées à la prédiction des débits des rivières à une échelle de temps allant d'une année à une journée dans le fleuve Chao Phraya et le fleuve Arno en Italie, en utilisant uniquement les observations du passé, Ramapulana(2011).

IV.4.1. Définition de réseaux neurones artificiel :

Les réseaux de neurones artificiels (ou Artificiel Neural Network "ANN" (en anglais)) sont des réseaux fortement connectés de processeurs élémentaires fonctionnant en parallèles. Chaque processeur élémentaire calcule une sortie unique sur la base des informations qu'il reçoit. Toute structure hiérarchique de réseaux est évidemment un réseau. TOUZET.C, (1992).

IV.4.2. La structure de RNA :

Les structures RNA sont basées sur les réseaux neuronaux biologiques, La figure (1) présente la structure de RNA.L'unité neurale traite les informations d'entrée dans les informations de sortie. Chacune de ces unités est un modèle simplifié d'un neurone et transforme ses informations d'entrée en une réponse de sortie neuronale. Cette transformation implique l'activation du neurone calculée par la somme pondérée de ses entrées. Cette activation est ensuite transformée en une réponse en utilisant une fonction de transfert, Ramapulana (2011)

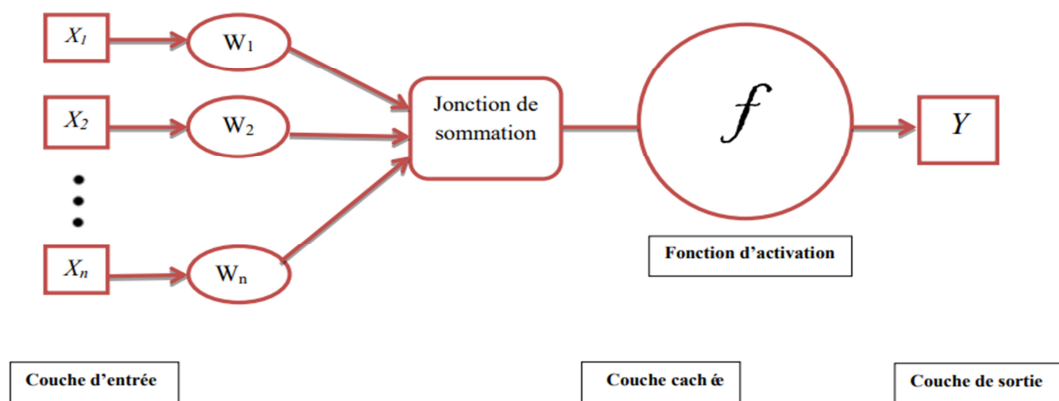


Figure IV.1 : La structure (l'architecture) des réseaux de neurones[16]

IV.4.3. Apprentissage pour les RNA :

IV.4.3.1. Définition :

L'apprentissage est une phase du développement d'un réseau de neurones durant laquelle le comportement du réseau est modifié jusqu'à l'obtention du comportement désiré. L'apprentissage neuronal fait appel à des exemples de comportement, (Touzet, 1992).

L'apprentissage d'un système de RNA consiste à introduire des données en entrée dont la sortie est bien connue, puis on fait entraîner le réseau jusqu'à ce qu'on obtienne notre sortie désirée. (Mustapha C. E. Yagoub 2004). Le choix des paramètres d'un réseau de neurones dépend principalement du problème à résoudre. Il n'existe donc pas de règle globale pour déterminer avec exactitude les paramètres à adopter pour résoudre un problème donné (Coulibaly et al 1998).

IV.4.3.2 Les méthodes d'apprentissage :

On distingue deux approches d'apprentissage :

- L'apprentissage supervisé
- L'apprentissage non supervisé.
- ❖ L'apprentissage supervisé :

L'apprentissage supervisé est basé sur la formation d'un échantillon de données à partir d'une source de données avec une classification correcte déjà attribuée. De telles techniques sont utilisées dans les modèles feed-forward ou Multi Layer Perceptron (MLP), Sathya et Abraham, (2013).

- ❖ L'apprentissage non- supervisé :

Pour identifier les modèles cachés dans les données d'entrée non marquées pour les réseaux neuronaux auto-organiseurs est basé sur un algorithme d'apprentissage non supervisé. Le rôle de l'apprentissage non supervisé est d'apprendre et d'organiser les informations d'entrée sans évaluer la solution potentielle (Kohene et al. 1996).

IV.4.3.3. Les réseaux de neurones feed-forward rétro propagation (RNFFRP):

L'algorithme d'entraînement «par défaut» le plus populaire est la rétro- propagation Rumelhart et al. (1986), Tvetter (2003) et Abraham et al. (2004). Il est largement utilisé pour résoudre des fonctions non linéaires compliquées. Il s'agit d'un algorithme d'apprentissage

supervisé utilisé pour l'apprentissage d'un réseau neuronal artificiel. Cette technique offre une procédure de calcul efficace pour évaluer les dérivées de la fonction de performance du réseau. Le réseau neuronal de rétro propagation est largement utilisé en tant que réseau d'apprentissage multicouche, constitué d'une couche d'entrée, de couches cachées (une ou plusieurs couches cachées en fonction de la structure du réseau) et d'une couche de sortie. Des poids ajustables sont utilisés pour connecter les nœuds entre les couches adjacentes et optimisés par un algorithme d'apprentissage pour obtenir les résultats de classification souhaités. (Lin, 2007).

IV.4.4. Les avantages et Les inconvénients de RNA :

Les chercheurs qui utilisant RNA pour prédire les différents problèmes et phénomènes font face à différents avantages et inconvénients ; Dans cet élément nous avons cité certains de ces avantages et inconvénients ont été énoncés par Khadir (2005).

IV.4.4.1. Les avantage :

- Une tolérance aux incertitudes très élevé.
- Etant une multiple copie d'une unité simple (les neurones), donc facilement extensible.
- Facilité d'application car ne nécessitant pas une compréhension approfondie.
- Un choix de réseaux, types, architecture et fonctions d'activations diverses.
- Possède la capacité de généraliser (interpoler) dans le cadre de données utilisées pour l'apprentissage.

IV.4.4.2 Les inconvénients :

- Facilité d'applications donnant lieu à de nombreuses implémentations et choix pas toujours justifiés.
- Malgré une solide base théorique, le choix du réseau incombe souvent à l'utilisateur car il n'existe pas de guide prouvé pour toute utilisation.
- La nature non linéaire des RNAs peut piéger l'utilisateur dans un minimum local.

IV.5.Conclusion

Dans ce chapitre nous avons donné une idée générale sur la modélisation du transport des sédiments à savoir l'ensemble des différents paramètres et les deux différents modèles ancien « modèle puissance » et nouveaux « RNA ». La simulation a été effectués, et les résultats obtenus seront développés et interprétés au dernier chapitre.

CHAPITRE V

MODELISATION DES CONCENTRATION DES SEDIMENTS EN SUSPENSIONS

V.1 Introduction :

Les modèles débits liquides-concentration des matières en suspension (Q-C) sont utilisés pour décrire le comportement hydrologique d'un bassin versant. De nombreux modèles existent pour simuler les processus physiques déterminant la quantité de matière en suspension résultant d'un débit liquide. [18]

L'objectif de ce chapitre est la recherche du modèle le plus représentatif et le plus adéquat pour l'estimation de charge solide en fonction du débit liquide à la base des données disponibles au niveau des stations étudiés. Pour faire pour chaque station on a procédé à la division de la série complète en deux parties la première pour l'entraînement et la deuxième pour la validation.

V.2 Modèle en puissance :

Les graphes suivants montrent les résultats de la modélisation avec le modèle en puissance. Dans l'estimation avec ce modèle, nous choisissons de diviser nos séries sur deux variante une 70% nommé l'entraînement et l'autre 30% nommé validation.

Modèle en puissance station TASTA 150114 :

Entraînement :

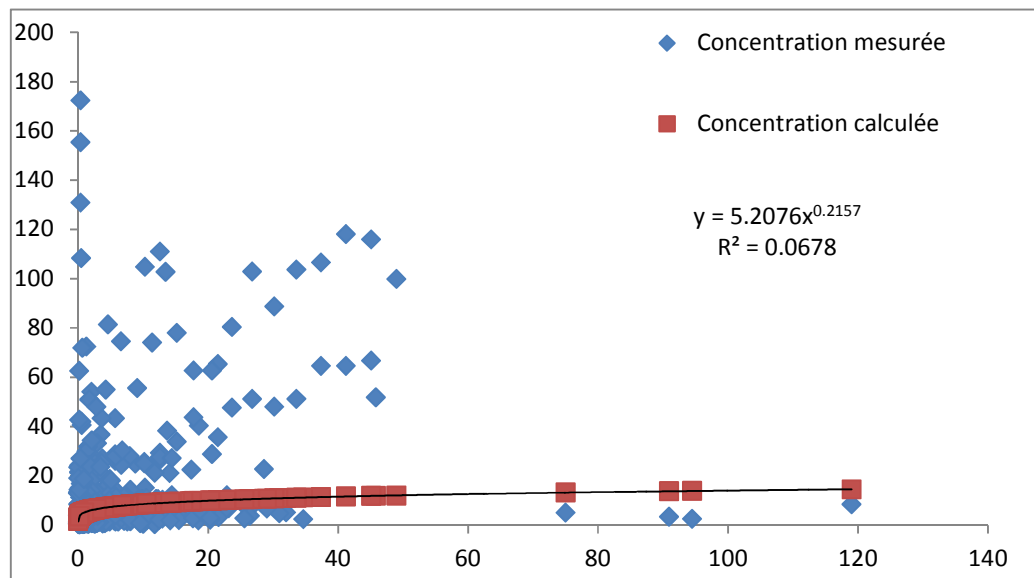


Figure V. 1: Evaluation des concentrations mesurées et calculées en fonction de débit ($C=f(Q)$) pour la station de TASTA 150114 (cas d'entraînement).

Validation :

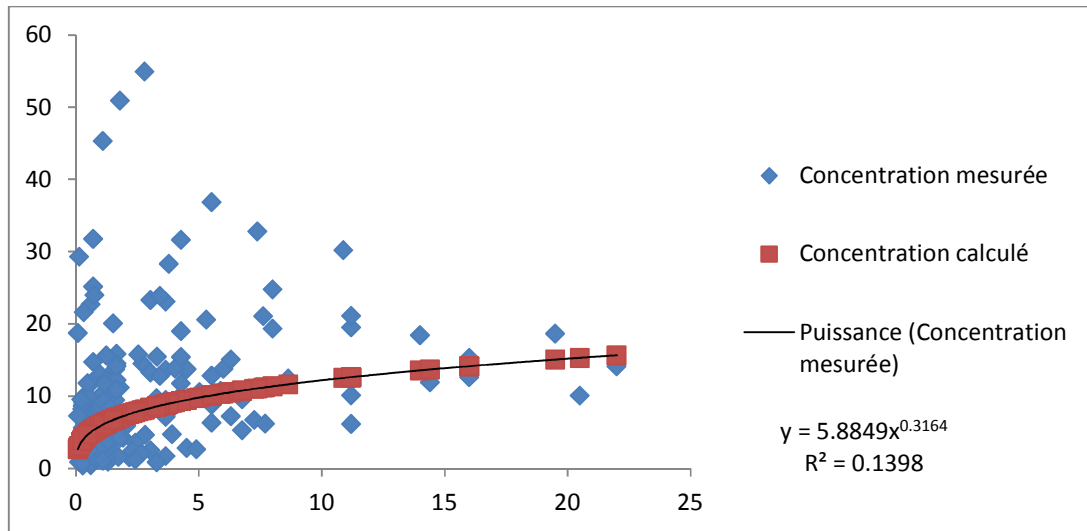


Figure V. 2: Evaluation des concentrations mesurées et calculées en fonction de débit (C=f(Q)) pour la station de TASTA 150114 (cas de validation).

L'estimation des concentrations des sédiments en suspensions dans la station de Tasta est très faible donc le modèle est rejeté

❖ **Modèle en puissance TILES DIT 150106 :**

Entraînement :

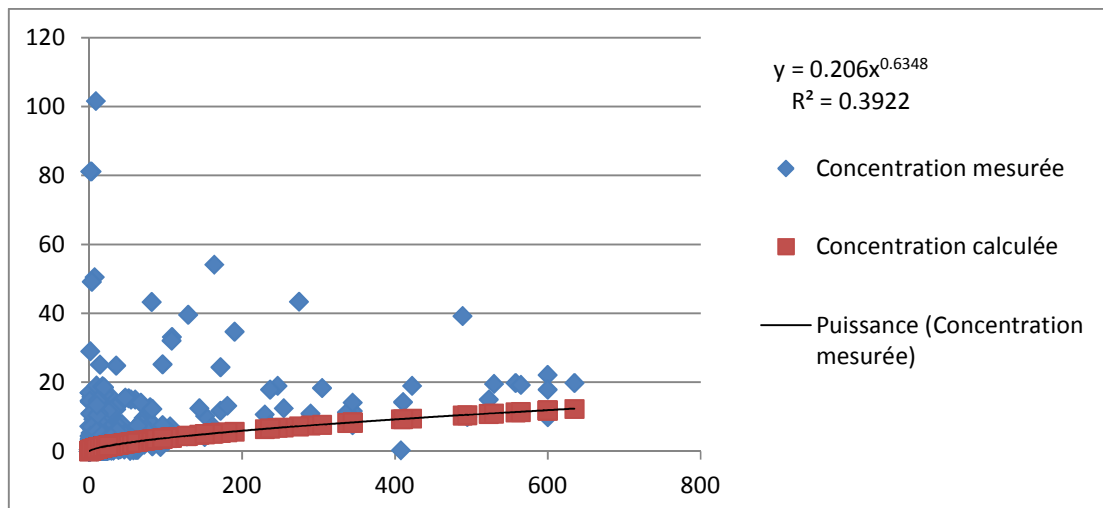


Figure V. 3: Evaluation des concentrations mesurées et calculées en fonction de débit (C=f(Q)) pour la station de TILES DIT 150106 (entraînement).

Validation :

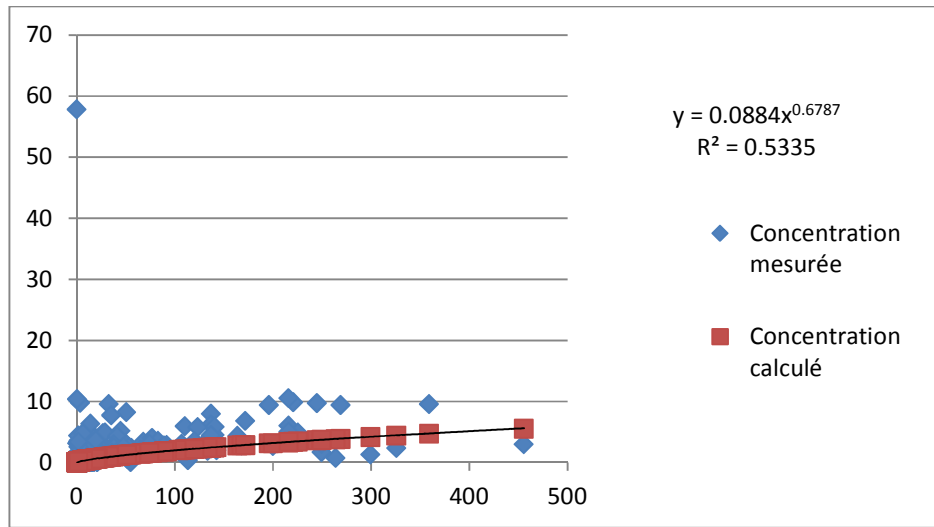


Figure V. 4: Evaluation des concentrations mesurées et calculées en fonction de débit (C=f(Q)) pour la station de TILES DIT 150106 (Validation).

❖ Modèle en puissance station EL ASNAM 150204 :

Entraînement :

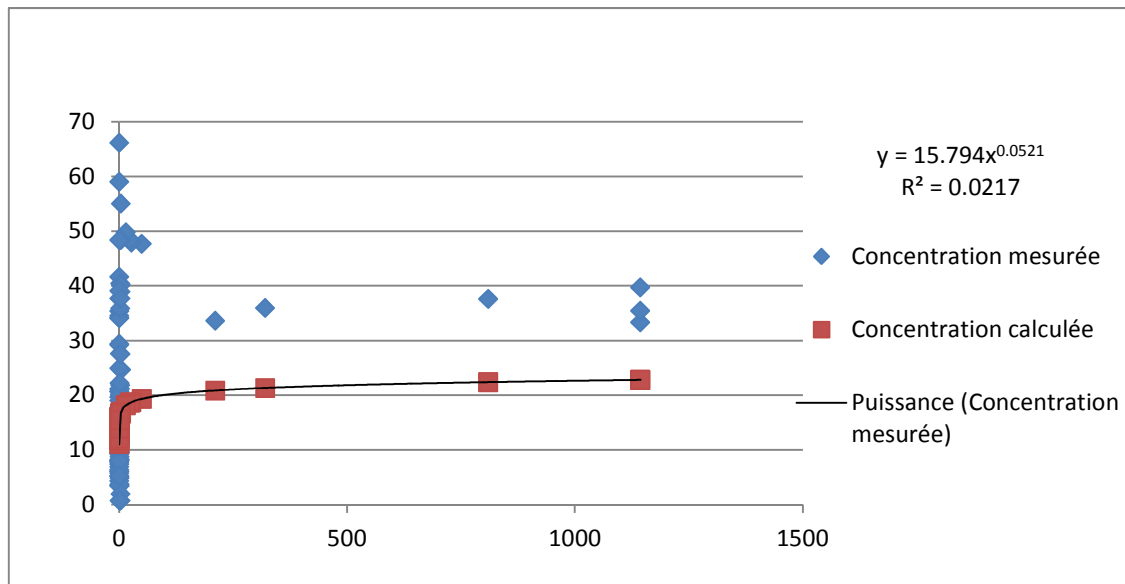


Figure V. 5: Evaluation des concentrations mesurées et calculées en fonction de débit (C=f(Q)) pour la station de EL ASNAM 150204 (entraînement).

Validation :

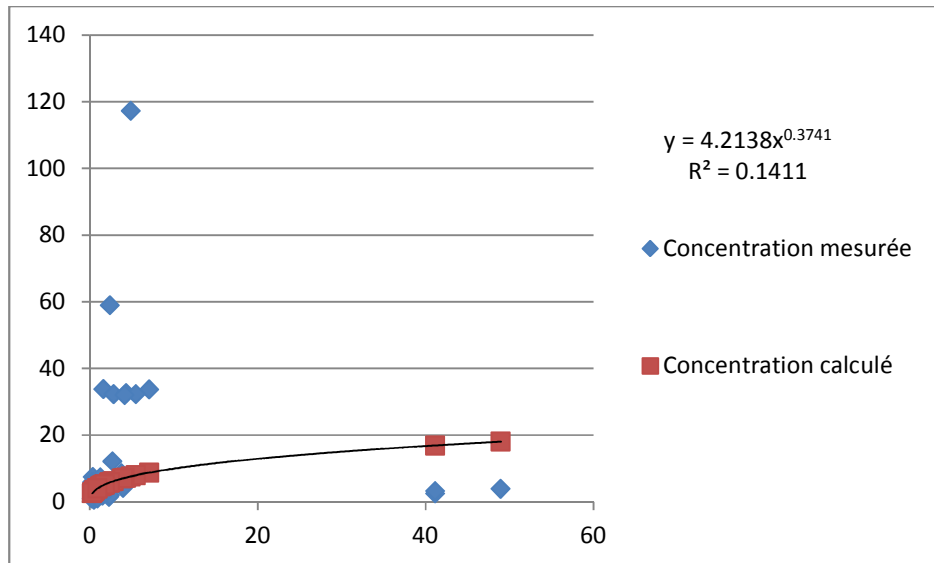


Figure V. 6: Evaluation des concentrations mesurées et calculées en fonction de débit ($C=f(Q)$) pour la station de EL ASNAM 150204 (Validation).

V.2.1 Résultats et discussion :

A partir des nuages des points qui représentent les concentrations des sédiments C et les débits liquides Q enregistrées au niveau des trois stations hydrométriques étudiées. En comparant les résultats de la relation $Q-C$ entre les concentrations mesurées et les concentrations calculées dans chaque une de ces stations. Pour les concentrations mesurées, les points sont irrégulièrement distribués le long de courbe de tendance (courbe puissance) par contre pour les concentrations calculées par le modèle en puissances qui sont régulièrement distribuées.

On doit calculer quelques paramètres qui sont montrés ci-dessous pour juger les résultats.

❖ Erreur d'estimation :

L'erreur d'estimation ou l'erreur de mesure c'est la différence entre les valeurs mesurées et les valeurs calculées, nous l'avons calculé avec la relation suivante :

$$\text{Erreur d'estimation} = \left(\frac{\sum \text{Apport solide calculé}}{\sum \text{Apport solide mesuré}} - 1 \right) * 100$$

Tableau V. 1: Erreur d'estimation moyen annuel dans les stations étudiées.

Statiion	Erreur d'estimation	
	Entrainement	Validation
EL ASNAM 150204	-23,4599841	15,0301853
TILESDIT 150106	-42,8549	6,82035726

❖ Coefficient de détermination R² :

Coefficient de détermination est une mesure de la qualité d'une regression.

Tableau V. 2 : Coefficient de détermination R² dans les stations étudiées.

Statiion	Coefficient de détermination R ²	
	Entrainement	Validation
EL ASNAM 150204	0,039	0,141
TILESDIT 150106	0,392	0,533

Les résultats de la modélisation avec le modèle en puissance et les coefficients de mesure montrent que ce modèle n'est pas valable dans tous les cas donc il ne nous donne pas des résultats satisfaites dans chaque station étudiée, plus le coefficient de

détermination est proche de un et l'erreur d'estimation est petit les résultats de la régression seront fiable, dans notre cas la valeur de coefficient de détermination maximale égale à 0,533 et l'erreur maximale égale à 49,64 % donc nous pouvons pas dire que ce modèle est fiable.

V.3 Modèle de réseau de neurones artificiel :

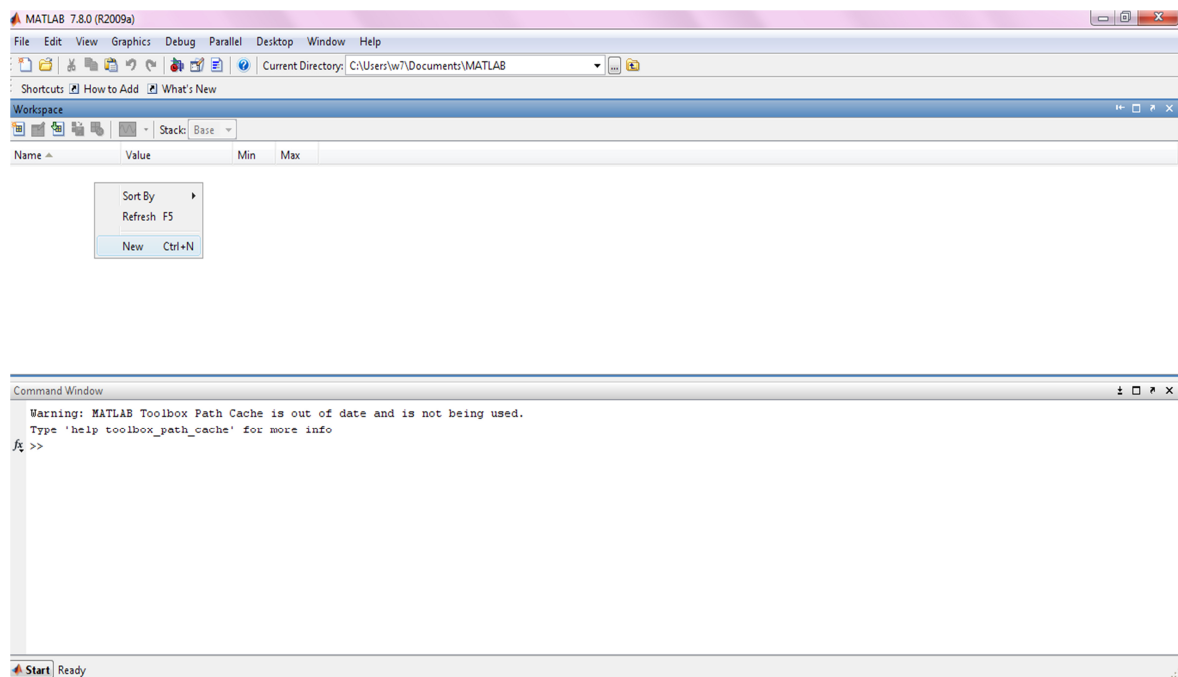
On utilise dans cette partie le logiciel MATLAB pour l'estimation des débits solides avec le modèle de réseau de neurones.

La plate forme MATLAB est optimisée pour résoudre les problèmes scientifiques et techniques. Son langage qu'est basé sur les matrices, permet d'exprimer les mathématiques computationnelles. Grâce à la vaste bibliothèque de boites à outils, nous pouvons commencer directement par les algorithmes essentiels à notre domaine. [19]

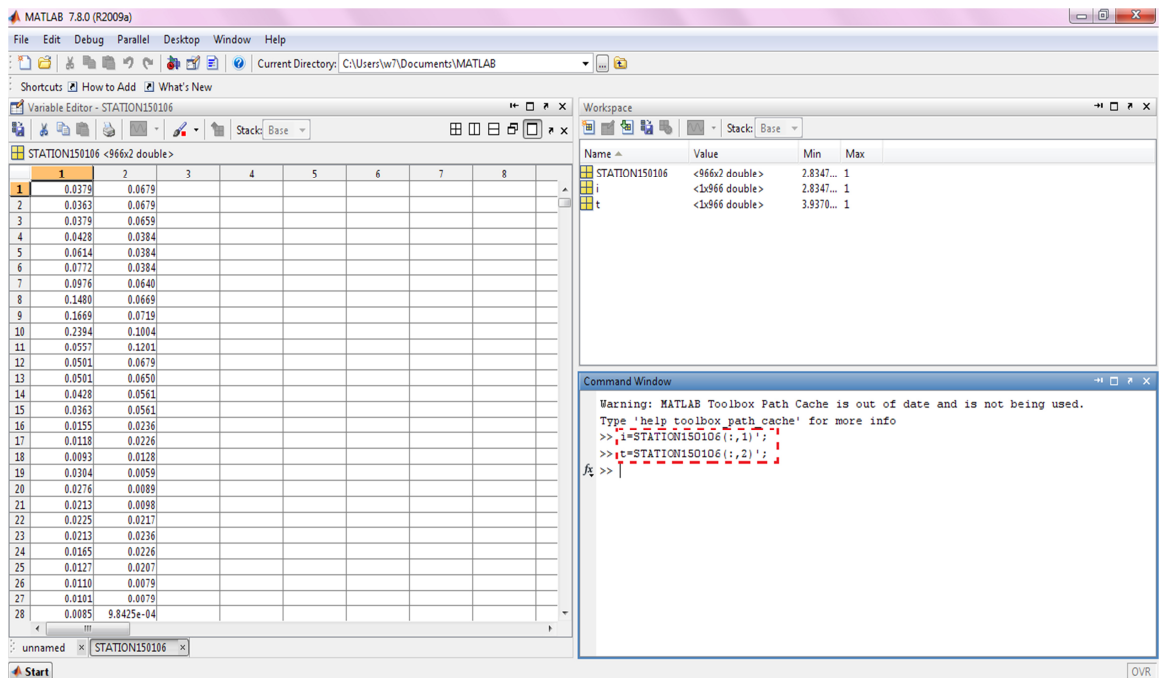
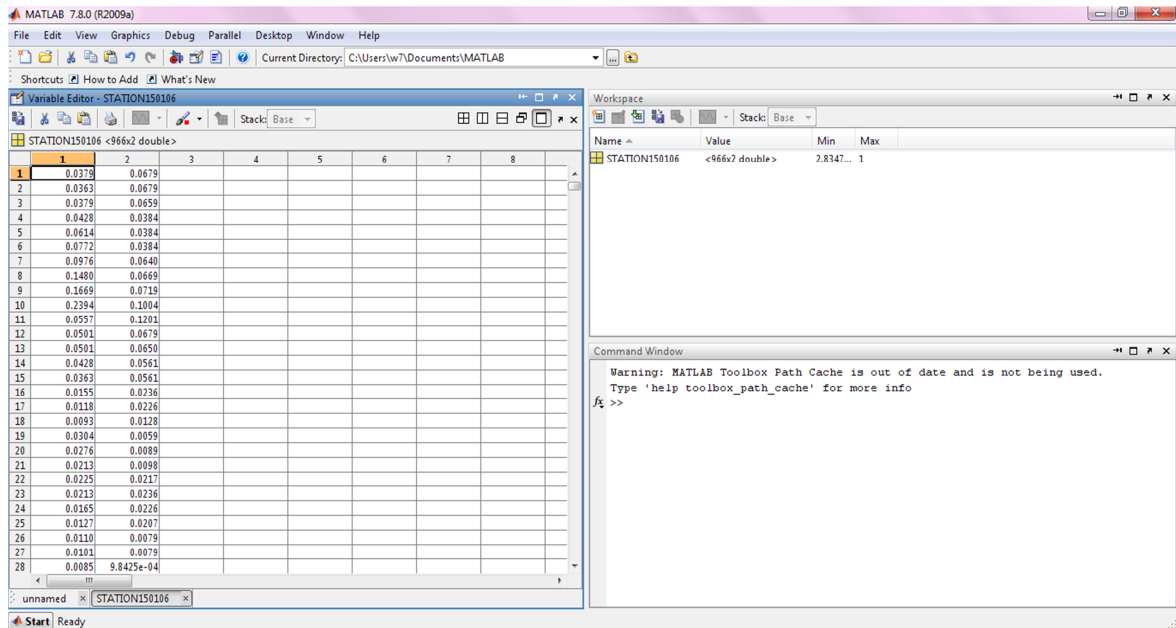
V.3.1 Les étapes de la modélisation :

Pour une modalisation fiable nous suivons ces étapes :

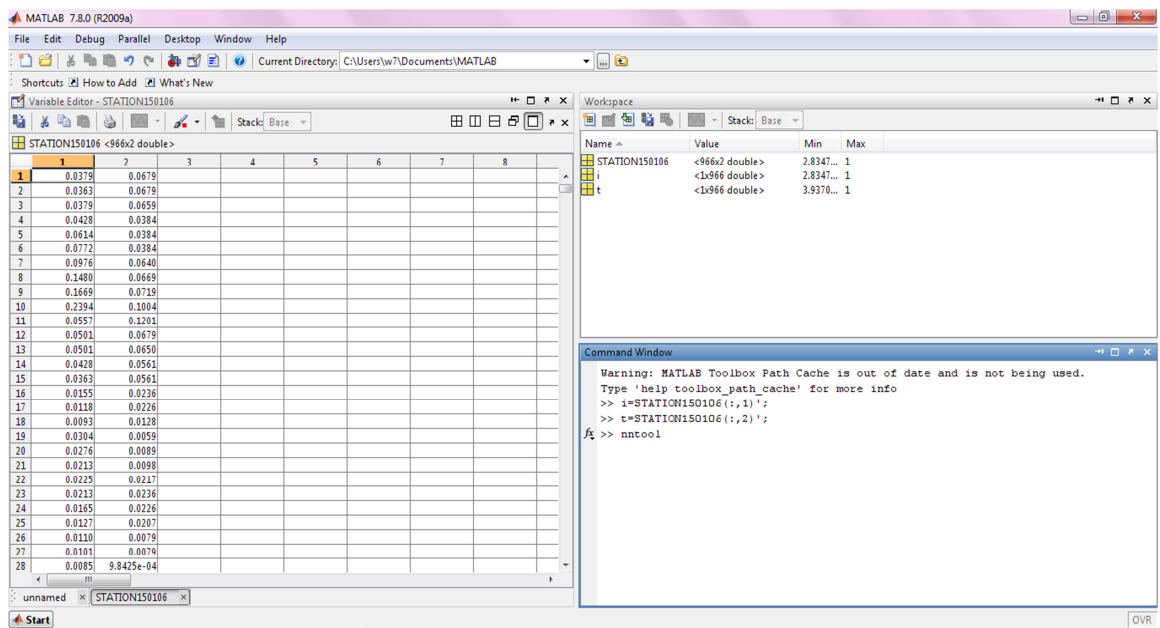
Ouvrir le MATLAB et crier un nouveau fichier.



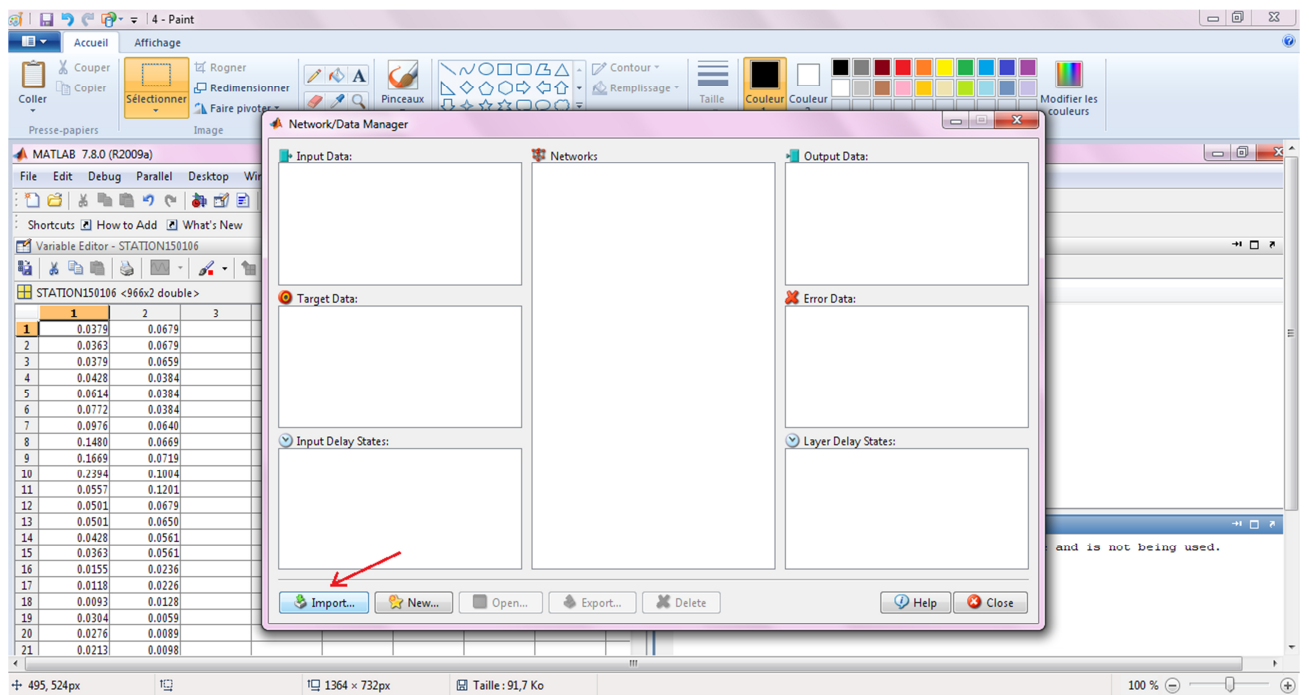
Entrer les variantes.

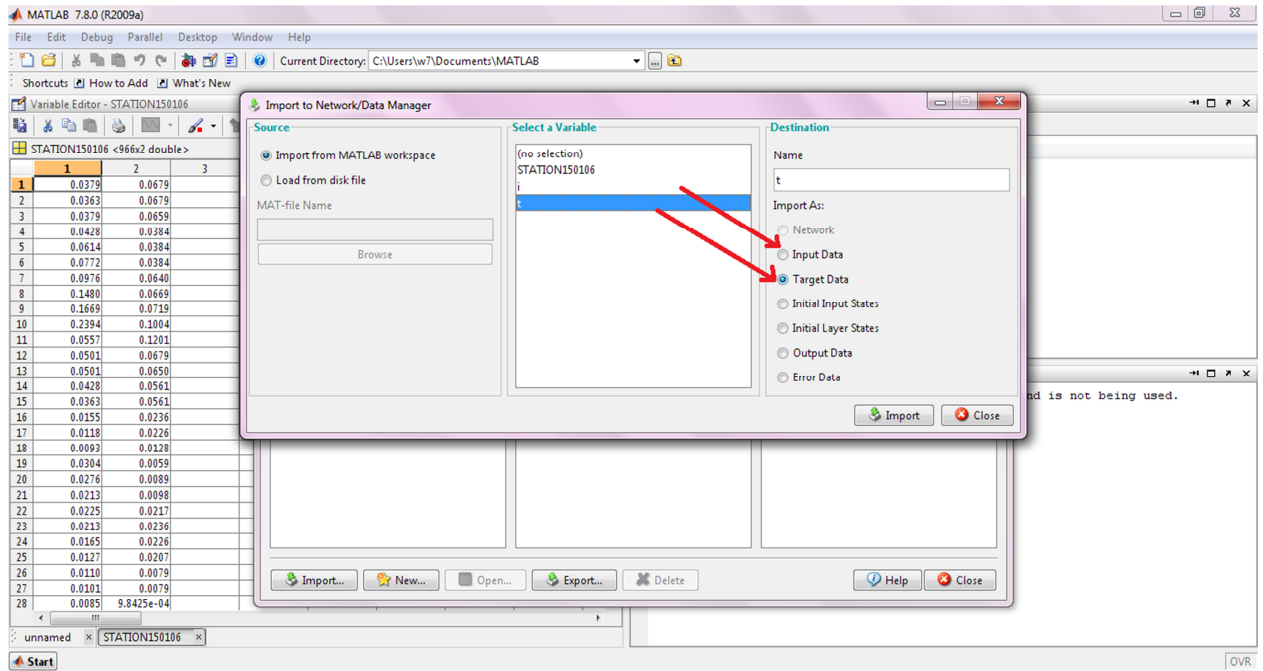


Taper ‘ ’ntool’ pour ouvrir la boîte d’outil

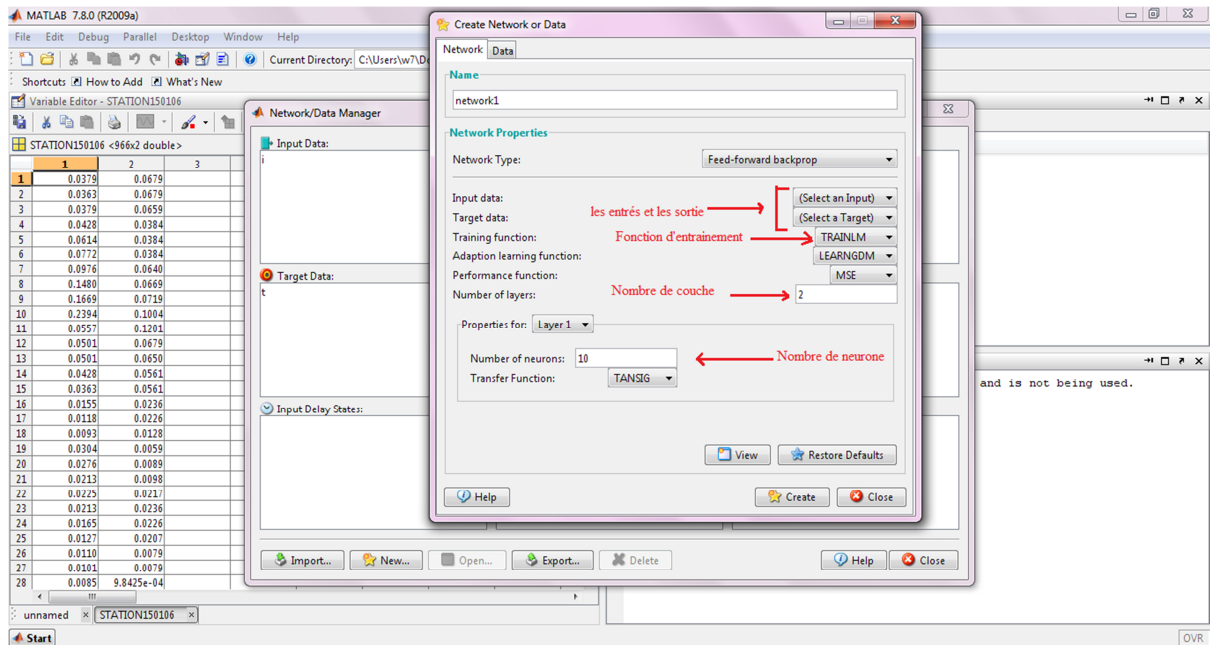


Clicker ‘ ’import’ pour importer les données de l’entré et de la sortie

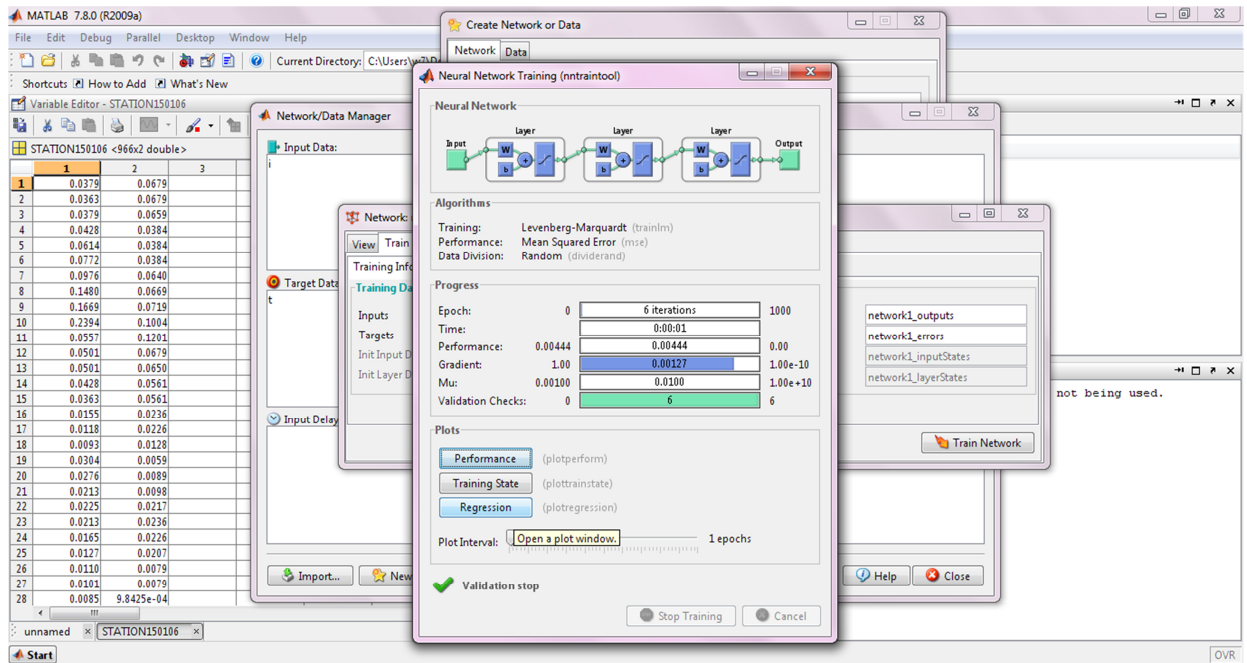




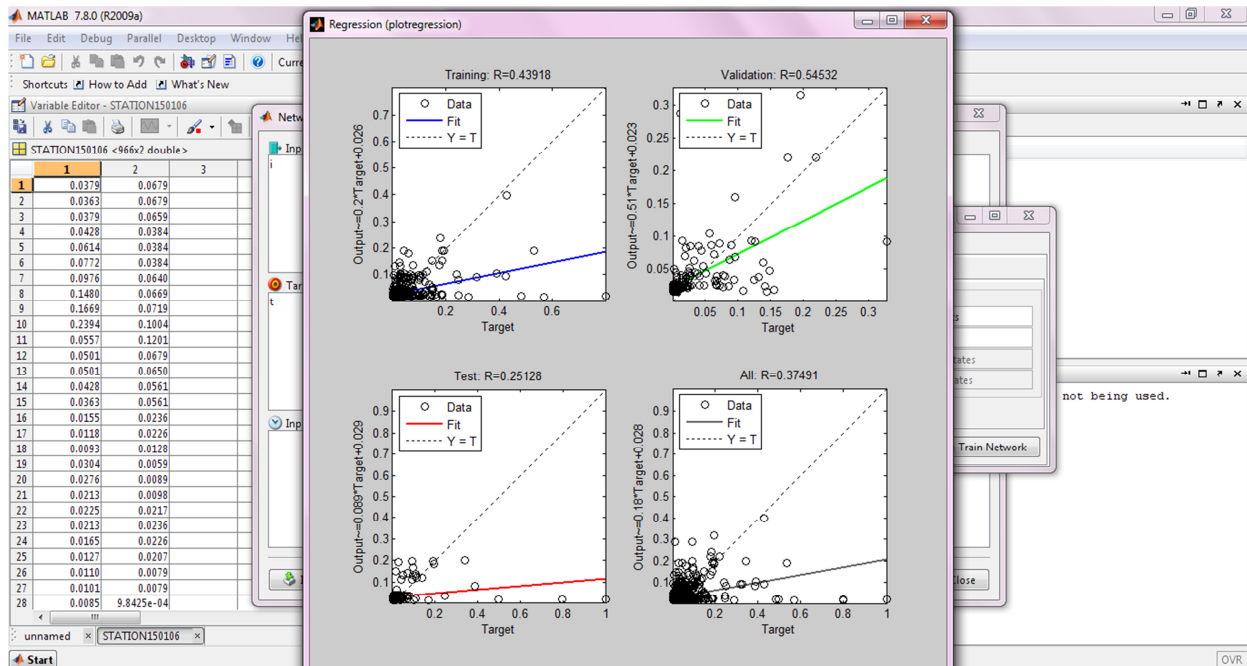
Taper ‘New’ pour crier une nouvelle data network et entrer les paramètres nécessaire



Le lancement de trrainement



Les résultats de trrainement



V.3.2 Résultats et discussion :

Dans cette partie de modalisation par les réseaux de neurone artificiel on change les fonctions puis on compare les résultats ‘‘ les paramètres ‘‘ dans chaque station.

Le tableau suivant résume les résultats de la modalisation.

Tableau V. 3: Les paramètres de modalisation par le réseau de neurone artificiel.

Les fonctions de trainement	Les paramètres	Les stations		
		EL ASNAM 150204	TILESDIT 150106	TASTA 150114
TRAINBFG	Nombre de couche	2	2	3
	Nombre de neurone	10	10	25/15
	Nombre d'itération	6	7	6
	R ²	0,407	0,337	0,366
	EMS	0,00427	0,00716	0,0032
TRAINBR	Nombre de couche	3	2	/
	Nombre de neurone	25/15	10	/
	Nombre d'itération	16	21	/
	R ²	0,414	0,354	/
	EMS	0,423	1,428	/
TRAINCGB	Nombre de couche	3	2	2
	Nombre de neurone	25/15	10	10
	Nombre d'itération	6	12	6
	R ²	0,430	0,297	0,363
	EMS	0,000248	0,0064	0,0030

❖ Le choix de fonction de trainement pour la modalisation :

Tableau V. 4: Le choix de fonction de trainement pour la modalisation par les réseau de neurones artificiel.

Les stations	Les paramètres						
	Les fonctions de trainement	Nombre de couche	Nombre de neurone	Nombre d'itération	R ²	Erreur d'estimation	EMS
EL ASNAM 150204	TRAINCGB	3	25/15	6	0,430	-81,8188516	0,000248
TILESDIT 150106	TRAINBR	2	10	21	0,354	-99,015748	1,428
TASTA 150114	TRAINBFG	3	25/15	6	0,366	-86,7020912	0,0032

V.4 La modélisation des débits solides :

Après la modalisation des débits solide avec deux modèles d'estimations, modèle en puissance et le modèle de réseau de neurone artificiel, On propose un histogramme présenter les résultats d'estimation dans les deux modèles.

❖ Station EL ASNAM 150204 :

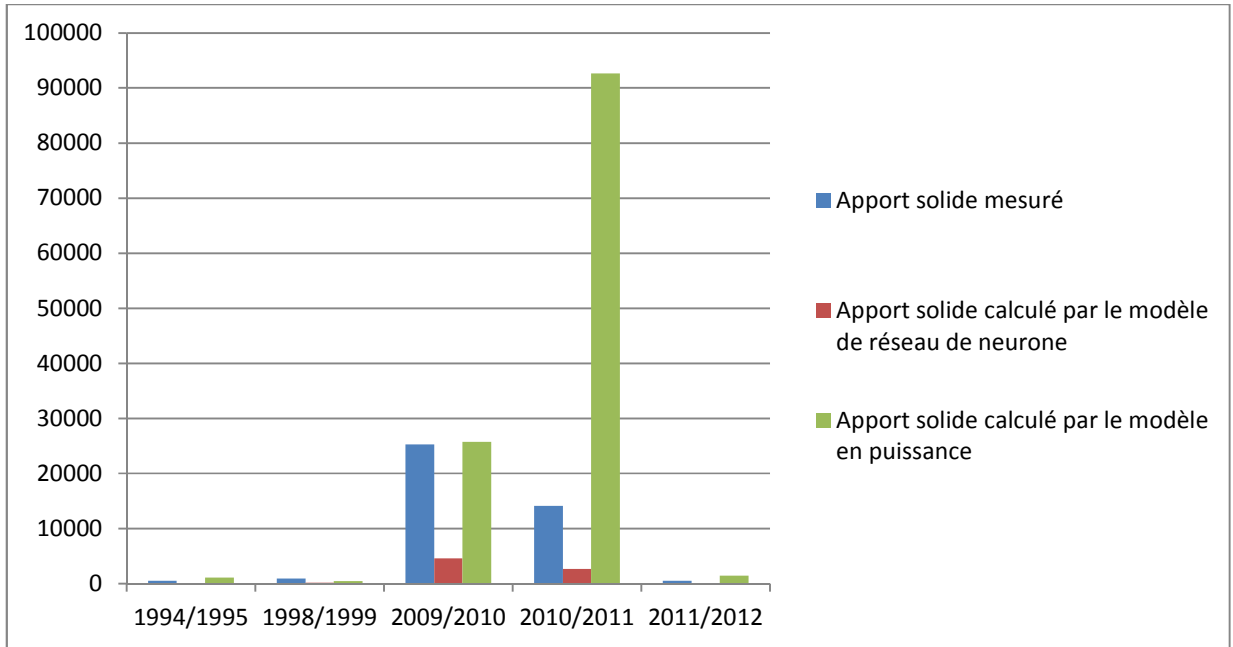


Figure V. 7: Evaluation des apports solides pendant les années de mesures dans la station d'EL ASNAM.

❖ Station TASTA 150114 :

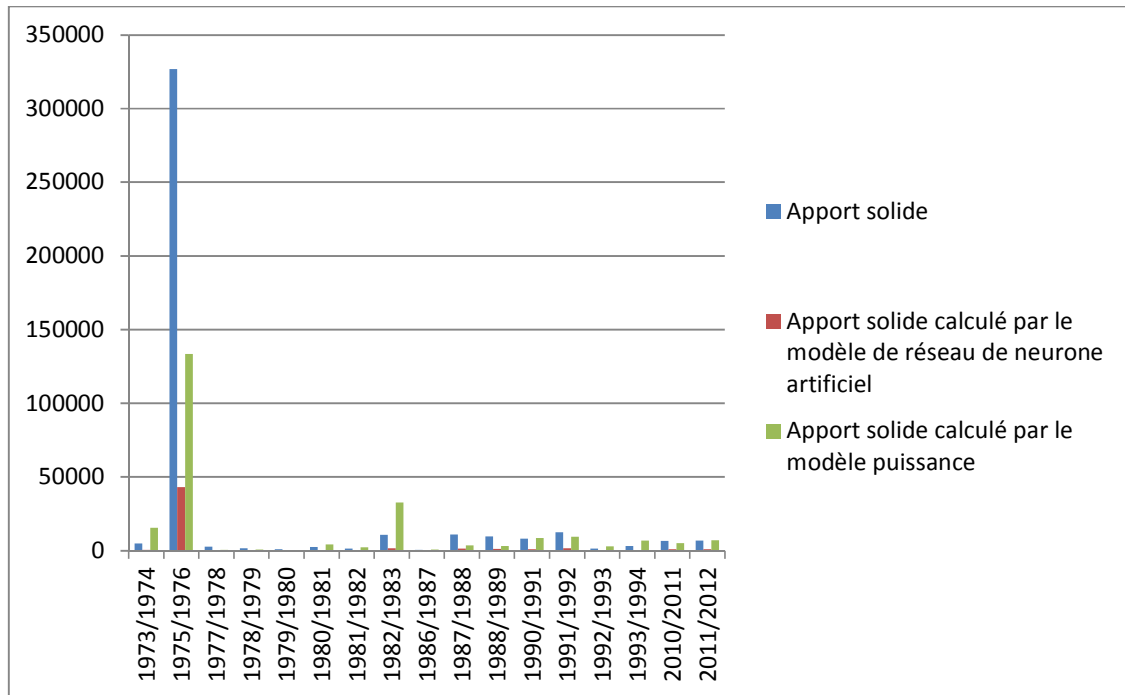


Figure V. 8: Evaluation des apports solides pendant les années de mesures dans la station de TASTA.

❖ Station TILESDIT 150106 :

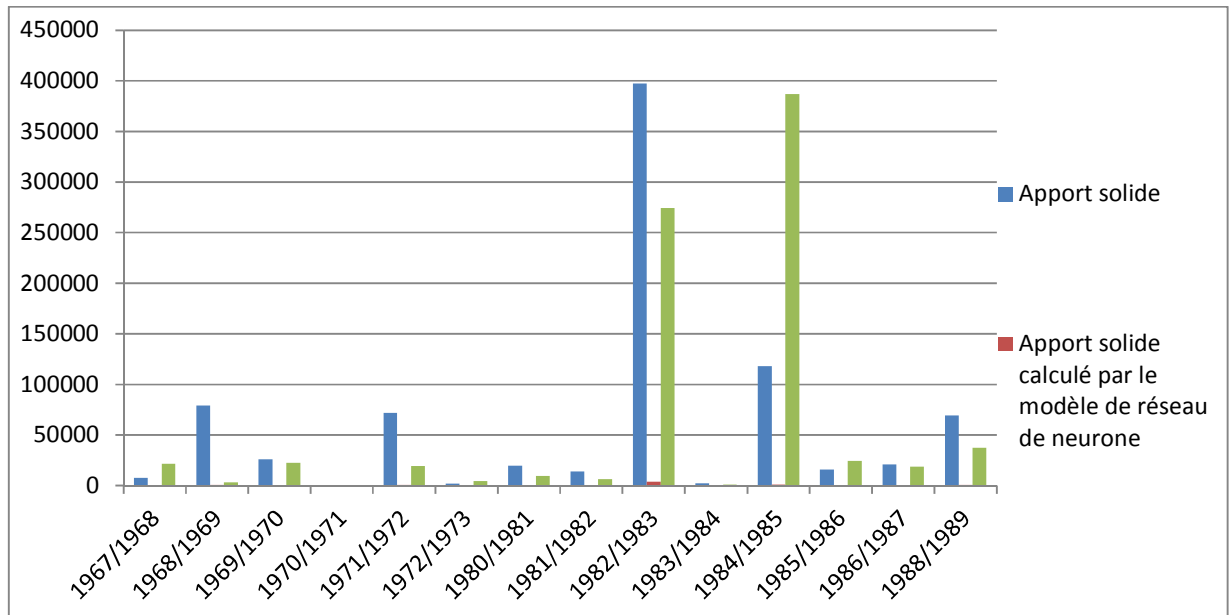


Figure V. 9: Evaluation des apports solides pendant les années de mesures dans la station de TILESDIT.

V.4.1 Résultats et discussion :

Les figures précédentes sont les apports solides calculés avec les différentes modèles d'estimation en fonction des années d'études pour chaque station. Ces histogrammes clarifient la différence entre les apports solide calculés dans les différents cas.

Selon les graphes, on vue que les résultats de la modélisation par le modèle en puissance sont les valeurs les plus proche aux valeurs mesurées donc ce modèle d'estimation est plus ajusté que le modèle de réseau de neurone.

V.5 Conclusion :

En conclusion, on peut dire que les modèles d'estimations sont des modèles appropriés pour l'estimation et l'analyse du transport solide dans un bassin versant.

L'analyse de régression dans notre chapitre a montré que le modèle en puissance retenu pour la mesure du transport solide est le plus ajusté par rapport l'autre modèle (le réseau de neurone), la variation des résultats est remarquable.

Conclusion générale

L'envasement et le transport solide, constituent un problème majeur dans les pays du Maghreb. L'érosion, le transport solide et la sédimentation sont les causes de la dégradation des sols agricoles et l'alluvionnement des retenues provoc de nombreux dégâts dont les coûts sont considérables. En Algérie, par exemple, les études d'aménagement hydromécaniques butent sur le problème de manque de données sur le transport solide afin d'évaluer son importance. Cela conduit l'Ingénieur a utilisé des méthodes empiriques disponibles pour évaluer les quantités solides transportées annuellement par le cours d'eau étudié.

Ce travail a fait pour l'objet d'une estimation quantitative du transport solide dans le bassin versant d'oued sahel.

Selon les objectifs visés et les difficultés rencontrées lors de notre investigation pour la modélisation du transport solide, on distingue trois niveaux de réflexions :

En premier lieu, deux modèles ont été testés ; l'un ancien et l'autre moderne utilisant un apprentissage neuronal à partir des débits observés des stations de bassin versant d'oued sahel très vulnérable aux transports solides.

Après avoir :

- ✓ définit le ruissellement, l'érosion, le transport solide, l'envasement des barrages et les différents types de mécanisme du transport solide dans le chapitre I ;
- ✓ La présentation de la région d'étude dans le chapitre II nous a permis de conclure que le comportement hydrologique du bassin versant de l'Oued Sahel est lié à plusieurs facteurs physique, lithologique, géomorphologique et hydraulique. Les principaux paramètres du milieu physique analysés dans ce chapitre fond du bassin.
- ✓ L'étude statistique des précipitations maximales journalières, les précipitations total annuel et estimer les écoulements liquide et solide dans le chapitre III;
- ✓ traité les différentes méthodes relatives à la mesure et l'estimation du transport solide dans le chapitre IV ;
- ✓ exposé des résultats des différents travaux antérieurs dans le chapitre V qui a permis de montrer que l'érosion et le transport solide sont des problèmes sérieux à l'échelle mondiale mais surtout au Maghreb et plus particulièrement en Algérie. L'analyse et la quantification du transport solide dans le chapitre V a montré que la fonction puissance de la courbe du transport solide est une méthode appropriée pour l'estimation et l'analyse du transport solide dans le bassin versant de l'Oued sahel.

Enfin, on a prouvé que l'application de ce modèle est bien fiable et pouvant l'utiliser pour bien gérer les ressources en eau dans les bassins versants et prévoir l'érosion et la charge sédimentaire qui affecte négativement à l'environnement des eaux.

Références bibliographiques

- [1] Prédiction de débit solide dans la période de crue par l'utilisation des réseaux de Neurones artificiels oued mekerra-Sidi Bel Abbes juin 2018.
- [2] Etude du transport solide en suspension dans le bassin versant d'oued ALABD université ABOU BEKR BELKAID –telmesen 2013-2014.
- [3] Contribution A l'étude prédictive de l'envasement et la durabilité du barrage du GHRIB Avril 2017.
- [4] Etude de la relation charge solide –débit liquide oued sikkak université telemesen 2017-2018.
- [5] 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, Mémoire de Magister, Université Aboubekr Belkaid, Tlemcen.
- [6] Etude du transport solide et la pollution dans le barrage de ZARDEZAS (skikda) université LARBI BEN M'HIDI-BOUAGHI -2014-2015.
- [7] Modalisation pluie –débit par logiciel HEC-MMS de sous bassin versant l'oued sahel 2015-2016 université de Msila.
- [8] Etude hydrologique cours réaliser par Ms dj.baloul (2ème années licence 2018) (3ème licence 2019-institut de technologie.
- [9] AGILLOT-PETRE la météo et ses secrets, Edition fernand Nathan France ,1982.

- [10] Technologie des eaux résiduaires production collecte traitement et analyses des eaux résiduaires Edition Springer verlag paris.
- [11] OULD KADDOUR Rawda, 2017 Etude de la relation charge solide-débit liquide Oued Sikkak.
- [12] Bouanani A. (2005): Hydrology and Sediment Transport Modelling. Study of Some Subbasins of Tafna (North West Algeria). [Ph.D. Thesis.] University of Tlemcen, Tlemcen. (In French).
- [13] Cherif, E.A., Errih, M. and Cherif, H.M., 2009. Modélisation statistique du transport solide du bassin versant de l'Oued Mekerra (Algérie) en zone semi-aride méditerranéenne. Hydrological sciences journal,
- [14] Matthieu de Linares. Modélisation numérique bidimensionnelle du transport solide et de la dynamique fluviale. Validation sur deux sites en Loire et sur l'Arc. Hydrologie. Université Joseph-Fourier - Grenoble I, 2007. Français.
- [15] Tachi Amina Bentradi Meriem, juin 2018 Prédiction De Débit Solide Dans La Période De Crue Par l'Utilisation Des Réseaux De Neurones Artificiels : Étude De Cas De l'Oued Mekerra - Sidi Bel Abbes - Algérie.
- [16] Maghnonif A. (2007), étude du transport du sédiment en suspension dans les écoulements de surface, la thèse de doctorat université Aboubekr Belkaid, Tlemcen.
- [17] Etude de transport solide en suspension dans le bassin versant d'oued Alabd université Abou Bekr Belkaid –telmesen 2013-2014.
- [18] Modalisation des transports solides par les modèles neuroflous –lefkir abdelouahab 2019 doctorat en hydraulique.

