



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة الجيلالي بونعاما بخميس مليانة

Université Djilali Bounaama de Khemis Miliana

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la terre

Département des sciences Biologiques

Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de Master

Domaine: Sciences de la Nature et de la Vie

Filière: Ecologie et environnement

Spécialité: Protection des écosystèmes

Thème

Essai de modélisation du transport solide sur

Les bassins versants du Haut Cheliff

• **Date de soutenance :** /10 /2020

présenté par :

Melle: Belhadj Nezha

Melle: Bouabdallah Madjeda

Devant les Membre de Jury :

Présidente: Mme Nabti Dj MCB UDBKM

Encadreur: Mr. Mehaiguene.M MCB UDBKM

Examineur: Mr. Amrani R. MAA UDBKM

Année universitaire: 2019/2020.

Remerciements

Avant tout, je remercie le bon Dieu qui a illuminé mon chemin et qui m'a donné la force, ainsi que la bonne volonté pour achever le cursus universitaire et ce modeste travail.

Au terme de cette étude qu'il me soit permis d'exprimer ma profonde gratitude envers tous ceux qui m'ont apporté leur aide.

Je tiens à remercier chaleureusement, Mon promoteur Mr :

MEHAIGUENE Madjid qui 'a bien voulu m'encadrer durant ce mémoire, et qui a assuré l'orientation scientifique de ce travail.

Je profite de l'occasion pour remercier tous mes enseignants de la première année jusqu'à maintenant.

Je tiens aussi à exprimer mes vifs remerciements à toutes les personnes qui m'ont aidé tout au long de mon travail.

Mon respect aux membres du jury qui me feront l'honneur d'examiner mon travail.

Enfin, un grand merci, à toute personne qui a contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.



Dédicace

J'ai l'honneur de dédier ce modeste travail à ma famille Belhadj et aux personnes

Les plus chères au monde mes chers parents :

A mon père :

Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être. Ce travail est fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation.

A ma très chère mère :

Tu es l'exemple de dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de

Prier pour moi.

Un grand dédicé spécial à mes frères Redhouane et Mohamed et leur femmes Salima et Wafaa et sans oublier mes sœurs Ahlem et Sarah et mes nièces et neveux Chiraz Oumnia Nourhane Adam Yanis Yail

A mes chères cousines Ilham Imene

Et A ma 2ème famille sont mes amies : Djihéné Hanane Sara Nour Bouchra Nesrine Chahla Imane Asma Hala Fatima Safa Najete

A mon promoteur Mr Mehaïguene Madjid pour ses conseils et ses consultations qui m'ont tout aidé à la réalisation de mon travail

A Mr Gadouma H et Mr Geundouz M et Mr Yahyaoui et tous mes enseignants je vous remercie pour votre aide et vos encouragements

A mon binôme Madjeda qui a partagé avec moi les moments difficiles de ce travail et sa famille.

Belhadj Nazha

Dédicace

Avant tous, je remercie ALLAH de m'avoir donné le courage et la volonté nécessaires pour atteindre mon travail.

Je dédie ce modeste travail :

A l'homme de ma vie mon cher père Allah yarhmo , Ce travail est le fruit de tes sacrifices que vous avez consentiez pour mon éducation et ma formation. Vous resterez dans mon cœur, que Dieu vous accueille dans son vaste paradis.

A l'être le plus cher à mon cœur, celle qui m'a donné la vie, qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite, Tu es l'exemple de dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de Prier pour moi, à ma mère que Dieu le garde et le protège.

A mon fiancé RACHID pour ses encouragements et son aide considérable.

A mes adorables sœurs RIMA et IMENE pour leur amour, leur patience et leurs encouragements que Dieu les protège.

A mes chers frères, MERDINE, KADIRO, SIDALI.

A mes chers neveux, KHALIL, IYAD, MOHAMED, RASSIM et RAHMA que Dieu vous protège.

A mon binôme NEZHA et sa famille.

A mon promoteur Mr MEHAIGUENE MADJID pour ses conseils et ses consultations qui m'ont tout aidé à la réalisation de mon travail.

A toute ma famille.

A tous ceux que j'aime et à tous ceux qui m'aiment.

A tous les étudiants de la promotion Master protection de l'environnement.

2019 /2020

Bouabdallah Madjeda

Résumé

Actuellement, le phénomène de l'érosion devient de plus en plus important dans les bassins-versants algériens. L'érosion hydrique est la forme la plus répandue dans les bassins algériens. Elle dépend de la résistance des sols et de l'agressivité climatique. L'intensité de l'érosion se produit principalement en période de crue, où une quantité importante de sédiments est produite par les bassins. L'érosion, le transport des sédiments et la sédimentation sont la cause de la dégradation des sols agricoles, de l'envasement des barrages et des dommages portés aux infrastructures dont les coûts sont considérables.

La modélisation hydrologique joue un rôle primordial pour étudier le comportement du bassin versant sous l'influence des événements pluvieux pour de périodes de retour bien définies. Le transport des sédiments est toujours lié à un volume d'eau ruisselé

Le but de cette étude est de connaître les facteurs explicatifs des processus d'érosion et de tenter de modéliser le transport solide dû à l'érosion hydrique.

Mots clés : Transport solide en suspension, débit liquide, débit solide, modélisation, Haut Cheliff.

Abstract

Nowadays, erosion phenomenon is becoming increasingly important in the Algerian catchment basins. Hydric erosion is the most extensive form in the Algerian basins. It depends on the soils resistance and climate aggressivity. Erosion intensity occurs mainly when there are floods, where a significant amount of sediments is being generated by the basins. Erosion, sediment transport and sedimentation are the cause of the degradation of agricultural soils, siltation of dams and damaged substructures the costs are considerable.

Hydrological modeling plays a key role in studying of the catchment behavior under the influence of rain events for well-defined return periods. Sediment transport is always linked to a volume of runoff water.

The objective of this study is to determine the factors involved in the processes of erosion and to attempt to develop models for sediment transport due to water erosion

Key words: Solid suspended transport, liquid flow, solid flow, modeling. High Cheliff

الملخص

في الوقت الحالي، تزداد أهمية ظاهرة الانجراف في مستجمعات المياه. التعرية المائية هي الشكل الأكثر شيوعاً في الأحواض الجزائرية. يعتمد على مقاومة التربة وقساوة المناخ. تحدث شدة التعرية بشكل رئيسي خلال فترة الفيضان، عندما تنتج الأحواض كمية كبيرة من الرواسب. يعتبر التعرية، ونقل الرواسب، والترسب من أسباب تدهور التربة الزراعية، وتراكم الطمي في السدود، والأضرار التي لحقت بالبنية التحتية، والتي تكلفتها كبيرة تلعب النمذجة الهيدرولوجية دوراً رئيسياً في دراسة سلوك مستجمعات المياه تحت تأثير أحداث المطر لفترات العودة المحددة جيداً. يرتبط نقل الرواسب دائماً بحجم المياه الجارية. يعتمد عملنا على التنبؤ بالجريان السطحي وقدرته على توليد نقل فعال للرواسب

الكلمات المفتاحية: النقل المعلق الصلب، التدفق السائل، التدفق الصلب، النمذجة، الشلف الأعلى.

Liste des abréviations



Liste des abréviations

ABH : Agence du Bassin Hydrographique.

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydriques.

DSA : Direction des services agricoles.

INA : Institut national agronomie

ONID : Office national de l'Irrigation et du drainage.

Es : érosion spécifique

Dd : densité de drainage

Ig : indice de pente globale.

S : superficie.

Qi : Débit instantané

Qs : Débit solide.

Ql : Débit liquide.

C : Concentration

R²: coefficient de détermination.

Liste des figures

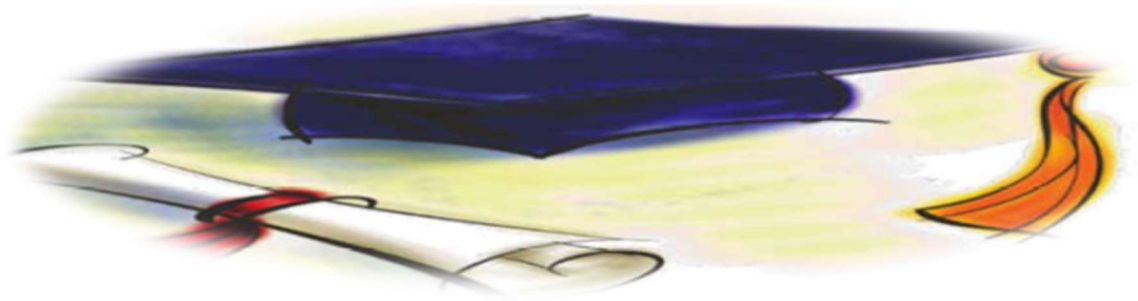


Liste des figures

Figure 1: érosion en nappe ..	6
Figure 2: érosion en griffes ..	7
Figure 3 : Formation d'une ravine au niveau du bassin versant d'Oued Fodda.....	7
Figure 4: schéma représentatif du processus de l'érosion hydrique ..	8
Figure 5 : rôle de la couverture végétale sur le ruissellement ..	9
Figure 6: différents modes du transport solide ..	15
Figure 7: schéma et processus simplifiés des écoulements ..	17
Figure 8: schémas des problèmes posés par l'envasement.....	18
Figure 9: schémas des problèmes posés par l'envasement.....	18
Figure 10 : processus d'envasement d'un barrage réservoir ..	20
Figure 11 : Etapes de la construction d'un modèle hydrologique ..	28
Figure 12: Carte de localisation du Bassin versant du Haut Cheliff.	30
Figure 13: Carte des sous bassin du haut et du moyen Cheliff.	32
Figure 14: Carte des sous bassin du haut et du moyen Cheliff.	34
Figure 15: Variation des précipitations moyennes à la Haute-Cheliff-Harraza (1990-2015).	36
Figure 16: Diagramme Ombrothermique de la haut Cheliff- Harraza (1990-2015).	36
Figure 17: Réseau hydrographique de la Plaine de Khemis Miliana ..	37
Figure 18: Localisation des stations hydrométriques du bassin haut et moyen Cheliff ..	39
Figure 19: Carte Géologique du Haut Cheliff ..	39
Figure 20: Relations débits solides en fonction des débits liquides à l'échelle annuelle aux déférentes stations étudiées ..	52
Figure 21: Relations débits solides en fonction des débits liquides à l'échelle saisonnière pour les stations Marabout Blanc et Bir Ouled Tahar.	54
Figure 22: Modèles mensuelles entre les débits solides et les débits liquides ..	57
Figure 23: variation de l'écoulement du transport solide annuel en fonction de la surface ..	59
Figure 24: Apports liquides et solides annuels de l'oued Sebdou à Beni Bahdel ..	60
Figure 25: Apports liquides et solides mensuels d'oued Sebdou à Beni bahdel ..	61
Figure 26: Répartition Saisonnière des apports liquides et solides de l'oued Sebdou à Beni <i>Bahdel (1985/98)</i> ..	62

Figure 27: Relations débits solides en fonction des débits liquides dans le sous bassin d'oued
Sebdou..... 63

Liste des tableaux



Liste des tableaux

Tableau 1: quelques modèles utilisés en algérie	27
Tableau 2: Caractéristiques morphométriques des bassins versants de la région d'étude.	31
Tableau 3: représente les températures moyennes en (°C) et les précipitations moyennes en (mm). (1990-2015) à la Haute-Cheliff Harraza..	35
Tableau 4 : Caractéristiques des stations hydrométriques situées dans le bassin du Haut et du Moyen Cheliff.....	37
Tableau 5: comportement hydrogéologique des différentes formations de la plaine du Haut Cheliff	40
Tableau 6: données collectées des débits liquides et débit solide dans la station 11702.....	44
Tableau 7: paramètres statistiques des variables (concentration, débit liquide, débit solide)..	47
Tableau 8: paramètre des modèles saisonniers	56
Tableau 9: Apports liquides et solides moyens mensuelles à oued sebdou (période 1985/98)	60
Tableau 10: Apports liquides et solides moyens saisonniers à oued Sebdou (Période 1985/98)	62
Tableau 11: Paramètre de la relation débit solide – débit liquide	63
Tableau 12: paramètre des modèles saisonniers trouvés pour les bassins de Sebdou,	64
Tableau 13: Modèles saisonniers reliant les débits solides aux débits liquides pour les bassins	65

Sommaire

Remerciement	
Dédicaces	
Résumé	
Liste des abréviations	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Table des matières	
Introduction générale	

Chapitre I : Etude Bibliographique

I Introduction.....	4
I .1.Erosion	4
I.1.2.Differents Types D'erosion.....	5
I.1.3.Les Formes De L'erosion Hydriques	6
I.1.4.Processus De L'erosion.....	7
I.1.5.Les Causes et les Consequences De L'erosion Des Sols	13
I.2.Le Transport Solide.....	13
I.2.2.Modes De Transport.....	14
I.2.3.Origine Des Materiaux Transportent.....	15
I.2.4.Caracteristiques Des Materiaux Transportent	16
I.2.5.Problemes Lies Au Transport Solide	17
I .3.Envasement Des Barrages.....	17
I.3.1.Problemes Poses Par L'envasement	17
I .3.2.Mecanisme De L'envasement	19
I.3.3.Actions De Lutte Contre L'envasement Des Barrages	20
I .4.Les Crues	21
I.4.1.Les Causes De La Crue	21
I.4.2.Facteurs Aggravant Les Crues	22
I.4.3.Le Processus De Formation Des Crues	22
I.4.4.Les Types De Crues	23
I.4.5.Les Differentes Crues.....	24
I.5. La Modelisation Hydrologique	24
I.5.1.Les Modeles	25
I .5.2.Classification Des Modeles.....	25

I.5.3.Le Choix De Modele	26
I.5.4.Modeles Hydrologiques De Bassin Versant.....	27
I.5.5.Etapes De La Mise En Œuvre D'un Modele Hydrologique.....	27
I.5.6.Interets Et Enjeux De La Modelisation	28

Chapitre II : Présentation de La Zone d'étude

II.1.Situation Geographique	30
II.2. Caracteristiques Morpho Metriques	31
A. Morphologie :.....	32
II.3.Population et Demographie	32
II.4. Agriculture.....	33
II.5.La Lithologie du Bassin Versant	33
II.6.Pedologie	33
II.7.L'occupation des Sols.....	33
II.8.Caracteristiques Hydro Climatologiques.....	34
1. Climatologie	34
2. Pluviometrie	35
3. La Temperature	36
II.9.Reseau Hydrographique :	37
II.10.Stations Hydrometriques Du Bassin Du Haut Cheliff.....	37
II.11.Geologie Et Hydrogeologie	39
1.Geologie.....	39
2.Hydrogeologie.....	40

Chapitre III : Matériel et Méthodes

III.1. Collecte Et Depouillement De Donnees	42
III 1.2.Estimation Des Apports Solides :.....	43
III 2. Methodologie	43
III.3. Materiel	43
III.4. Methode De Travail	44
III.5. Mise En Forme Et Traitement Des Donnees.....	46
III 6. Etude Statistique.....	46

Chapitre IV : Discussion et Résultats

IV.1. Établissement De Regression Entre Debit Liquide Et Debit Solide	50
IV.1.1. Échelle Annuelle	50
IV.1.2. Echelle Saisonnier	53
IV.1.3. Échelle Mensuelle	56
IV.2. Calcul les Apports	59
IV .2.1.Les Apports Annuels	59
IV .2.2.Variabilite Interannuelle Des Apports Solides	59
IV.2.3.Apports Mensuels	60
IV .2.4.Apports Saisonniers.....	61
IV.3.Analyse Du Transport Solide	62
IV 3.1.Analyse Des Debits Instantanees	62
IV.3.2 : Analyse Saisonniere	63
IV 4.Interpretation	65
Conclusion générale.....	68
References Bibliographiques.....	71

Introduction générale



Introduction Générale

Le problème de transport solide dans les cours d'eau est l'un des problèmes les plus importants de l'hydraulique fluviale (Zoubir .A, 2007)

En Algérie septentrionale, les conditions physiques, géomorphologiques, hydro climatiques et socioéconomiques sont particulièrement favorables au déclenchement et à l'accélération du phénomène de transport solide. (Megueni. K, 2008)

Le processus du transport des matières solides en suspension dans les bassins versants est complexe. Il se fait principalement en période de crue et il est étroitement lié à l'intensité des précipitations, à la configuration du bassin versant et aux caractéristiques hydrauliques du cours d'eau. (Bouanani .A, , 2004 ,)

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

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

En Algérie, l'évaluation des apports solides, à l'échelle du réseau national, est à ce jour, fondée sur l'analyse des échantillons classiques prélevés des cours d'eau consolés au niveau des stations hydrométriques. Ce moyen d'estimation est pratiquement soumis à plusieurs contraintes (instrumentale, accidentelle et même méthodologique) toutefois l'estimation de transport solide, soit elle est faite directement à partir des données observées, soit en développant des modèles reliant le débit solide au débit liquide et ce pour la quantification du transport solide. (Bouanani .A, 2004)

Les sédimentations dans les retenues de barrages sont un problème hydraulique le plus complexe qui menace les réservoirs dans le monde et principalement au Maghreb.

Suite à la forte érosion hydrique dans les bassins versants, des quantités considérables des sédiments sont drainées directement dans les retenues de barrages. Ces dépôts posent des problèmes aux barrages, tel que la déstabilisation de la digue, la diminution du volume utile d'eau de stockage, l'obturation des pertuis de vidange et le colmatage des canaux d'irrigation.

Introduction Générale

Particulièrement l'Algérie souffre de ce dépôt des sédiments au niveau des réservoirs, entraînant des pertes de capacité importantes, ce phénomène pouvant s'exprimer par l'accumulation des particules fines lors des crues causés par les pluies torrentielles. (KARROUR. MALIKA, 2019) L'objectif principal de cette étude sera la quantification du transport solide et les e analyse statistique d'échantillons à l'exutoire du bassin, à partir des débits liquides moyens journaliers. Ainsi, notre document est divisé en quatre (04) chapitres distincts :

- 📄 Le premier chapitre de cette étude présente brièvement des généralités sur l'érosion et le transport solide,
- 📄 Le deuxième comprend l'étude de la région, sa situation géographique.
- 📄 Le troisième chapitre consiste à la collecte et le traitement des données.
- 📄 Enfin le quatrième chapitre nous discutons les résultats finaux de travail

Ce travail est entamé par une introduction générale et se termine par une conclusion générale.

Chapitre I : Etude Bibliographique



I Introduction

L'érosion du sol est un processus au cours duquel des particules de sol sont détachées et déplacées par un vecteur (eau, vent, travail du sol) (Poesen, 1994) . Elle est dite naturelle ou géologique lorsqu'elle correspond plus ou moins à un état d'équilibre entre la formation (pédogenèse) et le transport des particules meubles.

L'érosion hydrique est la principale forme de dégradation dans les zones semi-arides et les régions subhumides sèches, tandis que l'érosion éolienne domine dans les zones arides. En Afrique, on estime que 500 millions d'hectares ont subi une dégradation depuis les années 1950 environ, portant sur 65% des terres agricoles de la région. La dégradation des terres concerne quelque 300 millions d'hectares en Amérique latine. En Europe, 157 millions d'hectares souffrent de l'érosion hydrique et éolienne. En Amérique du Nord, environ 95 millions d'hectares sont touchés (FEM et FIDA, 2002).

I.1.Erosion

L'érosion est définie comme étant le détachement des fragments ou des particules de sol ou de roche, de leurs positions initiales par l'eau et par d'autres agents géologiques, tels que, le vent la glace, etc.

Dans un bassin versant, cet arrachement des particules sédimentaires de leurs emplacements d'origine, leur déplacement et leur dépôt, dépendent de nombreuses caractéristiques. Ces dernières peuvent être soit physiques, soit hydrologiques et sont fortement interpellant :

- ✚ Les caractéristiques physiques sont définies essentiellement par : le relief, la nature géologique du sol, la végétation, l'occupation des terres et la morphologie du réseau de drainage.
- ✚ Les caractéristiques hydrologiques sont liées aux facteurs climatiques, tels que, la précipitation et la température. Le volume et l'intensité des précipitations jouent un rôle important dans le processus érosif, par suite de leurs effets dans la dynamique de détachement des particules par l'écoulement. (Mehdi.Houaria, 2014-2015)

Le phénomène d'érosion est très répandu dans la zone méditerranéenne, il touche particulièrement les pays du Maghreb, dont il menace gravement les potentialités en eau et en sol (Mehdi.Houaria, 2014-2015)

I.1.2. Différents types d'érosion

I.1.2.1 Erosion Eolienne

Agissant sur un sol meuble desséché, le vent enlève dès les éléments fins. Sont enlevés par le vent. Grâce à un vent léger en été lève verticalement du sol des spirales de poussière s'élevant verticalement du sol sous ayant l'aspect d'une colonne de fumée (Megnonif, 2007)

I.1.2.2. Erosion Aratoire Ou Mécanique Sèche

Ce phénomène d'érosion n'est pas dû à l'intervention de l'eau, c'est le travail du sol qui arrache les particules, les transporte et les dépose soit en bas de parcelle, soit en talus.

I.1.2.3. Erosion Hydrique

L'érosion hydrique est composé d'un ensemble de processus complexe et interdépendant qui provoquent le détachement des particules de sol, c'est la perte du sol due à l'eau qui arrache et transporte la terre vers un lieu de dépôt (Rosse.E)

I.2.3.1. Origine et Mécanisme

A. Origine

La pluie et le ruissellement superficiel sont à l'origine de l'arrachage du transport et du dépôt de la terre enlevée. L'arrachage est due à la fois aux gouttes d'eau (par rejaillissement) et aux eaux de ruissellement et le transport est assuré par ces eaux (Hadidi., 2008)

B. Mécanisme

Erosion par l'impact (splash)

Les sols subissent un martèlement considérable causé par les gouttes de pluie. Les premières gouttes s'infiltrent dans le sol d'autant plus aisément, cette première phase s'accompagne d'un déplacement des particules, lorsque la couche superficielle s'humidifie, trois processus se développent simultanément:

- ❖ La dégradation de la structure.
- ❖ La formation d'une pellicule de battance.
- ❖ L'érosion par splash ou érosion par rejaillissement (Hadidi., 2008) .

Érosion par ruissellement

Le ruissellement agit sur le sol par des actions de détachement et de transport (Hadidi., 2008)

Les formes d'érosions hydriques :

Erosion en nappe

L'érosion en nappe agit sur la surface du sol. Elle provoque une usure homogène la quelle dans beaucoup de cas n'est pas perceptible. Si non, elle se manifeste par déchaussement des cailloux, des herbes, des plantes, etc.

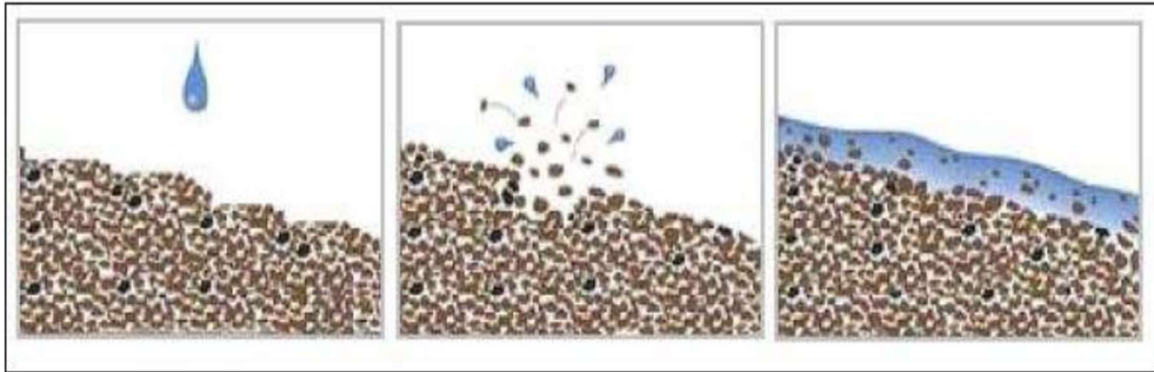


Figure 1: érosion en nappe . [Http://www.agirpouurladiable.org/html/do_erosion.html](http://www.agirpouurladiable.org/html/do_erosion.html).

I.1.3. Les formes de l'érosion hydriques

I.1.3.1. Erosion linéaire, en griffes ou en rigoles

Ce type d'érosion intervient à la suite du ruissellement. Dans un premier temps, des flaques se forment. En débordant, les flaques communiquent entre elles et des lignes d'écoulement limitées dans l'espace apparaissent selon la ligne de plus grande pente: selon la profondeur de ces lignes, le vocabulaire employé est différent (Hadidi., 2008)

I.1.3.2. Erosion en ravines :

Une évolution de l'érosion en rigoles peut conduire à l'érosion en ravine. Les rigoles sont appelés ravins lorsqu'ils s'étendent au point de ne pouvoir être comblés par les opérations normales de travail du sol, ou lorsqu'ils deviennent nuisibles au travail du sol (Hadidi., 2008).



Figure 2: érosion en griffes (source <http://www.ma.auf.org/erosion/chapitre1>)



Figure 3 : Formation d'une ravine au niveau du bassin versant d'Oued Fodda

I.1.3.3.Erosion des berges

C'est une érosion verticale dont le mécanisme se fait par l'eau qui attaque des berges des cours d'eau, en provoquant leur effondrement, c'est l'ablation des matériaux des berges des cours d'eau par déplacement latéral du lit par suite de l'affouillement des rives (Hadidi., 2008).

I.1.4.processus de l'érosion

L'érosion hydrique est le résultat d'une succession de trois processus complémentaires, ils sont résumés selon George (2008) comme suit :

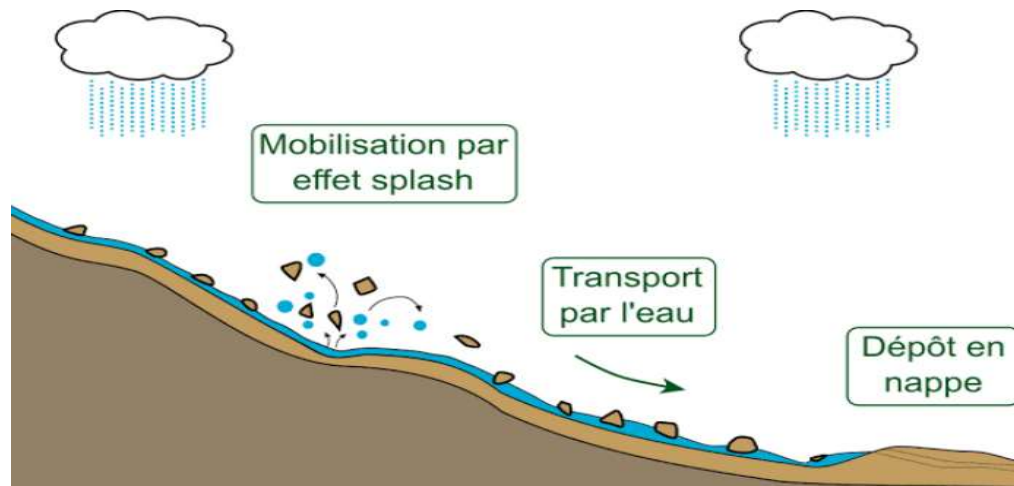


Figure 4: schéma représentatif du processus de l'érosion hydrique

<http://www.agirpouurladiable.org/> http://www.agirpouurladiable.org/html/do_erosion.html.

I.1.4.1. Detachement

Le détachement des particules se produit à la surface du sol lorsque, sous l'action des gouttes de pluie, des agrégats s'éclaboussent ou lorsque la force de cisaillement du ruissellement devient supérieure à la résistance au détachement du sol (GEORGES, 2008).

I.1.4.2. Transport

Les particules issues de la dissociation, grossières ou fines, sont ultérieurement déplacées vers l'aval sous l'action de la gravité. Certaines, comme les cailloux et les blocs d'éboulement, tombent directement. D'autres, les plus fines, sont véhiculées par un agent de transport, généralement l'eau. La force du véhicule règle naturellement la taille des sédiments ; le vent ne pouvant déplacer que les poussières et les fines graines de sable, tandis que les torrents charrient du sable, du gravier et des galets (GEORGES, 2008).

I.1.4.3. Dépôt

Il s'effectue lorsque l'énergie cinétique qui déplace les matériaux issus du détachement diminue ou s'annule (GEORGES, 2008).

I.1.5. Facteurs de l'érosion hydrique

I.1.5.1. Facteur topographique

La topographie du sol joue un rôle important dans le transport érosif, (GEORGES, 2008) admet que l'érosion moyenne par unité de surface croît avec la longueur de la pente et l'explique par le fait que les pentes les plus longues permettent une plus forte accumulation du ruissellement, ce qui accroît l'énergie globale de celui-ci et favorise le détachement et le transport des particules du sol.

I.1.5.2. Facteur climatique

La pluie est un facteur majeur provoquant l'érosion, l'érosivité dépend surtout de l'intensité de pluie ou de l'énergie cinétique qui en résulte directement (GEORGES, 2008).

La cause principale de l'érosion hydrique c'est la pluie torrentielle. L'efficacité de la pluie vis-à-vis des processus d'érosion est liée aux rôles qu'elle a dans l'arrachement des particules et leurs ruissellements (GEORGES, 2008).

La lame d'eau en mouvement le long des versants se divise progressivement, les filets d'eau se regroupent dans les petites dénivellations du sol (TOUAIBIA, 1986).

Lors de son passage, la lame d'eau transporte avec elle des particules du sol, sa capacité de transport et d'arrachement de ces particules augmente avec l'intensité de la pluie qui détermine l'épaisseur de la lame d'eau.

I.1.5.3. Couvert végétal

Le couvert végétal agit comme un obstacle non seulement il maintient le sol en le protégeant contre l'érosion, mais aussi il bloque le passage des particules du sol transportées par le courant torrentiel. L'efficacité du couvert végétal dans la réduction de l'érosion dépend du type de l'étendue et de la densité du couvert lui-même. La végétation et les résidus combinés, couvrant complètement le sol, interceptent la pluie et constitue le moyen le plus efficace pour réduire les pertes de sol. Les résidus partiellement incorporés et leurs racines ont aussi leur importance, parce qu'ils facilitent l'infiltration (GEORGES, 2008).

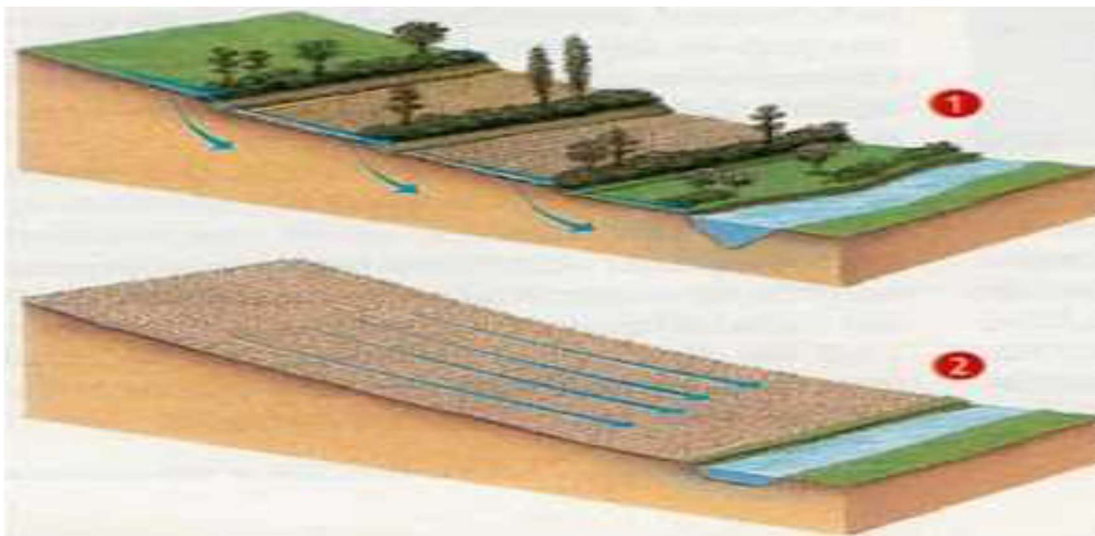


Figure 5 : rôle de la couverture végétale sur le ruissellement

I.1.5.4. Facteurs anthropiques

L'activité de l'homme a un rôle important dans l'érosion et ceci part plusieurs moyens dont on cite l'abatage d'arbre des forêts, l'aménagement urbain qui favorise le ruissellement ainsi le transport, le labour du sol,...etc. (GEORGES, 2008).

I.1.5.5. Facteurs liés aux activités agricoles



Les cultures

Si on garde à l'esprit qu'il est important de maintenir le sol couvert le mieux et le plus longtemps possible, il devient aisé en principe de classer les types de cultures et les rotations culturales en catégories favorables ou défavorables. On pourra apprécier aussi l'intérêt de mesures agissant dans le sens d'une couverture maximale des sols (Ammari, 2012).



Les machines agricoles

Les traces de roues inhérentes au passage des machines agricoles peuvent favoriser la concentration des rigoles d'eau de ruissellement et accentuer ainsi le problème de l'érosion et des boues (Ammari, 2012).

I.1.6. Quantification de l'érosion hydrique

Les méthodes utilisées dans l'évaluation et la cartographie de l'érosion (actuelle et/ou risque) varient en fonction des objectifs, des moyens et des échelles de travail. La quantification peut se faire par :

- Mesures directes : simulation de pluie.
- Mesures topographiques.
- Mesures indirectes : par des formules expérimentales. Nous citerons dans ce qui suit quelques formules les plus utilisées:

a. Formule de henin 1950

Cette formule symbolise la relation existante entre l'érosion pluviotile et les facteurs susceptibles de la favoriser ou de la limiter. La quantification de l'érosion spécifique « es » est donnée par la formule suivante :

$$Es = (ip * is) / (k * ve)$$

Avec

- Ip** : intensité des précipitations (mm/h).
- I** : pente du bassin versant; les facteurs "ip" et "i" favorisent l'érosion
- S** : susceptibilité des sols.
- K** : perméabilité (m/s).
- Ve** : végétation.

b. Formule de fournier (1960)

$$Ass = (1/36) (pm/pam)^2 (2.65) (h/s)^2 (0.46)$$

Avec

- ✚ **Ass** : apport solide spécifique (t/km²/an).
- ✚ **Pm** : précipitations moyennes mensuelles du mois le plus pluvieux (mm).
- ✚ **Pam** : précipitations moyennes annuelles (mm).
- ✚ **H** : dénivelée moyenne (m).
- ✚ **S** : superficie du bassin versant (km²).

c. Formule de t'ixeront (1960)

Basée sur les données recueillies dans 32 bassins algériens et 9 bassins tunisiens sur une durée comprise entre 2 et 22 ans.

- ✚ **Ass** = 354.e0.15 pour les bassins tunisiens.
- ✚ **Ass** = 92.e0.21 pour la région est algérien.
- ✚ **Ass** = 200.e pour la région centre algérien.

Avec :

- ✚ **Ass** : apport solide spécifique en (t/km²/an).
- ✚ **E** : écoulement en (mm).


d. Formule de gravilovic (1960)

Il a défini l'érosion spécifique, comme étant proportionnelle à la température, à la pluie et à un coefficient d'érosion.

$$Es = 3,14 \cdot t \cdot p_0 \sqrt{z}$$

Ou :


- ✚ **Es** : érosion spécifique dans le bassin versant (t/km²/an)
- ✚ **T** : coefficient de température : $t = \sqrt{(t0/10) + 0.1}$
- ✚ Avec :
- ✚ **T0** : température moyenne annuelle en 0c.
- ✚ **P0** : pluie annuelle en (mm).
- ✚ **Z** : coefficient d'érosion : $z = y \cdot [x.a.] (\sigma + \sqrt{i} \text{ moy})$.
- Ou :
- ✚ **Y** : valeur du coefficient de résistance du sol à l'érosion.
- ✚ **[x.a.]** : coefficient de régularisation du bassin versant, se rapportant à la protection des sols, des influences des phénomènes atmosphériques des forces érosives liées aux conditions naturelles. Il est aussi tabule.
- ✚ **Σ** : équivalent numérique des processus visibles et nettement prononcés dans le bassin versant.


 **I moy** : indice de pente moyenne du bassin versant.


e. Formule de L'A.N.R.H (1970)

$$Tss = 26,62 ie + 5,071 ip + 9,77 ct - 593,59 (1,13).$$

Avec :

 **Tss** : transport solide spécifique moyen annuel (t/km²/an).

 **Ie** : indice lithologique (%).

 **Ip** : indice des précipitations (%).

 **Ct** : coefficient de torrencialité.


 Cette formule est applicable dans les conditions suivantes : $ie > 10\%$ et $ip > 300$


f. Formule de wischmeier et smith (1978)


La moyenne annuelle des pertes de terres par hectare (a) est déterminée à partir de cinq facteurs :


$$A=r. K. Ls. C. P$$

Avec:


 **A** : perte en sol moyenne annuelle (t/ha.an).

 **R** : indice d'érosive des précipitations (n/h).

 **K** : indice d'crédibilité du sol, fonction de la texture, du taux d'humus, de la structure de la couche superficielle du sol ainsi que de sa perméabilité (t.h/n.ha).

 **Ls** : indice topographique, fonction de la longueur (l) et de l'intensité (s) de la pente.

 **C** : indice de couverture végétale et des pratiques culturales.

 **P** : indice d'aménagement antiérosif.

g. Formule de sogreah

Basée sur les données de 30 bassins algériens, de superficie comprise entre 100 et 300 km², soumis à une pluviométrie annuelle comprise entre 300 et 1000 mm

$$Ass = \alpha. E0.15$$

Avec :

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

 **A** : coefficient dépendant de la perméabilité du sol.

 **E** : écoulement annuel (mm).

I.1.5. Les causes et les conséquences de l'érosion des sols

I.1.5.1. Les causes

-la texture des sols est un des facteurs principaux de l'érosion des sols. Les sols limoneux sont très propices à la battance, phénomène qui les rend imperméables et qui augmente le ruissellement des eaux.

-le labour parallèle à la pente accroît fortement la vitesse de ruissellement des eaux.

- les sols laissés nus l'hiver favorisent l'érosion des sols en diminuant les capacités d'infiltration des sols.

- une urbanisation mal maîtrisée augmente l'imperméabilisation des sols et donc les vitesses de ruissellement des eaux. Les constructions dans les zones à risques de coulées de boue et d'inondations doivent parfois supporter des dégâts matériels importants (guide technique de la lutte contre l'érosion, 2003)

I.1.5.2. Les conséquences de l'érosion hydrique

L'érosion hydrique entraîne des conséquences tant en amont qu'en aval des bassins versants. Elle peut se traduire :

📌 **En amont** par des dégâts concernant les terres cultivées par des pertes en terre ainsi que des pertes en matière organique et en éléments nutritifs notamment l'azote et le phosphore qui peuvent compromettre, ainsi, la capacité productive des sols et des cultures et la durabilité de production des écosystèmes agraires (Ahiokpor, 2011)

📌 **En aval** par les écoulements boueux catastrophiques, qui se concentrent dans les bassins agricoles, dévalent le long du réseau de vallées et de vallons secs et provoquent des dégâts à l'encontre des bâtiments (Le Bissonnais, 2002.) elle provoque aussi la pollution des eaux superficielles par la perte en sol. Le dépôt des sédiments dans les réseaux d'assainissement et l'envasement des barrages.

I.2. Le transport solide

C'est le deuxième processus constituant l'érosion hydrique. Il est par définition la quantité des sédiments (ou débit solide) transportée par un cours d'eau. Ce phénomène est limité par la quantité de matériaux susceptible d'être transportée (selon la fourniture sédimentaire) (Bouguerra. S., 2014). Il est régi par deux propriétés du cours d'eau :

📌 La compétence

Elle est mesurée par le diamètre maximal des débris rocheux que

Peut transporter le cours d'eau .cette caractéristique est fonction de la vitesse d'eau comme le montre le diagramme de hjulstrom qui divise le transport solide en trois phases : la sédimentation,

le transport avec une fonction croissante qui est toujours au-dessous de celle d'arrachement des particules (l'érosion) (Bouguerra. S., 2014).




La capacité

C'est la quantité maximale de matériaux solides que peut transporter en un point et à un instant donné le cours d'eau. Elle est fonction de la vitesse de l'eau, du débit et des caractéristiques de la section (forme, rugosité, etc...) (Bouguerra. S., 2014)

I.2.2.Modes de transport

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

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

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

I.2.2.1.Le transport solide en suspension

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

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

I.2.2.2.Le transport solide par charriage

Le transport par charriage est l'un des principaux types de transport solide dans un cours d'eau, il s'alimente surtout par érosion du lit et des berges du cours d'eau. Il contribue pour une large part à la formation et à l'équilibre du lit, modelant ainsi le profil en long du cours d'eau. Les grains charriés se déplacent par à-coups à une vitesse moyenne très nettement inférieure à celle de l'eau (moins d'un mètre par heure) (Jean, 1993).

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 (RECKING2012).

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 (Jean, 1993).

I.2.2.3. La saltation

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

Vitesse et des caractéristiques des grains.

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

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

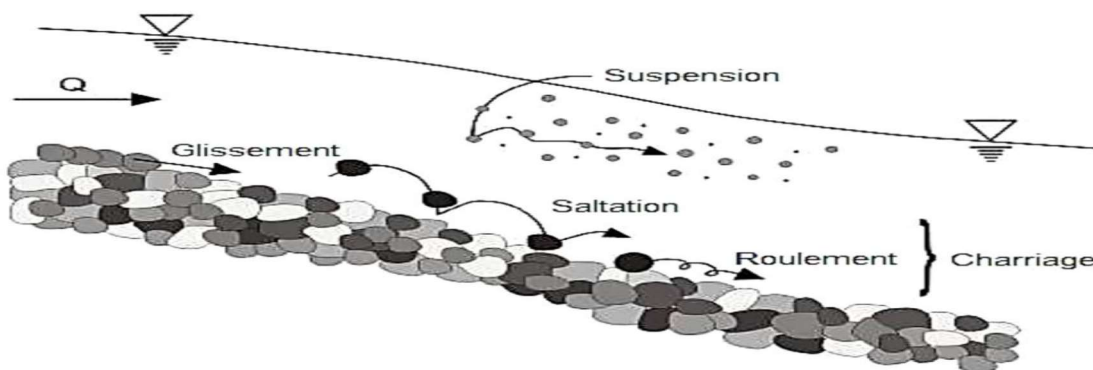


Figure 6: différents modes du transport solide

I.2.3. Origine des matériaux transportent

Les écoulements de surface transportent avec eux les produits de la désagrégation des roches des régions hautes vers les zones basses et en définitif vers la mer. Le transport solide par les cours d'eau est fortement lié à l'érosion de sol due à la pluie. L'eau s'infiltrant dans le sol peut contribuer aux éboulements et glissements qui peuvent devenir des sources principales des sédiments pour les cours d'eau. De manière beaucoup plus détaillée, les matériaux solides transportés par les cours d'eau ont diverses origines :

- Ablation des éléments de surface, souvent instables, matériaux meubles produits d'altération du bassin versant. La disparition du couvert végétal accélère le processus d'ablation. L'érosion des berges du cours d'eau se manifeste essentiellement par une ablation directe à la montée des eaux de la base à la crête des berges, suivie d'un

décollement des berges par tranches verticales lors de la baisse des eaux, due à la dessiccation interstitielle.

- Reprise des matériaux constitutifs du lit des cours d'eau. Les lits des cours d'eau, par la mobilité ou instabilité des matériaux qui les constituent, donnent lieu, lors des crues à des reprises incessantes, d'autant plus marquées que les débits liquides et la vitesse des eaux sont plus grandes. Les éléments grossiers transportés par roulement ou saltation sur le fond proviennent surtout du fond et des berges du lit apparent et du lit majeur, mais aussi directement des versants. Les éléments fins, véhiculés en suspension, peuvent provenir en partie des versants, lors d'un ruissellement superficiel diffus. Ils sont aussi directement entraînés à partir du lit des cours d'eau lors des crues. Les substances dissoutes sont transportées par les eaux d'infiltration et restituées aux cours d'eau par les sources ou eau de suintement à la base des versants (Mohammadi I. Mayou)






I.2.4. Caractéristiques des matériaux transportent

Dimension des particules






Elle est définie par le diamètre apparent d'une particule mesuré soit au tamis pour les. Particules ayant un diamètre supérieur à 0.1 mm, soit évalué par la formule de stokes ou mesuré au microscope pour les particules plus petites (jusqu'à 4μ).

La formule de stocks ou vitesse de sédimentation est en elle-même considéré comme un facteur principal dans le phénomène de suspension.

D'après l'American géophysique union (classification la plus adoptée) on distingue

Nature du matériau	Diamètre
 Galets	64 à 4000 mm
 Gravier	2 à 64 mm
 Sable	62 à 2000 μ.
 Limon	4 à 62 μ
 Argile	0.24 à 4 1 μ

En France (Iarras, 1977) la classification suivante est adoptée

Nature du matériau	Diamètre
 Cailloux	200 à 20 mm
 Gravier	20 à 2 mm
 Sable	2 à 0.05 mm
 Limon	0.05 à 0.005 mm
 Argile	0.005 à 0.001 mm

I.2.5. Problèmes liés au transport solide

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

- ✚ disparition des terres agricoles
- ✚ décomposition des ressources en eaux potables
- ✚ augmentation des coûts suivant les inondations
- ✚ envasement des barrages et divers ouvrages hydrauliques
- ✚ l'envasement des cuvettes des barrages

I.3. Envasement des Barrages

L'envasement est défini comme étant le dépôt de sédiments dans les retenues et barrages, réduisant ainsi leurs capacités de stockage. La construction d'un barrage change les caractéristiques hydrauliques de l'écoulement et la capacité de transport des sédiments, transportée par l'écoulement, la matière solide tend à se déposer à l'approche des plans d'eau, car en réduisant sa vitesse, l'écoulement perd petit à petit sa capacité de transport quand le cour d'eau s'approche et se jette dans le lac du réservoir, les particules grossières se déposent en premier ensuite les plus fines jusqu'à atteindre la digue, n'ayant pas où s'échapper le dépôt se tasse et se consolide en réduisant ainsi la capacité de stockage du réservoir, sachant qu'en moyenne 90% des sédiments transportés par le cour d'eau sont piégés (Chebbani R, 1999)

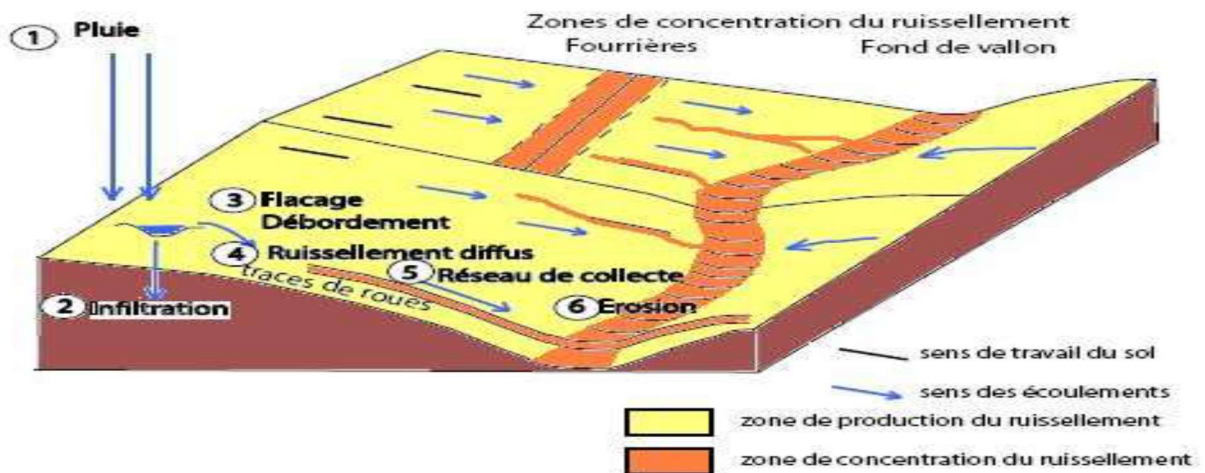


Figure 7: schéma et processus simplifiés des écoulements (d'après bussière, 1996)

I.3.1. Problèmes posés par l'envasement

L'envasement est la conséquence directe de l'érosion et la sédimentation qui sont aussi la cause de la dégradation des sols agricoles ; 45% des sols agricoles du nord

Algérien sont directement menacés par l'érosion, soit 12 millions d'hectares (Chebbani, 1999)

Parmi les problèmes que pose l'envasement des retenues de barrages, on peut retenir quatre inconvénients majeurs qui sont :

- ✚ la réduction de la capacité d'emmagasinement.
- ✚ l'obturation des organes de vidange.
- ✚ la remise en cause de la sécurité de l'ouvrage.
- ✚ l'envasement des canaux d'irrigation.
- ✚ la dégradation de la qualité de l'eau.
- ✚ l'obturation des pompes

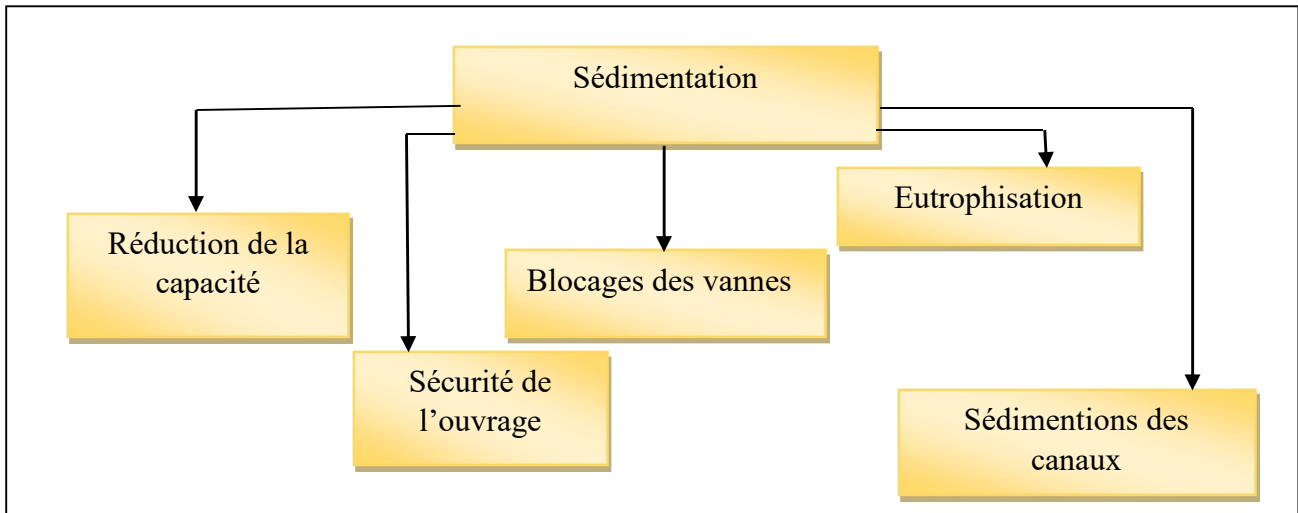


Figure 9: schémas des problèmes posés par l'envasement.

I.3.1.1. Réduction de la capacité

Cette réduction de la capacité de stockage de l'eau est sans aucun doute la conséquence la plus dramatique de l'envasement, chaque année le fond vaseux évolue et se consolide avec occupation d'un volume considérable de la retenue.

I.3.1.2. Obturation des organes de vidange

Un autre danger présenté par l'envasement est celui du non fonctionnement des organes de vidange de fond, et de ce fait toute opération de vidange de la retenue est impossible. (Remini.Boualem)

I.3.1.3. Sécurité de L'ouvrage

La sédimentation des retenues a un impact sur la sécurité des barrages, par la mise en danger de la stabilité de l'ouvrage du fait de l'augmentation de la force hydrostatique produite par le remplacement accéléré du volume d'eau par la vase. Ceci se traduit par l'accroissement de la masse spécifique qui peut atteindre 1,8 t/m³. Nous pouvons dire que si le taux de comblement d'une retenue dépasse 50% de la capacité initiale et que la vase est en contact avec l'ouvrage, dans ce cas, il faut prendre au sérieux la stabilité du barrage. C'est le cas des barrages d'oued el fadda et foun el gherza. (N.Oumrani, 2009)

I.3.1.4. Envasement des canaux d'irrigation

Le dépôt des sédiments dans une retenue de barrage destinée à l'irrigation, pose le problème de comblement du réseau (des canaux) d'irrigation se trouvant à l'aval du barrage. En effet dans les pays arides et semi-arides, l'irrigation se fait généralement par de l'eau chargée en sédiments, c'est ainsi que ces particules fines vont se déposer dans les canaux réduisant leurs sections mouillées et bien sûr le débit d'eau véhiculée. Le curage et le nettoyage des canaux deviennent des opérations quotidiennes. (B.Remini, 2004)

I.3.1.5. Dégradation de la Qualité de l'eau

La gestion de la qualité de l'eau doit tenir compte des sédiments car ceux-ci jouent un rôle important dans le transport et le devenir des matières polluantes. Les substances chimiques toxiques peuvent se fixer aux particules de sédiments ou être absorbées par celles-ci, puis transportées et déposées dans un autre milieu (casado-martinez, 2016)

I .3.2.Mecanisme de l'envasement

Le mécanisme d'envasement est généré en général par l'apport solide transporté par les cours d'eau qui viennent alimenter les réservoirs par les matériaux en suspension.

Un réservoir s'engrave d'autant plus rapidement que sa capacité devient de plus en plus faible par rapport au débit solide transporté par le cours d'eau qui l'alimente.

La construction de barrages modifie les conditions d'écoulements du débit solide, que ce soit pour le charriage ou pour le transport en suspension.

La formation de l'envasement dans les retenues des barrages passe par des étapes présentées dans la figure.

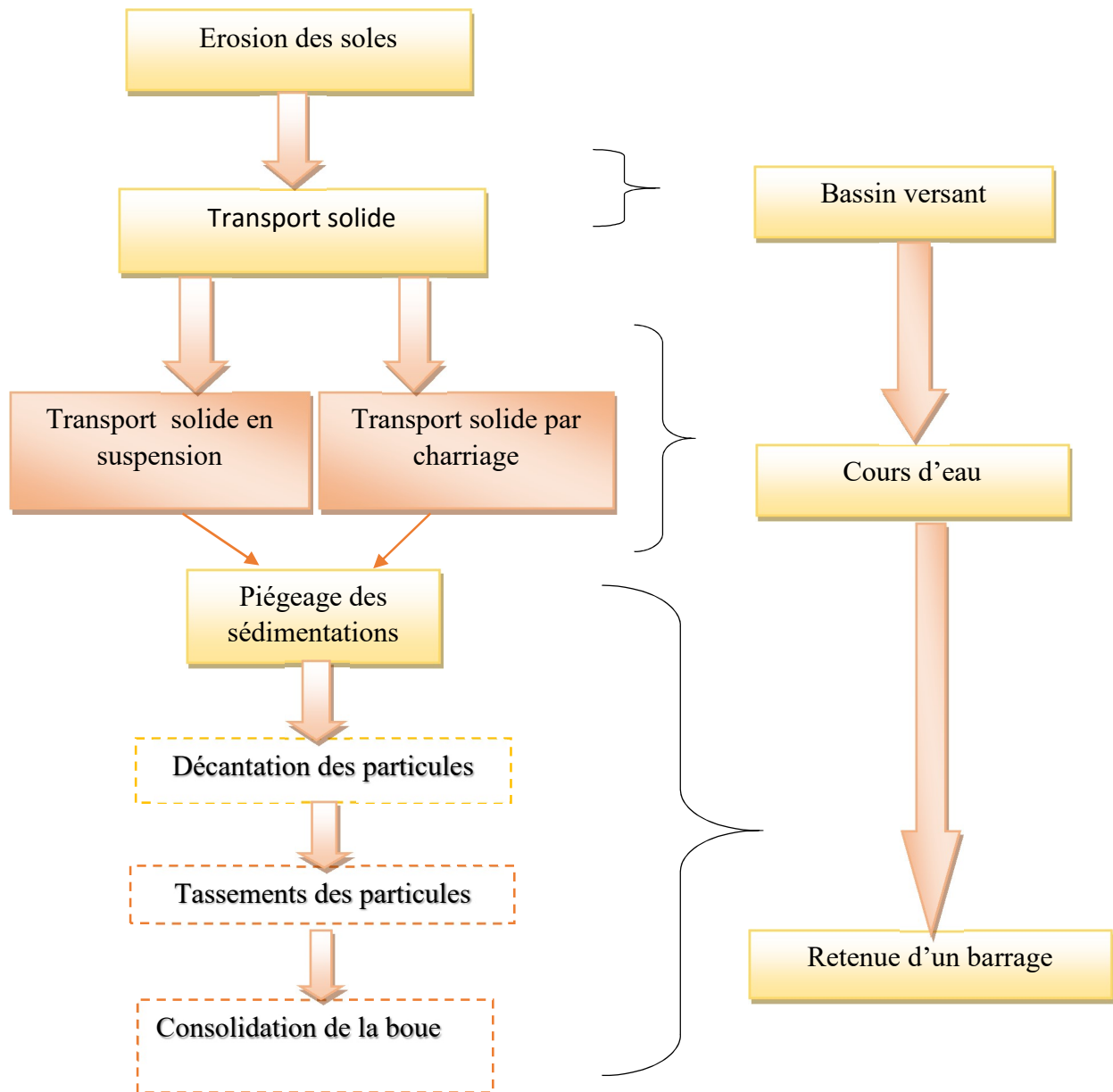


Figure 10 : processus d'envasement d'un barrage réservoir (Remini.B)

I.3.3. Actions de lutte contre l'envasement des barrages

🚧 Actions préventives

Le reboisement, la restauration des sols, la formation des banquettes, la plantation de végétation à longues tiges dans les oueds, les corrections torrentielles, la fixation des berges. (Boualem.REMINI.)

Actions palliatives

La surélévation d'un ouvrage est un des moyens de récupération de la capacité perdue par l'envasement. Elle doit obéir à certaines conditions particulières telles que :

- la géologie du sol.
- l'hydrologie du bassin versant.
- le rapport coût /gain de capacité. (Djenaoui, 2016)

Actions curatives

Le dragage est une opération ayant pour objet le prélèvement de matériaux, notamment boues, limons, sables et graviers, au fond d'un cours d'eau ou d'un plan d'eau à l'aide de moyens mécaniques, hydrauliques ou pneumatiques dans un but d'aménagement ou d'entretien (Ministère, 1994)

I .4.Les crues

Les crues sont un phénomène naturel. Toutefois, les catastrophes entraînées par les inondations sont le résultat d'une interaction entre ce phénomène naturel et des processus écologiques, économiques et sociaux (Belagoune.F, 2012).

Une crue se caractérise par son hydro gramme graphique qui représente les variations de débit en fonction du temps. Plus précisément, c'est la partie montante de ce hydro gramme qui est appelé « crue », la partie descendante étant « la décrue ». Une crue se définit par différents critères : sa genèse, sa durée, sa fréquence, son débit de pointe et son volume (FREY.P, 1991).

I.4.1.Les causes de la crue

La crue est la conjugaison brutale de plusieurs facteurs :

- l'augmentation brutale du débit en amont provoqué soit par des eaux en amont due à un réchauffement rapide (fonte des neiges ou de glacier) ou un événement accidentel (rupture de barrage...).
- cet apport excessif est renforcé par une diminution de l'infiltration et du stockage en amont (urbanisation excessive et non contrôlée, antécédents pluvieux récents), par l'encombrement du lit du cours d'eau provoquant des mini barrages qui cèdent lorsque la pression des eaux est trop forte.
- la baisse de l'écoulement sur le site et en aval causée par l'encombrement du cours d'eau à caractère accidentel (éboulement, glissement terrain, travaux dans le lit du cours d'eau) ou due à la négligence (urbanisation, absence de nettoyage.

Parmi ces facteurs, certains sont prévisibles, d'autres ne le sont pas, certains sont imparables, d'autres peuvent être évités. En ce qui concerne les causes imparables (précipitations, sol Saturé ...), la prévention est basée uniquement sur la mise en alerte et la surveillance (Bachi.M2011).

I.4.2. Facteurs aggravant les crues

I.4.2.1. En Milieu Rural

Le développement des grandes cultures au détriment des prairies fourragères a eu entre autres pour conséquence la disparition des haies et des taillis bocagers qui avaient un effet de ralentissement et de rétention de l'eau.

- le drainage des marais et l'assèchement de zones humides qui jouaient un rôle d'éponge ont accéléré les vitesses de transfert de l'eau vers les cours d'eau.

- le recalibrage des cours d'eau (suppression de méandres par exemple) a accéléré les Vitesses d'écoulement de l'eau vers l'aval.

I.4.2.2. En milieu urbain

L'imperméabilisation des sols dans les agglomérations a accentué le ruissellement pluvial (RECKING, 2012).

I.4.3. Le processus de formation des crues

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

- ✚ L'eau mobilisable, constituée de l'eau reçue par le bassin versant.
- ✚ Le ruissellement, qui correspond à la part de l'eau qui n'a pu s'infiltrer dans le sol. Il dépend de la nature du sol, de son occupation de surface et de l'intensité de l'épisode pluvieux.
- ✚ Le temps de concentration, qui est défini par la durée nécessaire pour qu'une goutte d'eau partant du point le plus éloigné de l'exutoire du bassin versant parvienne jusqu'à celui-ci.
- ✚ La propagation de l'onde de crue, qui est fonction de la structure du lit et de la vallée alluviale, notamment de la pente et des caractéristiques du champ d'inondation (RECKING, 2012).

I.4.3.1. Influence des facteurs naturels :

- ✚ Surface et forme du bassin versant : ainsi pour une même surface, l'allure de l'hydrogramme de crue résultant d'une pluie donnée est très différente suivant la forme du bassin versant ; un bassin très allongé ne réagit pas comme un bassin de forme ramassée ce qui a amené l'utilisation d'un indice pour évaluer le « coefficient de compacité ». En principe plus cet indice est faible, plus la concentration des eaux apportées par les affluents est rapide et plus les crues risquent d'être brutales et bien différenciées
- ✚ configuration du relief des lits des cours d'eau : la pente exerce une influence directe sur la rapidité de l'écoulement et donc sur la puissance de la crue. Si le profil en long du cours

d'eau est assimilable à une suite de segments plus ou moins pentus, il exerce une action visible sur la crue. Le profil en travers est aussi important ; pour un même débit de crue, un cours d'eau encaissé verra sa hauteur d'eau monter beaucoup plus vite qu'un cours d'eau à prof il plus évasé. En contrepartie, ce dernier a de plus grands risques de débordements.

- ✚ densité des cours d'eaux et perméabilité du bassin versant : ainsi la densité des cours d'eau était fonction de la nature des terrains, le réseau est d'autant plus développé et complexe que le terrain est moins perméable. On comprend aisément que plus l'imperméabilité est forte, plus les eaux météoriques sont disponibles pour le ruissellement de surface. De ce point de vue, à priori les cours d'eau drainant les régions imperméables sont une plus forte probabilité à développer des crues dangereuses.
- ✚ Facteurs biogéographiques : la végétation joue un rôle climatique complexe, elle agit sur le ruissellement, retient une part des pluies, évapore l'eau, etc. L'on sait depuis longtemps qu'une couverture végétale dense réduit et ralentit considérablement l'écoulement. D'abord la forêt intercepte la pluie et la neige, cette dernière pouvant mettre très longtemps à fondre sous couvert. En suite elle accroît fortement l'évapotranspiration ; pour la zone tempérée celle - ci atteint ou dépasse fréquemment
- ✚ 500 à 700 mm /an. On comprend facilement que cette la limite le ruissellement direct et l'alimentation des cours d'eau (RECKING, 2012).

I.4.3.2. Influence des facteurs anthropiques

- Occupation de zones riveraines: la concentration des personnes et l'accumulation des biens dans les champs d'inondation génère le risque d'inondation par accroissement des enjeux, augmentation des vulnérabilités et absence de prévention - précaution.
- Imperméabilisation forte (conséquences d'aménagements urbains ou agricoles);
- Défiance des dispositifs de protection (digues, déversoirs) (RECKING, 2012).

I.4.4. Les types de crues

En général, on distingue deux types de crues

✚ Les crues fluviales

Elles se caractérisent par des montées relativement lentes des eaux et peuvent être prévues plusieurs heures, voire plusieurs jours à l'avance. En dépit de leur évolution lente, les crues de Plaine peuvent être accompagnées localement de phénomènes très dangereux, notamment lors d'une débâcle, c'est à dire lors de la rupture d'un obstacle d'un cours d'eau, après que l'écoulement des flots ait été bloqué par des embâcles (amoncellement de débris) sous les ponts .c'est le cas des inondations de grands bassins versants ; elles résultent le plus souvent des précipitations

importantes généralisées sur de grandes étendues et caractérisées par leurs quantité et leurs durée qui peut atteindre 10 à 15 jours.




En algérie, ce type d'inondation survient généralement en saison hivernale entre les mois de décembre et mai (Achite.M, 2007).

Crues torrentielles

Lorsque des précipitations intenses, telles des averses violentes, tombent sur tout un bassin versant, ou sur une portion de bassin versant, les eaux ruissellent et se concentrent rapidement dans le cours d'eau, engendrant des crues torrentielles brutales et violentes. Le cours d'eau transporte de grandes quantités de sédiments, ce qui se traduit par une forte érosion du lit et un dépôt des matières transportées. Ces dernières peuvent former des barrages, appelés embâcles, qui, s'ils viennent à céder, libèrent une énergie pouvant aggraver les dégâts (Achite.M, 2007).






I.4.5. Les différentes crues

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

-  **Crue décennale** : elle correspond à un volume de précipitation exceptionnel qui chaque année a 1 chance sur 10 de se produire.
-  **Crue trentennale** : elle a chaque année 1 chance sur 30 de se produire.
-  **Crue centennale** : elle a chaque année 1 chance sur 100 de se produire (Nacef .H, 2013).

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

On distingue par ordre croissant :

-  Les crues fréquentes, dont la période de retour est comprise entre un et deux ans
-  Les crues moyennes, dont la période de retour est comprise entre dix et vingt ans
-  Les crues exceptionnelles, dont la période de retour est de l'ordre de cent ans
-  La crue maximale vraisemblable, qui occupe l'intégralité du lit majeur.
-  La crue de projet est une crue de récurrence donnée (fonction de l'environnement et d'impératifs technologiques) servant à calculer la résistance des ouvrages de génie civil, ponts, barrages... (Nacef .H, 2013)

I.5. La modélisation hydrologique

Un modèle hydrologique est une représentation mathématique simplifiée de tout ou partie des processus du cycle hydrologique. Un ensemble de concepts hydrologiques sont exprimés en langage mathématique et reliés entre eux dans des séquences temporelles et spatiales correspondant à celles que l'on observe dans la nature. Pour l'utilisateur, l'intérêt d'un modèle réside dans sa capacité à apporter une réponse "satisfaisante" aux questions qu'ils se posent à propos de phénomène modélisé.

L'hydrologue modélisateur introduit généralement les facteurs qui lui semblent pertinents pour optimiser les paramètres clés de son modèle et de minimiser l'incertitude liée aux hypothèses simplificatrices de la modélisation.

I.5.1. Les modèles

Un modèle est, par définition, une conceptualisation de la réalité, une certaine image de la réalité que nous nous créons, une image incomplète et partielle, comprenant des caractéristiques, des attributs de la réalité qui nous intéressent en particulier ou que nous avons la chance (ou la possibilité) de connaître.

Un modèle mathématique est un ensemble de concepts d'intérêt formalisés sous la d'expressions mathématiques (Ben Khaled A. et Rimini B., 2003)

I .5.2. Classification des modèles

On peut classer les modèles

Selon la loi mathématique la nature des relations mathématiques entre les entrées du système et les sorties, entretient souvent une confusion, des lors que la définition de chaque classe de modèle, n'est toujours pas assez bien définie, et la frontière entre chaque modèle est loin d'être nette (Benkaci.Tarik, 2006)

- ✚ Les modèles empiriques
- ✚ Les modèles conceptuels ou « boîte noire
- ✚ Les modèles physiquement fondés

I.5.2.1 Modèle empirique

Les modèles empiriques consistent à établir une loi mathématique qui relie la variable de sortie à des variables d'entrée, dont la forme et les coefficients sont fixés à l'aide d'observations et de mesures sur le terrain. Ceci est effectué de façon expérimentale en ajustant les valeurs calculées par le modèle à celles mesurées sur le terrain. Ces modèles ont été créés pour jouer un rôle opérationnel, c'est-à-dire comme outil de conservation des sols et de contrôle de l'érosion hydrique (Company-Redmond, 1996.)

Ce modèle empirique s'exprime selon la formule suivante :

$$A = k * r * l * s * c * p$$

Avec : a représente la perte moyenne annuelle en sol en t/ha/an, r est le facteur d'érosive des précipitations exprimé en unités, k est le facteur d'crédibilité du sol, l est le facteur de longueur de pente, s est l'indice de pente, c'est le facteur lié au couvert végétal et à son taux de recouvrement (compris entre 0 et 1), et p est le facteur lié aux pratiques antiérosives

I.5.2.2. Les Modèles Conceptuels Ou « Boite Noire »

Les modèles conceptuels sont placés entre les modèles empiriques et les modèles à base physique, ils visent à représenter les processus physiques dans le bassin versant sous forme des relations empiriques (Saavedra.c, 1989) ces modèles considèrent le bassin versant de façon conceptuelle comme "un assemblage de réservoirs d'humidité interconnectés"

(Ambroise.B, 1991) Qui sont censés représenter plusieurs niveaux de stockage suivant une dimension verticale (végétation, surface, sol, nappe).

I.5.2.3. Les Modèles Physiques

Les modèles physiques cherchent à quantifier et à cartographier l'érosion en se basant sur la description des processus physiques de l'érosion. Le principe de cette modélisation à base physique est de décrire l'érosion au travers de représentations mathématiques des processus hydrologiques et érosifs fondamentaux, à savoir : le détachement par les gouttes de pluie et/ou par le ruissellement, le transport par les gouttes de pluie, le transport par le ruissellement, et le dépôt par le ruissellement

Selon la discrétisation spatiale : cette différence est importante sur le plan pratique, car certains modèles abordent la représentation de certains mécanismes dans leur diversité spatiale (Benkaci.Tarik, 2006)

- 📊 Modelé global

- 📊 Modelé spatialisé

I.5.3. Le Choix de Modèle

Le choix d'un modèle hydrologique se fait en fonction des éléments suivants :

- 📊 La nécessité de l'étude hydrologique : les objectifs de l'étude hydrologique sont multiples selon lesquels on peut négliger ou simplifier certains paramètres dans la modélisation ;
- 📊 Disponibilité de données : en dépit des incertitudes que présentent des modèles par rapport à d'autres, le manque de données nous contraint à les utiliser
- 📊 Nature de modèle, la robustesse et la simplicité de modèle influencent le choix en particulier dans le cas où le temps ou le coût présente une contrainte. (GUENDOZ.M'Hamed, 2018)

Quelques modèles utilisés en Algérie

Bassin ou région	Modèle	Equation	Auteur
Massif central (france)	Puissance	$Q_l = 16 p^2$	Coutagne
Bassins algériens	Puissance	$Q_l = 11.8 p^{2.82}$	A.n.r.h
Bassins algériens	Linéaire	$Q_l = 0.736 (p - 404)$	Samie
Oued m ^r igha (algérie)	Polynôme	$Q_l = 50.6 p^2 - 3.54 p$	Roeder
Oued ouergha (maroc)	Puissance	$A_l = 690 a s^{0.58}$	Lahlou
Medjerda supérieur (algérie)	Linéaire	$A_{ss} = 1.06 e - 66.2$	Bourouba
La garonne (france)	Puissance	$C = 3.6 10^{-3} q_l^{1.583}$	Probst & bazerbachi

Tableau 1: quelques modèles utilisés en algérie

I.5.4. Modeles hydrologiques de bassin versant

La modélisation hydrologique de bassin versant s'intéresse au cycle de l'eau sur un bassin ; elle inclut donc des fonctions de production (liées aux transferts verticaux) et des fonctions de transfert (liées aux redistributions latérales). Un modèle est construit afin de répondre à une question posée dans un milieu donné et suivant une formulation de la réalité choisie. Il doit aussi tenir compte des données de forçage et de validation disponibles ainsi que de la résolution spatio-temporelle de ces données.

Il existe une très grande variété de modèles hydrologiques, car les processus pris en compte et l'approche adoptée pour les conceptualiser diffèrent selon les auteurs. Les modèles les plus complets prennent en compte les processus verticaux et latéraux. (BENEDDINE.lakhdar, 2012)

I.5.5. Etapes de la mise en œuvre d'un modèle hydrologique

Dans toute démarche de modélisation, il est fondamental d'identifier, avant toute chose, l'objectif et le cadre de la modélisation, à savoir : l'hydro système et la nature des phénomènes hydrologiques à modéliser, les données disponibles pour décrire le milieu et les variables hydrométéorologique d'intérêt.

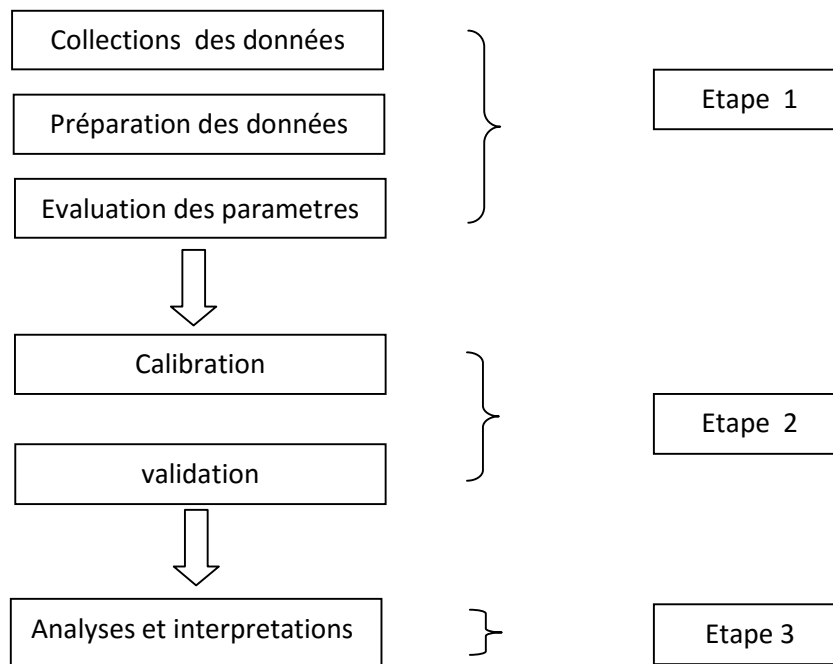


Figure 11 : Etapes de la construction d'un modèle hydrologique

I.5.6. Intérêts et enjeux de la modélisation

Devant la pression croissante sur les ressources en eau, la préoccupation principale réside dans la planification efficace pour garantir la gestion durable de la ressource. Mais la réalisation de cet objectif se heurte à une difficulté majeure liée aux lacunes importantes portant sur la connaissance de base des ressources en eau. Afin de combler ces lacunes, les modèles hydrologiques sont parmi les outils disponibles permettant d'acquérir une compréhension adéquate des caractéristiques du bassin versant. Il s'agit donc d'essayer d'améliorer les connaissances sur le comportement des systèmes hydrologiques par la modélisation dynamique des processus en question

Par ailleurs, l'intérêt des modèles hydrologiques se trouve dans leurs capacités d'appréhender la complexité des processus intervenant dans le cycle de l'eau, à laquelle s'ajoute celle de leurs interactions, rend en effet la modélisation cruciale dès lors que l'on souhaite extrapoler les mesures de terrain, tant temporellement que spatialement.

En fait, à côté de la prévision et prédiction quantitative et qualitative de l'eau, la modélisation hydrologique peut aider à prédire les comportements futurs et les impacts des changements naturels et anthropiques sur les ressources en eau et également à quantifier la disponibilité spatiale et temporelle des ressources (GUENDOZ.M'Hamed, 2018)

Chapitre II

Présentation de la zone d'étude



II.1.Situation géographique

La plaine alluviale du haut Chélif appelée aussi plaine d'El Khemis appartient à la wilaya d'Ain Defla situé 120 Km du sud-ouest d'Alger et 25 km à l'Est du chef-lieu de la wilaya sur la route nationale N°4.

Appartenant au sous bassin versant de haut Cheliff d'un périmètre de 1025 Km et une superficie de 21035 Km. Cette plaine est limitée :

Au Nord par les monts du Zaccar,

Au Sud par les contreforts de l'Ouarsenis,

Au l'Ouest par le massif de Doui.

Au l'Est par djebel Gountas.

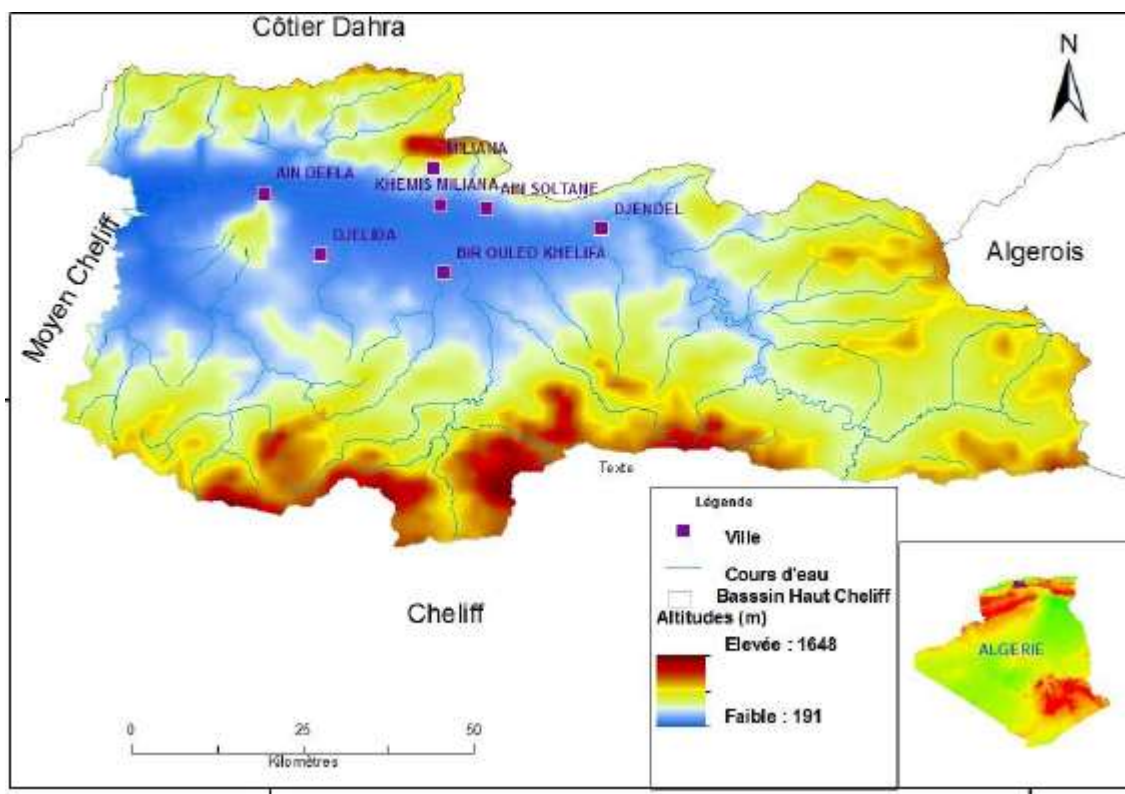


Figure 12: Carte de localisation du Bassin versant du Haut Cheliff. (GUENDOZ.M'Hamed, 2018)

II.2. Caractéristiques morpho métriques

On constate, que l'ensemble de la région étudiée (Haut et Moyen Cheliff) se range dans la classe du relief modéré, à cause vraisemblablement de l'influence de la surface, ce qui se traduit par l'atténuation du relief d'ensemble.

Dans ce même sens, et du fait que ce genre de classement comparatif s'applique mieux à des bassins de petite taille, l'importance relative de la surface des bassins étudiés « égalisé » en quelque sorte le relief, d'où les faibles différences entre les classes du relief trouvées Cette brève analyse a permis de relever les nuances morphométriques existant entre les unités de la région d'étude. Cependant le bassin du Haut et Moyen Cheliff à l'aval Boughzoul, montrent des caractères morphométries assez particuliers, favorisant, à priori, le ruissellement de surface et le déclenchement de crues rapides : concentration relativement poussée du chevelu hydrographique,

Densité de drainage permanent élevée, pentes des thalwegs les plus fortes.

Tableau 2:Caractéristiques morphométries des bassins versants de la région d'étude.

Sous Bassin	Surface (A) (km ²)	Périmètre (P) (km)	Altitude moyenne (m)	Altitude Minimale (m)	Altitude maximale (m)	Altitude maximale (m)	Indice de pente global (I _g) (m/km)	Dénivelée spécifique (D _s)(m)	Classe de relief
0113	992.85	179.96	900	600	1800	1.60	16.91	532,84	Relief très fort
0114	1383.69	176.81	870	500	1600	1.33	17.67	657,29	Relief très fort
0115	767.29	168.95	600	300	1300	1.70	15.01	415,78	Relief très fort
0116	743.97	142.68	980	300	1800	1.46	19.41	568,42	Relief très fort
0117	857.64	185.65	575	300	1600	1.76	23.87	651,09	Relief très fort
0118	690.55	141.10	610	200	1500	1.51	23.73	619,08	Relief très fort
0119	898.54	173.69	640	200	1700	1.62	21.38	640,87	Relief très fort
0120	570.52	142.58	370	200	1100	1.67	14,49	346,10	Relief très fort
0121	1161.32	212.75	785	200	1800	1.75	18,08	616,13	Relief très fort
0122	1437.44	224.12	375	100	1100	1.66	11,31	428,80	Relief très fort
0123	1405.47	225.	710	100	1700	1.68	17,30	648,58	Relief très fort

Source ABH 2006

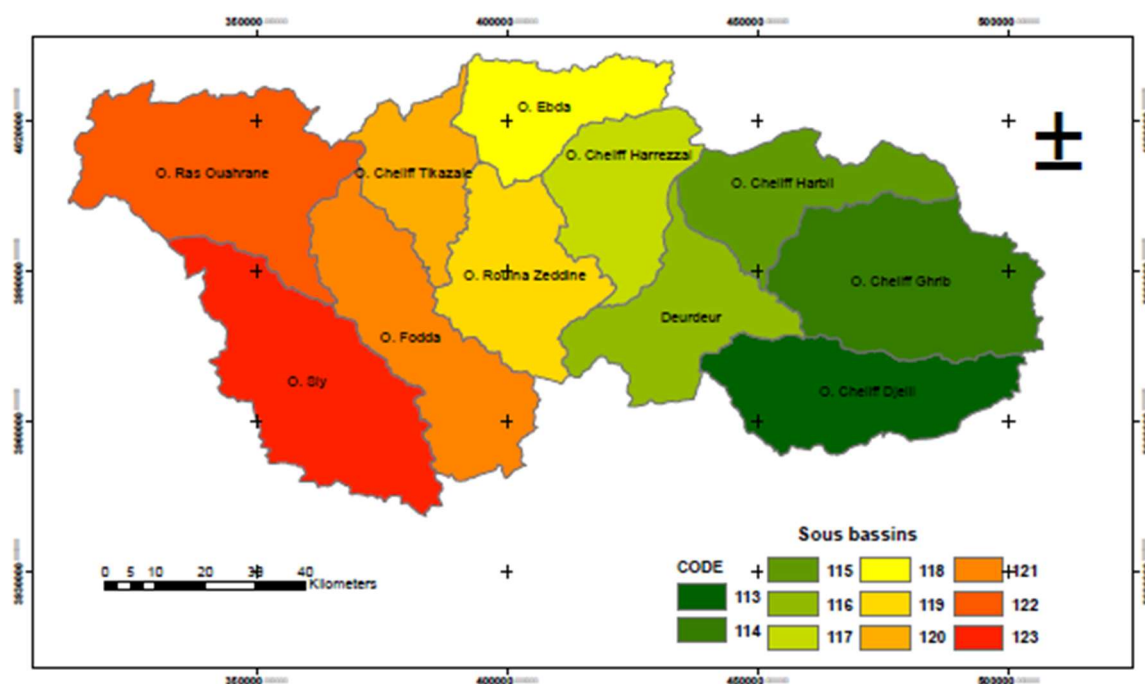


Figure 13: Carte des sous bassin du haut et du moyen Cheliff. (GUENDOUZ.M'Hamed, 2018)

A. Morphologie :

La plaine a une pente relativement faible (15%) (Hattab.M.1998) . Elle est comprise entre les coordonnées suivant :

- 36°12' et 36°17' de latitude Nord, c'est-à-dire entre les communes de Bir-ouel-Khelifa et Miliana
- 2°12' et 2°17' de longitude est entre djebels Doui et gantas (Brahimi, 2016).

La plaine est bordée au Nord par des cônes de déjection qui constituent la zone de transition entre la vallée et la montagne.

Ce secteur est entouré au Nord par le massif de Zaccar et au Sud par djebel Ouarsenis. La cote altimétrique varie de 200 m au niveau de la plaine à 1000 m au niveau des sommets (Ikhlef.S.).

II.3.Population et démographie

La population dans le bassin versant du Haut-Chélif à la fin 2016 était à 833 742 habitants avec un taux d'accroissement de 1,3% dont 82,55% sont concentrés en zones agglomérées et 17,45% uniquement en zone rurale.

Cette population est plus condensée dans les agglomérations qui sont localisée au Nord de la plaine. Les plus significatives sont respectivement d'Est en Ouest : Djendel, Ain sultan, Khemis-

Miliana, Sidi Lakhdar et Aribis, malgré qu'au Sud de la plaine les agglomérations sont minimales et moins denses (Sahraoui.N., 2014)

II.4. Agriculture

La plaine d'El-Khemis est à vocation essentiellement agricole. Sa grande partie est occupée par les cultures maraîchères et arboricultures et l'autre partie est utilisée pour les céréales (OPIC.2003).

II.5.La lithologie du bassin versant

Il est caractérisé par les massifs calcaires crétacés qui représentent des terrains à dominante marneuse qui composent un relief compartimenté (Djebel Gurioum, Fartes...). Les phénomènes karstiques sont très développés dans la partie du Sud de ces massifs calcaires, on distingue aussi les massifs septentrionaux, les plaines plio-quaternaires, les cônes de déjection cimentés, les glaciaires, les zones de remblaiement argilo-limoneux (Demmak.A.).

II.6.Pédologie

La vallée du Chélif est caractérisée par des sols d'apport colluvial et surtout alluvial. La pédogénèse est très marquée par des phénomènes d'hydroorphie, holomorphie, tarification et la rubéfaction qui sont liés aux propriétés morphologiques.

Au périmètre du Haut-Chélif, on distingue

- ✚ Les sols alluviaux sableux de la terrasse moderne du Chélif, qui sont peu évolués, profonds et perméables,
- ✚ Les sols alluviaux de texture limoneuse de la terrasse récente du Chélif, qui sont faiblement argileux,
- ✚ Les sols des terrasses anciennes, qui sont rouges sur tuf ou sur croûte décalcifiée en surface (Boulaine.J., 1957).

II.7.L'occupation des sols

La plaine d'El-Khemis est occupée essentiellement par l'agriculture 65%, et des zones d'urbanisation (semi urbaine et rurale), les routes, bâtiments. La région est à vocation agricole, les cultures herbacées 73,5%, malgré l'importance de l'irrigation la céréale –jachère 45%

Ce sont des céréales d'hiver cultivées en sec, rarement irriguées : le blé dur dominant, blé tendre, Orge, Avoine.

Les cultures maraîchères sont importantes en deuxième place 17% : principalement la pomme de terre.

-L'arboriculture fruitière est la troisième dans la région 10% : agrumes 23%, noyaux et pépins 59%, oliviers 17.8%, Figuiers 0.2% (DSA, 2010).et des cultures industrielles.

Les cultures fourragères en sec (vesce – avoine) et vert (maïs et sorgho) avec d'autre espace.la production animale généralement bovins et ovins et des petits élevages principalement avicoles,
 -Cette culture est irrigable et réparti sur deux plaines : la plaine d'El Khemis (20500Ha) et plaine El-Amra-El Abadia (16 500 ha) irrigués à partire des barrages d'Oued Mellouk et de Sidi Bentaiba.

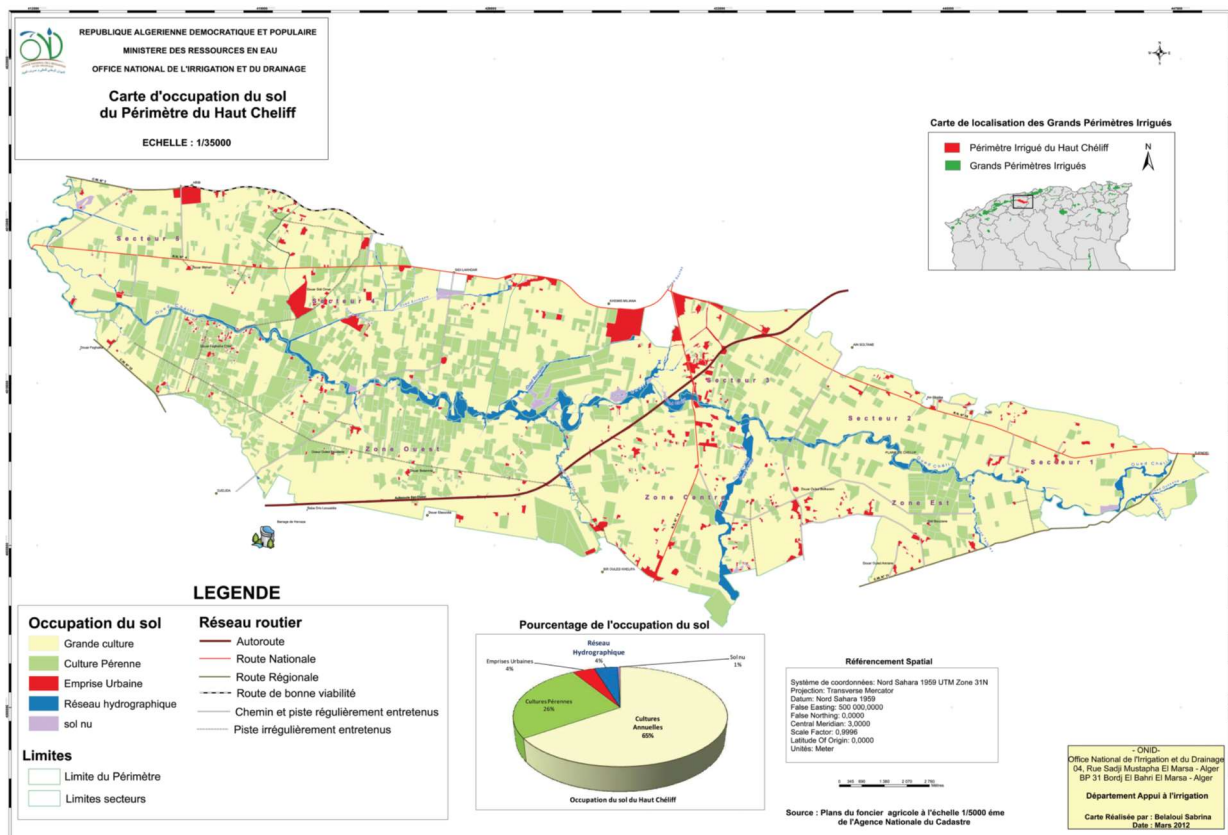


Figure 14: Carte des sous bassin du haut et du moyen Cheliff. (ONID-2012)

II.8.Caractéristiques hydro climatologiques

1. Climatologie

Le climat de la plaine Haut Cheliff est caractérisé par un climat méditerranéen, avec un été très chaud et long et très sec à des hivers pluvieux et froids et des automnes et des printemps très courts malgré leur relative proximité de la mer (50Km environ). Cette classification du climat se base sur les données météorologiques de stations régionales de l'ANRH et de l'ONM sur plus de trente années d'observations (Nefidsa K, 2012).

2. Pluviométrie

Sont dénommées précipitations, toutes les eaux météoriques qui tombent sur la surface de la terre, tant sous forme liquide (bruine, pluie, averse) que sous forme solide (neige, grésil, grêle) et les précipitations déposées ou occultes (rosée, gelée blanche, givre,).

Elles sont provoquées par un changement de température ou de pression. Les précipitations constituent l'unique « entrée » des principaux systèmes hydrologiques continentaux que sont les bassins versants (Hufty, 2001).

Tableau 3:représente les températures moyennes en (°C) et les précipitations moyennes en (mm). (1990-2015) à la Haute-Cheliff Harraza. (Source : ANRH).

Mois	T Moy(°C)	P Moy(mm)
Janvier	9.6	45.06
Février	10.5	50.22
Mars	13.3	39.94
Avril	15.8	36.67
Mai	20.3	22.94
Juin	26.0	8.22
Juillet	30	0.81
Août	29.3	8.17
Septembre	24	25.22
Octobre	20.7	30.18
Novembre	14.1	46.24
Décembre	10.3	47.59
Maximum	30	50.22
Minimum	9.6	0.81
Moyenne	18.35	30.10

La répartition des précipitations moyennes pour la période (1990-2015) montre que le minimum des précipitations s'observe au mois d'Août et Juin et Juillet (0.81mm), (mois les plus secs) et le maximum au mois de février avec (50.22 mm) (mois le plus pluvieux).

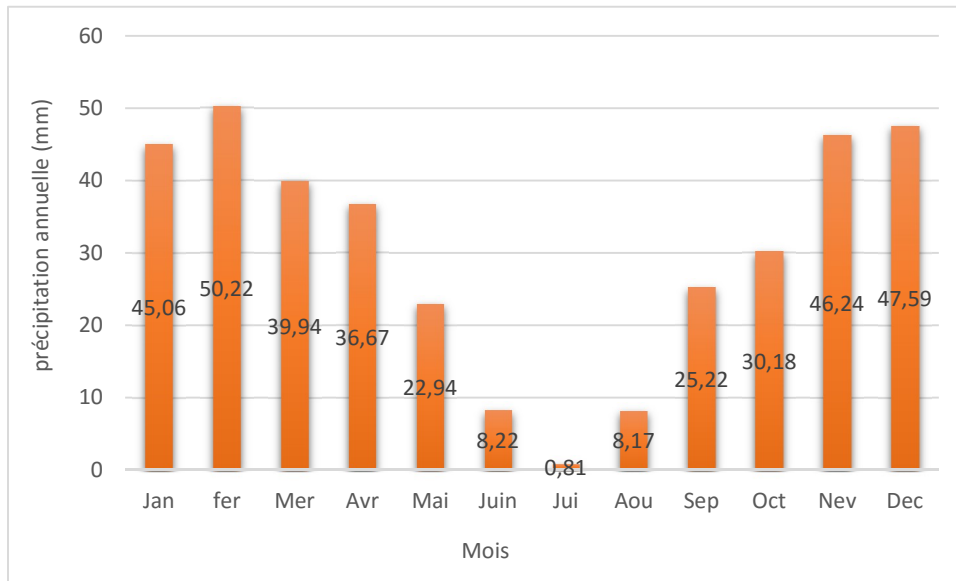


Figure 15: Variation des précipitations moyennes à la Haute-Cheliff-Harraza (1990-2015).

Le diagramme ombrothermique établi à la Cheliff Harraza montre que le mois de février représente le mois le plus pluvieux durant une longue période (1990-2015) de 50.22mm. On constate que la période sèche s'étale du mois mai au mois de novembre représente le mois le plus sec. La période humide s'étale du mois janvier au mois d'avril.

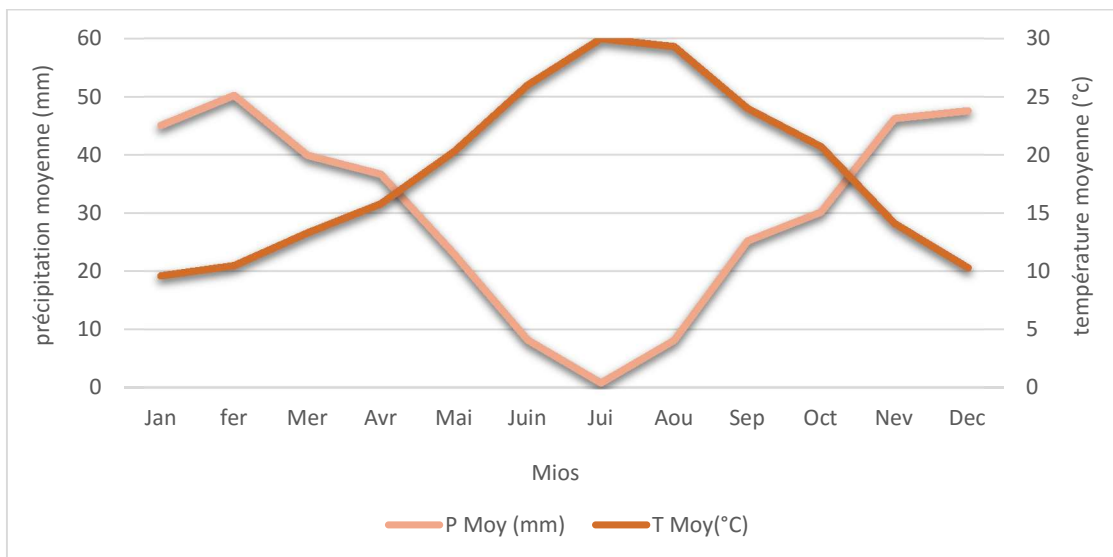


Figure 16: Diagramme Ombrothermique de la haut Cheliff- Harraza (1990-2015).

3. La Température

La température est un des éléments fondamentaux dans l'établissement du bilan hydrologique et dans la détermination du caractère climatique d'une région. Les données existantes sont celles des stations gérées par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH).

Les températures moyennes annuelles les plus élevées sont enregistrées dans la plaine du Haut Cheliff, elles varient entre 29.3 et 30°C à la station de Cheliff-Harraza. Les plus basses sont enregistrées dans les altitudes Nord et Sud ; elles varient entre 9.6 et 10.5 °C.

II.9.Réseau hydrographique :

L'Oued Cheliff, le cour d'eau le plus important de l'Algérie, la plaine est séparée de la plaine du moyen Cheliff par le seuil du Doui qui constitue un barrage relativement étanche entre les deux bassins, l'écoulement dans le Cheliff est quasi nul, son alimentation étant essentiellement due aux irrigations s'ajouter quelque faible débit provenant des lâches du barrage Ghrib ou Deurdeur ou Harraza. En hiver ; les eaux issues des principaux affluents représentés par les Oueds Souffay, Boutane, Rayhane ou nord et les Oueds Deurdeur, Massine et Harraza ou sud. Sont collectées au centre de la plaine par l'Oued Cheliff qui chaine toutes les eaux du bassin versant vers l'exutoire (Hattab.M.1998) (Sogreah, 1984).

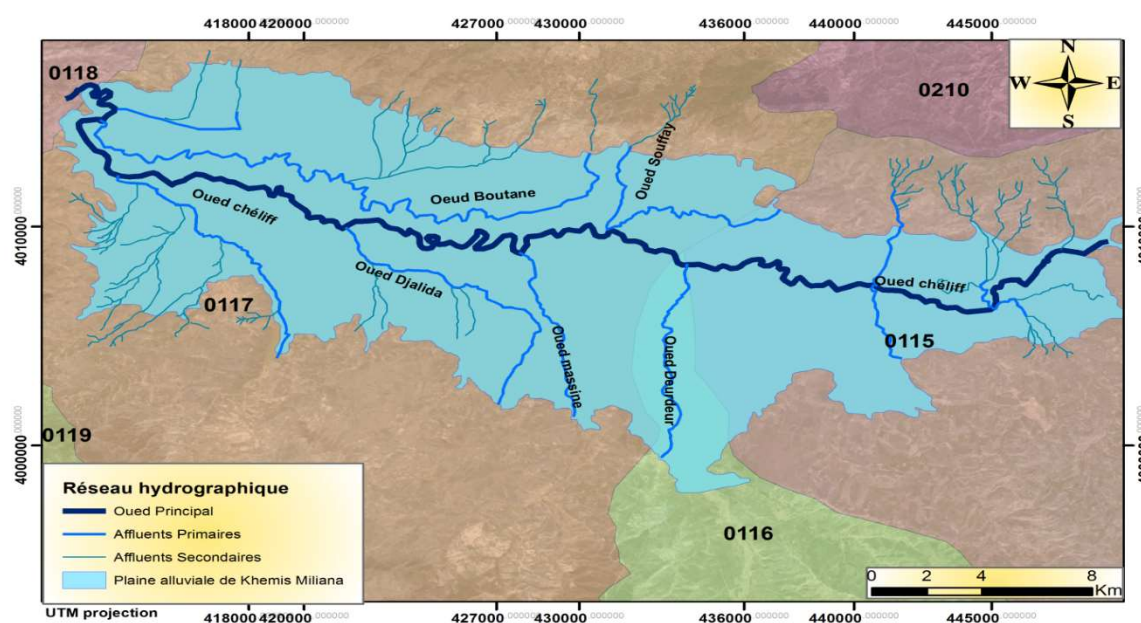


Figure 17: Réseau hydrographique de la Plaine de Khemis Miliana (DSA, 2010)

II.10.Stations hydrométriques du bassin du Haut Cheliff

Le réseau d'observation de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) compte 11 stations hydrométriques.

Tableau 4 : Caractéristiques des stations hydrométriques situées dans le bassin du Haut et du Moyen Cheliff.

Code	Dénomination	Mises- En Service	Superficie Contrôlé (Km2)	Période D'observation	Date	Q max (M3/S)	Date	Q max D'année (M3/S)
011407	GHRIB AMONT	01/10/19 76	1898	76-95	09-79	402.0	*	*
011501	TAMZGUIDA	01/09/19 70	157	70-91	12-88	147.0	*	*
011514	SIDI BOUABDELAH	01/ 12/1990	22580	90-01	01-91	173.4	Sep- 01	6.1
011601	MARABOUT BLANC	01/12/19 90	500	90-01	09-94	432.0	Sep- 01	2.2
011702	ARIB CHELIFF	01/02/19 73	2452	68-01	03-73	562.2	Nov- 01	6.7
011715	EL ABABSA	01/09/19 72	102	73-00	10-94	58.8	-	-
011801	ARIB EBDA	01/09/19 70	270	83-94	12-88	175.0	*	*
011905	BIR OULED TAHAR	01/09/19 89	435	90-01	05-97	191.0	Nov- 01	0.7
012001	EL ABADIA 1	01/02/19 68	26414	80-91	01-91	952.8	*	*
012004	TIKAZAL	01/09/19 72	130	-	-	-	-	-
012201	OULED FARES	01/09/19 72	262	83-93	05-91	130.6		
012203	PONTEBA DEFLUENT	01/09/19 58	27880	83-93	12-88	1300.0	Oct- 01	0.7

(*) Données Manquantes.

(Source ABH , 2006)

(-) Station hors service.

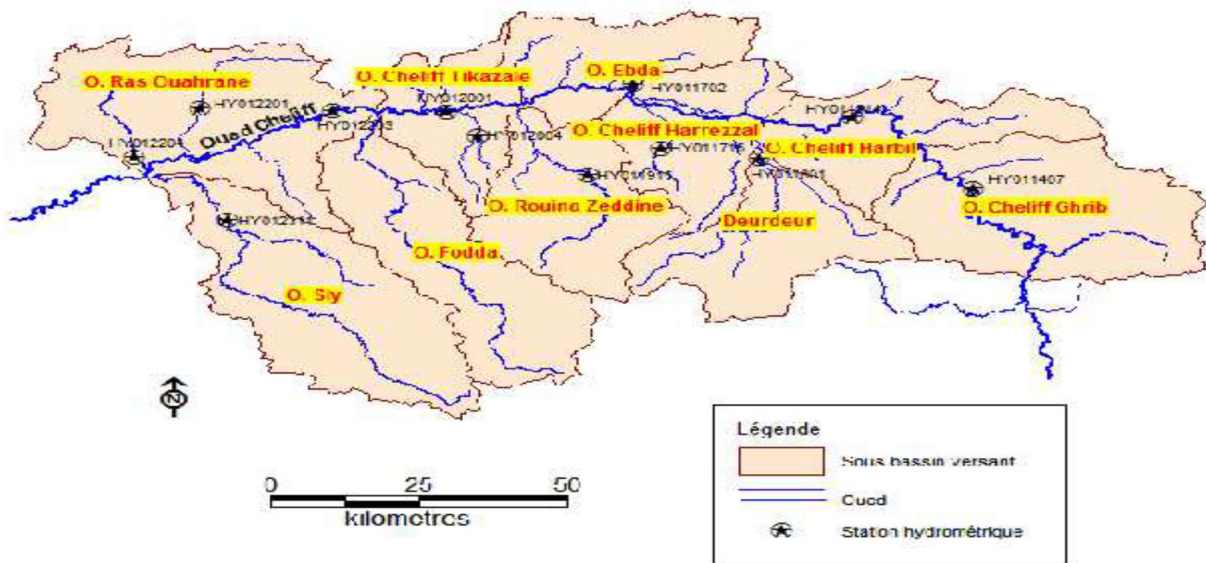


Figure 18: Localisation des stations hydrométriques du bassin haut et moyen Cheliff (DSA, 2010)

II.11.Géologie et hydrogéologie

1. Géologie

La plaine proprement dite est constituée par des alluvions récentes du Cheliff, formée de galets, graviers, sables sous-jacents à des niveaux argileux et limoneux dominant. On note les alluvions anciennes de nature très diverse mais à fort pourcentage argileux en général.

En fin une carapace calcaire de tufs blanchâtres, compacts ou pulvérulents est particulièrement développée au sud de la plaine (Sahraoui.N., 2014) .

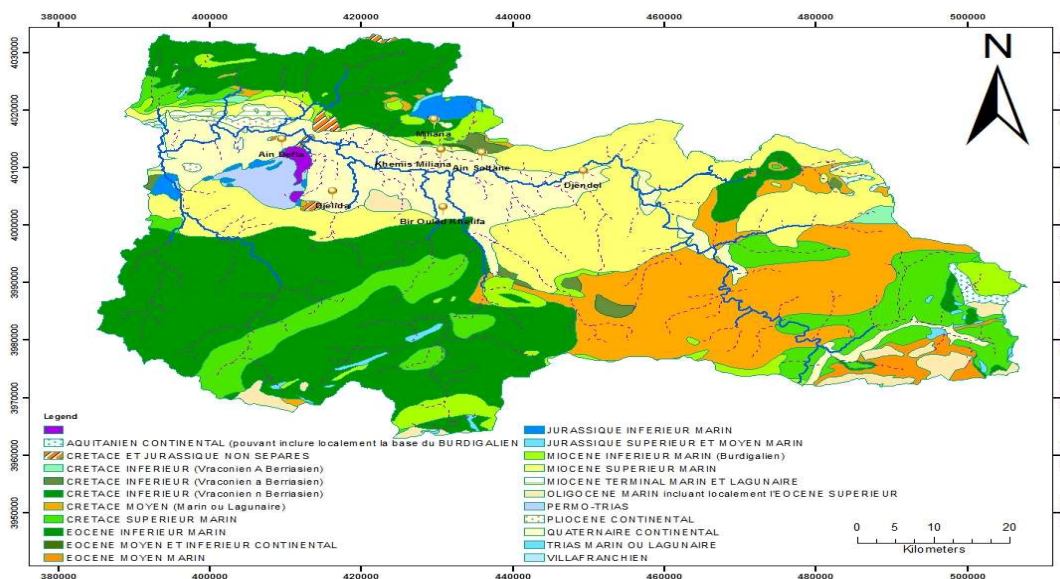


Figure 19: Carte Géologique du Haut Cheliff (GUENDOZ.M'Hamed, 2018)

2. Hydrogéologie

La plaine alluviale du Haut Cheliff est un remplissage alluvionnaire d'âge Moi-Plio-Quaternaire, représenté par des dépôts alluvionnaires comme du quaternaire et des grès de Moi- Plio- Quaternaire d'une épaisseur de 50 m à 100 m au niveau d'Oued Cheliff et d'une résistivité de 100 ohm. m. Le marne constitue le substratum de cet horizon aquifère

L'alimentation de cette nappe est assurée par les eaux d'infiltration des :

- Précipitation tombée sur la plaine.
- Eaux de ruissellement des Oueds (Deurdeur, Cheliff, Souffay, Boutane).
- Eaux d'irrigation excédentaire.

Tableau 5: comportement hydrogéologique des différentes formations de la plaine du Haut Cheliff

Formations	Epaisseur (m)	Age géologique	Comportement hydrogéologique	Type de nappe
Limons	6-20	Quaternaire	Imperméable	Peuvent rendre la nappe des alluvions captives
Alluvions Grossière	50-150	Quaternaire	Perméable (Porosité d'interstices)	Captive à semi -captive (parfois libre)
Marnes	200	Pliocène	Imperméable	-
Grés et Poudings	100-200	Miocène	Perméable (porosité d'interstices)	Nappe captive à semi captive

(Ikhlef.S.)

Dans ce chapitre, nous pouvons conclure, que notre zone d'étude possède un climat semi-aride de type méditerranéen, ainsi elle est caractérisée par des étés chauds et des hivers tièdes.

La zone d'étude est caractérisée par des reliefs forts et très forts qui favorisent le Phénomène de l'érosion et par conséquent le transport solide.

Elle est caractérisée aussi Par un sol nu et rocheux dont la couverture végétale est très dégradée.

Chapitre III

Méthodes Et Moyens



III.1. Collecte et dépouillement de données

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

Les données utilisées dans notre recherche proviennent de l'(ANRH), elles sont prélevées à la station d'Arib Cheliff. Le mode de prélèvement suivi consiste à faire des prélèvements quotidien d'échantillon d'eau dans des bouteilles en matière plastique, à analyser au laboratoire pour la détermination des concentrations en matières

Solides et autres caractéristiques (analyses chimiques). Le prélèvement est donc ponctuel avec multiplication du nombre de prélèvement en période de crues ou à débit variable (prélèvement chaque pas de temps restreint « 15 mn par moment ». Le prélèvement de fait manuellement par l'opérateur de la station, l'inconvénient majeur réside dans ces prélèvements manuels en particulier en période de crue, car ils deviennent extrêmement difficiles et risqués. Dans ces cas les prélèvements se font tout près de la rive. Mais malgré la simplicité de la prise d'échantillons et l'inconvénient précité leurs utilisations dans l'estimation des apports solides reste meilleurs que l'utilisation des modèles empiriques (BOUCHELKIA H, 2003)

La collecte consiste en un dépouillement systématique de tous les fichiers de hauteurs d'eaux (débits liquides exprimés en hauteurs) et leurs concentrations en matières solides en suspensions correspondantes (en g/l). A partir des feuilles d'analyses chimiques de l'eau, relatives à Oued CHELIF ; contrôlé par la station de Arib cheliff à l'exutoire du grand bassin de CHELLIF et grâce au barème d'étalonnage des courbes de tarages érigées par L'A.N.R.H), trois types de fichiers sont dressés :

- ✚ Un fichier présentant une série continue et la plus longue possible, de débits liquides moyens journaliers en (m³/s).
- ✚ Un fichier présentant une assez longue série de couples (débit liquide (m³/s), débit solide (Kg/s)).
- ✚ Un fichier présentant une assez longue série de couples (débit liquide (m³/s), concentration solide (g/l)).

Tous ces fichiers sont réalisés sur une période s'étalant de 1990 à 1999. En érigeant ces deux fichiers de bases, il a été remarqué que les concentrations en matières solides en suspensions étaient très élevées en périodes de crues, c'est-à-dire que les débits solides sont importants dans ces périodes ; ainsi donc une estimation des transports solides en suspension à partir des débits de crues s'impose (BOUCHELKIA H, 2004)

III.1.2. Estimation des Apports Solides :

Notre étude sera menée par une approche d'estimation dont les démarches à suivre sont présentées précédemment :

- ✚ Une quantification par modélisation statistique
 - L'approche sera appliquée pour le bassin versant en question selon les modes d'estimation suivants:
- ✚ Une estimation du transport solide à partir des débits moyens journaliers.
- ✚ Une estimation du transport solide à partir des crues.

III.2. Méthodologie

La méthode d'échantillonnage systématique du transport solide sur la plupart des cours d'eau algériens sont l'échantillonnage uni ponctuel. Un échantillon est prélevé par l'observateur en un point de la section mouillée au niveau de la station hydrométrique. L'analyse de laboratoire des échantillons prélevés est effectuée selon les procédés classiques à savoir filtrage, séchage à l'étuve et pesée. L'évaluation du transport solide durant une crue est effectuée de la même façon que pour les débits liquides, sur la base d'un dépouillement des enregistrements.

Concernant les débits liquides, les lectures de hauteur d'eau sont transformées en débits liquides grâce aux courbes d'étalonnage établies par les services de l'agence nationale des Ressources hydrauliques.

Le nombre des prélèvements, leur échelonnement correct dans le temps conditionne la fiabilité et la précision de la relation de puissance débit solide - débit liquide.

Pour déterminer la relation débit solide – débit liquide, une approche à différentes échelles temporelles, basée sur les modèles de régression, est adoptée, en tenant compte de la donnée hydro pluviométrique des différents bassins. (Bouanani, 2004.)

III.3. Matériel

XLSTAT est un logiciel de statistiques et d'analyse de données développé depuis 1993 qui vient renforcer les capacités analytiques de Microsoft Excel.

Ce logiciel a été utile dans la mise en œuvre des procédures statistiques mentionnées ci-dessous. Il permet notamment de visualiser et de stocker les résultats sous format numérique mais aussi graphique.

Le but de ce travail à travers le traitement des débits instantanés est de voir comment se présente l'écoulement durant la période hydrologique allant 1989/1999 à 1990-99/2001.

quelles est la meilleure corrélation, pouvant nous aider dans la recherche des modèles entre le débit solide-débit liquide pour le bassin versant des deux station hydrométrique 011601 et

011905 le choix de ces stations est basé sur la bonne corrélation entre débit solide et débit liquide et la forme de régression obtenue.

Il existe donc une relation entre les débits liquides et les débits solides. Pour calculer ces derniers, on procède comme suit : les débits liquides instantanés exprimés en m³/s sont obtenus à travers les débits solides instantanés par l'intermédiaire des concentrations qui sont exprimées en gramme par litre via la relation $qs = c * ql$.

En général cette méthode consiste à apporter la donnée point par point puis à ajuster une équation à partir de nuage de points $qs = f(ql)$.

Tableau 6: données collectées des débits liquides et débit solide dans la station 11702

Station	Jours	Heure	Hauteur	Ql (m ³ /s)	Concent (g/l)	Qs (kg/s)
11702	26/03/1990	1300	54	1,196	19,09	22,832
11702	11/04/1990	1320	62	1,788	2,02	3,612
11702	30/04/1990	1320	78	3,376	14,83	50,066
11702	17/07/1990	1415	164	14,160	5,97	84,535
11702	18/07/1990	1330	114	7,480	28,47	212,956
11702	21/07/1990	1300	74	2,932	49,25	144,401
11702	23/07/1990	1305	72	2,716	81,14	220,376
11702	24/07/1990	1300	61	1,704	73,22	124,767
11702	25/07/1990	1420	54	1,196	1,02	1,220
11702	22/02/1990	1300	134	9,920	3,28	32,538
11702	28/02/1990	1300	100	5,800	1,61	9,338
11702	4/03/1990	1310	75	3,040	1,89	5,746
11702	26/01/1992	1000	300	33,600	12,30	413,280
11702	26/01/1992	1110	330	40,700	2,43	98,901
11702	7/05/1993	1300	154	10,056	4,40	44,246
11702	8/05/1993	0700	73	2,820	1,10	3,102
11702	17/10/1994	1900	90	3,000	41,90	125,700
11702	18/10/1994	1300	68	0,874	55,77	48,743
11702	7/05/1995	1300	104	5,100	3,79	19,329
11702	27/09/1995	0700	132	9,300	7,80	72,540
11702	08/10/1995	1300	148	11,700	3,75	43,875
11702	9/10/1995	0700	171	15,780	6,77	106,831
11702	2/06/1998	1300	165	3,500	0,77	2,695
11702	3/06/1998	1300	153	0,902	1,47	1,326
11702	6/01/1999	1300	146	-999,000	20,60	0,000
11702	7/01/1999	1300	146	-999,000	18,17	0,000
11702	8/01/1999	1300	158	-999,000	22,31	0,000

III.4. Méthode de travail

L'analyse de la relation de puissance à l'échelle du bassin versant haut Chélif laisse apparaître une certaine tendance d'évolution des paramètres **a** et **b**.

La série chronologique des débits solides instantanées (**kg/s**) fournit des données utiles sur le comportement des oueds, comme la concentration des matières en suspension totales est en partie liée au débit, cette charge augmente parallèlement à l'accroissement du débit.

$$Q_s = a Q_l^b$$

Q_s: débit solide (**kg/s**)

Q_l : débit liquide (**m³/s**).

Evolutions des débits solides en fonction des débits liquides.

La mobilisation des matériaux solides sur les versants et leur transport éventuel par les cours d'eau, représentent deux phénomènes distincts, mais liés entre eux. Le débit solide moyen des sédiments en suspension qui transitent sur une section d'écoulement moyen est calculé par le produit de la concentration moyenne des sédiments en suspension c_s par le débit liquide moyen q_l durant une période de temps donné. $Q_s = q_l c_s$.

Depuis longtemps, on a essayé de corréliser les débits solides aux débits liquides et de déterminer une relation qui permettait d'estimer les premiers à partir des seconds. A ce titre, nous citons les travaux de jakuschoff (1932) sur les rivières de turquie et ceux de straub (1936) sur le fleuve du missouri (usa) (einstein. 1950, leopold. Et al. 1953).

La concentration des sédiments en suspension c_s et le débit liquide évoluent en général suivant un modèle de puissance $y = a x^b$ (et hanchu et al. 1986 ; walling. et al. 1981 ; wood p., 1977).

$$C_s = a Q_l^{b-1}$$

Une autre relation empirique communément appelée courbe du transport solide (cambell f.b. et al. 1940 ; crawford, 1991) lie le débit solide au débit liquide :

$$Q_s = a Q_l^b$$

Ce type de relation a été proposé dès 1895 par kenedy, (einstein, 1989). 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 états 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.

III.5. Mise en forme et traitement des données

Nous avons basé le traitement des données sur le logiciel Excel, nous avons sélectionnés les crues instantanées (débits liquides et solides) dans les 11 stations hydrométriques retenues dans notre travail, ensuite nous avons tracé des nuages de point à savoir l'évolution des débits liquides et des débits solides. Ainsi que la relation puissance $qs=f(ql)$.

Signalons toutefois que l'interprétation de la relation turbidité-débit est rendue difficile par le fait que les débits sont mesurés de façon continue (limnigraphes) alors que la charge en suspension est mesurée de façon ponctuelle (prélèvement d'un échantillon d'eau par jour en moyenne on parfois plusieurs en cas de forte crue).

Les mesures de turbidité sont faites selon la méthode classique qui consiste à filtrer sur papier-filtre les échantillons d'eau prélevés pour déterminer-après séchage à l'étuve et élimination par calcination des matières organique – le point de la boue qui est ramené à une unité de volume (litre). Cette boue représente donc les éléments fins véhiculés en suspension (argile, limon, sables fins et très fins) provenant des versants et des lits fluviaux (fond et berges). Leur entrainement est dû à l'interaction de divers facteurs physico géographique (intensité et durée des précipitations, topographie, taux de couverture végétale, caractéristiques granulométriques des formations de pente et des sols...) déterminant l'efficacité de l'érosion hydrique. Cette efficacité de l'érosion, fortement liée au ruissellement, est très variable à l'échelle du bassin, ce qui détermine des nuances spatiales marquées dans la turbidité des oueds.

Après avoir tracé tous les modèles puissance pouvant expliquer la relation débit liquide débit solide dans toutes les stations retenues, l'interprétation et la discussion des résultats sera basé sur les trois échelles :

- ✚ Echelle saisonnière
- ✚ Echelle annuelle
- ✚ Echelle mensuelle

III.6. Etude statistique

1. Moyenne arithmétique

Dans le cas de variable continues

$$\bar{x} = \sum_1^n \frac{x_1}{n}$$

Avec :

- ✚ \bar{x} : la moyenne arithmétique.
- ✚ N : le nombre d'observation.

1. Écart-type

$$S^2 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

Avec

✚ S^2 : l'écart-type

✚ \bar{x} : la moyenne arithmétique

2. Coefficient de variation

$$C_v = \frac{S^2}{\bar{x}}$$

3. Calcul des apports solides totaux

Le flux annuel des matières solides en suspension exporté par l'oued étudié est calculé par la Formule:

$$A_s = \sum_{j=1}^N (t_{j+1} - t_j) Q_j C_j$$

Où c_j est la concentration mesurée à l'instant t_j ; q_j correspond au débit liquide à l'instant t_j ; n est Le nombre de prélèvements effectués sur l'année considérée; et $t_{j+1} - t_j$ est le pas de temps séparant deux prélèvements consécutifs

Les paramètres statistiques des variables étudiées (concentration, débit liquide et débit solide) Sont donnés par station au tableau

Tableau 7:paramètres statistiques des variables (concentration, débit liquide, débit solide)

Station	Variables hydrométrique	Nombre Observation	Max	Min	Moyenne	Ecart type	Coefficient de variation (%)
11407	C (g /l)	246	280.53	0	30.66	47.39	154%
	Ql (m/s)		270	0	36.58	48.77	133%
	Qs (kg /S)		9302.44	0	929.63	1914.8	205%
11501	C (g /l)	45	154.71	0	60.46	59.42	98%
	Ql (m/s)		71.6	0	21.61	23.67	109%
	Qs (kg /S)		9254.76	0	2518.707	3185.3	126%
11514	C (g /l)	727	205	0	15.341	25.66	167%
	Ql (m/s)		173	0	17.886	23.62	132%
	Qs (kg /S)		9089	0	350.172	969.40	276%

11601	C (g/l)	699	991	0	34.523	61.081	176%
	Ql (m/s)		361	0	10.710	22.044	187%
	Qs (kg/S)		9868.516	0	540.831	1383.1 55	255%
11702	C (g/l)	622	162	0	17.959	27.095	150%
	Ql (m/s)		311.2	0	28.532	41.760	146%
	Qs (kg/S)		9529.22	0	607.401	1348.0 30	221%
11715	C (g/l)	676	883.6	0	44.04	51.821	117%
	Ql (m/s)		80	0	9.21	11.333	123%
	Qs (kg/S)		9089.48	0	474.32	1006.9 65	212%
11801	C (g/l)	593	201.73	0	20.203	37.915	187%
	Ql (m/s)		134	0	13.787	22.983	166%
	Qs (kg/s)		9689.25	0	403.822	1168.4 00	289%
11905	C (g/l)	1755	497.64	0.1	39.090	57.44	146%
	Ql (m/s)		165.350	0	4.70	11.90	253%
	Qs (kg/S)		9983.833	0	331.062	991.20	299%
12001	C (g/l)	203	217	0	16.439	34.690	211%
	Ql (m/s)		350	0	16.83	35.103	214%
	Qs (kg/S)		255270	0	502.359	2208.1 09	439%
12201	C (g/l)	335	738,33	0.1	33.80	94.903	280%
	Ql (m/s)		115	0	6.68	12.900	193%
	Qs (kg/S)		32492,16	0	814.83	3516.0 49	431%
12004	C (g/l)	286	1216.61	0.1	56.17	97.40	173%
	Ql (m/s)		45.80	0	2.23	5.40	242%
	Qs (kg/S)		2118.67	0.01	157.82	442.77	280%

D'après le tableau 8, nous constatons une variation très importante des débits solides, témoignés par des valeurs très élevées du coefficient de variation 431% et 439% de la station 012201,012001 respectivement.

Chapitre IV

Discussions des résultats

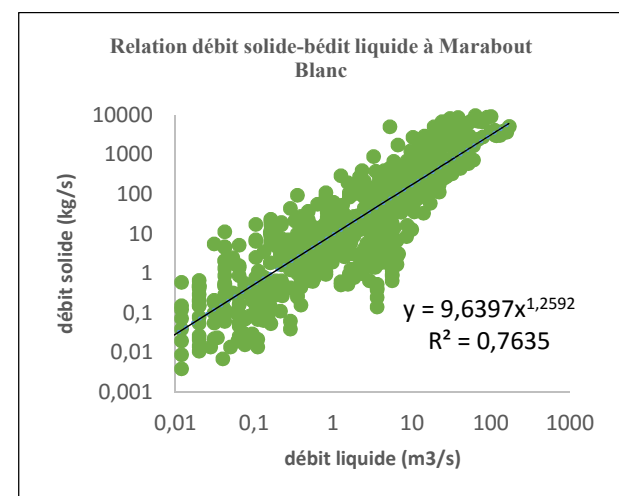
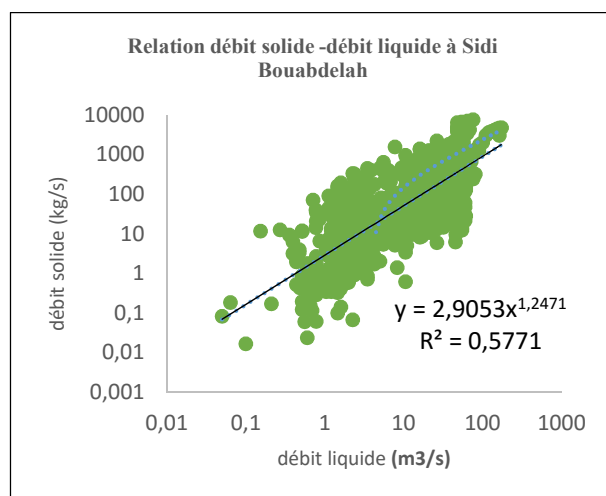
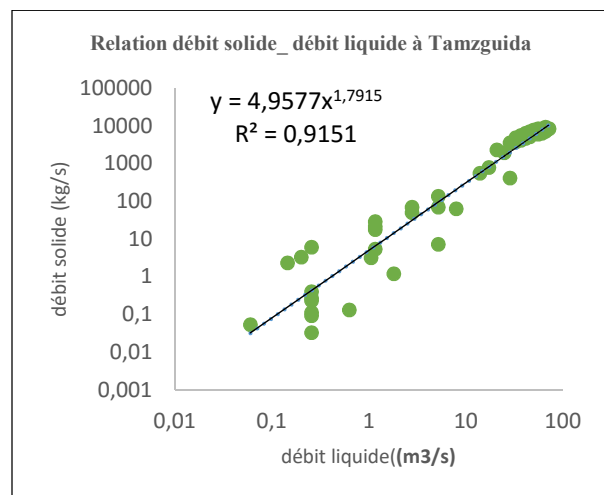
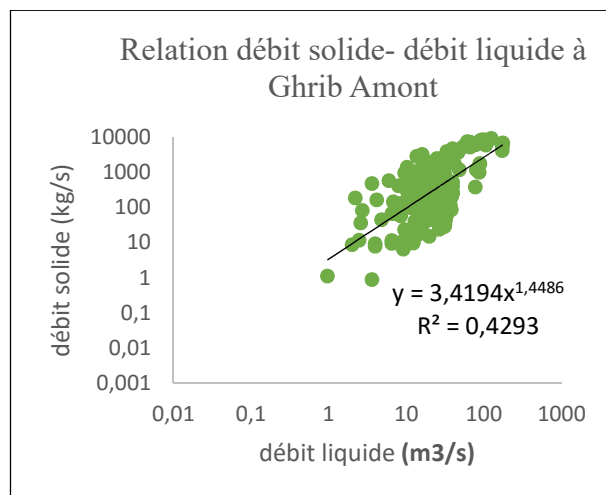


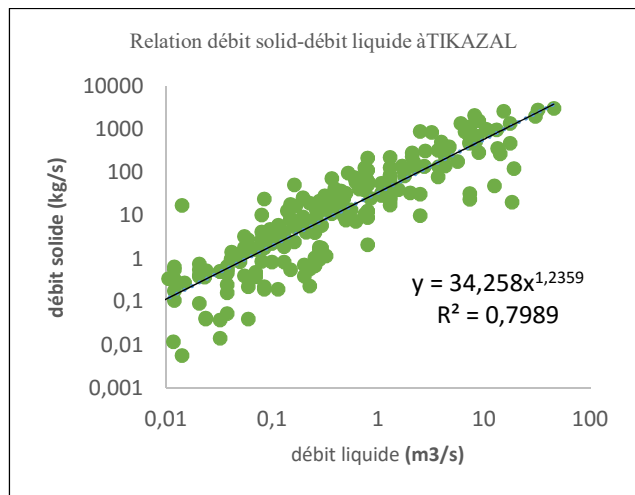
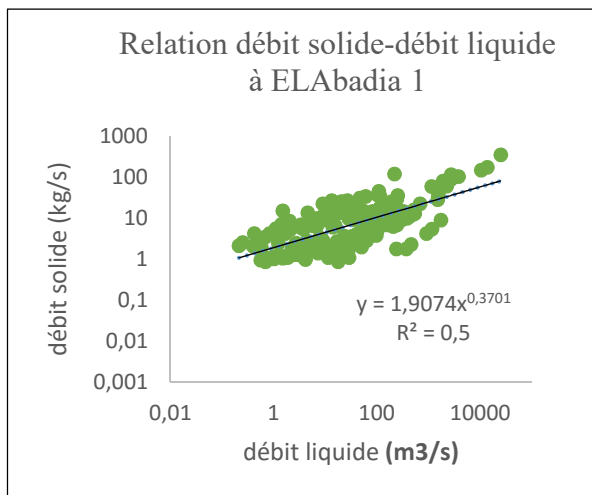
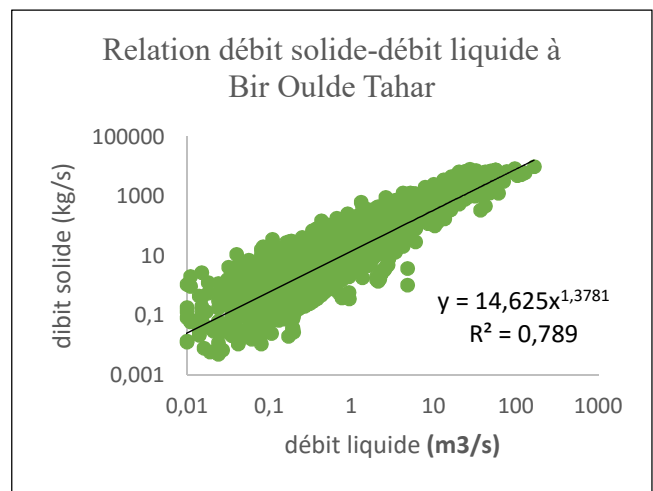
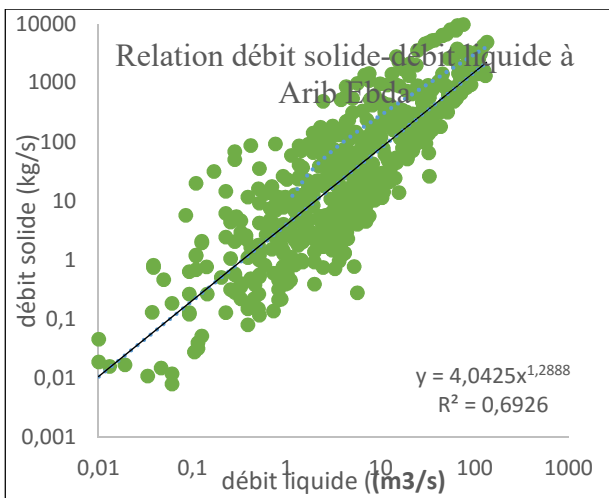
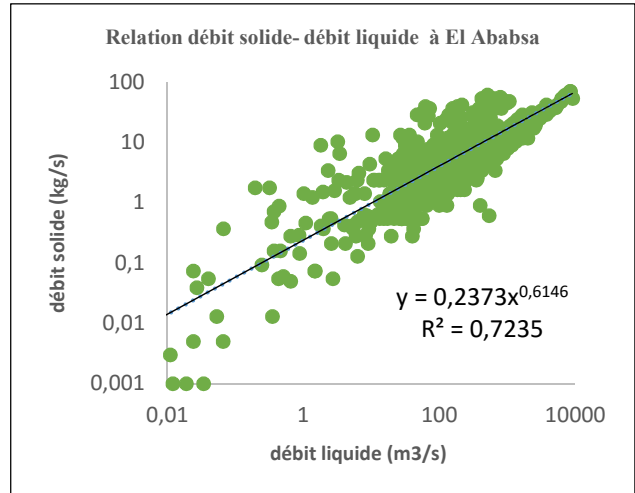
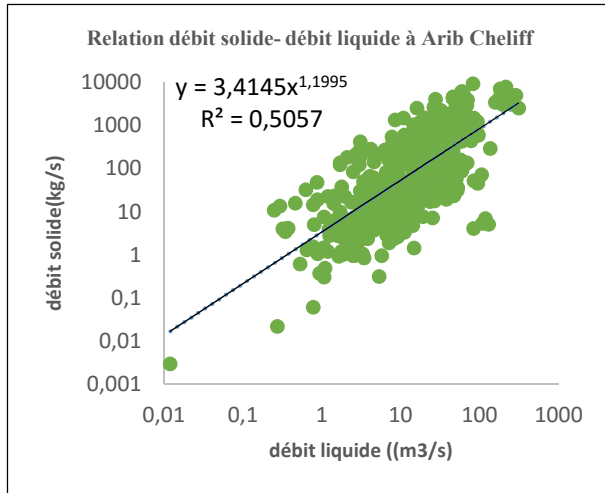
IV.1. Établissement de régression entre débit liquide et débit solide

Les données ont été traitées sur différentes échelles : annuelle et saisonnière, mensuelle, afin d'établir les modèles régressifs, et d'avoir une première idée sur la dynamique du transport solide en l'occurrence relation débit liquide-débit solide.

L'étude porte sur les valeurs instantanées des débits liquides en **m³/s** et des débits solides en **kg/s** de différentes stations de mesure, on a sélectionné les crues, les couples des valeurs sélectionnés sont portées sur un graphique. Le regroupement a été effectué à l'échelle annuelle, et suivant quatre saisons : automne (Septembre-Novembre), hiver (Décembre-Février), printemps (Mars-Mai) et l'été (Juin-Aout). On a éliminé les valeurs nulles et négatives pour travailler sur le modèle puissance. (Allaouia.Narimene., 2019)

IV.1.1. Échelle annuelle





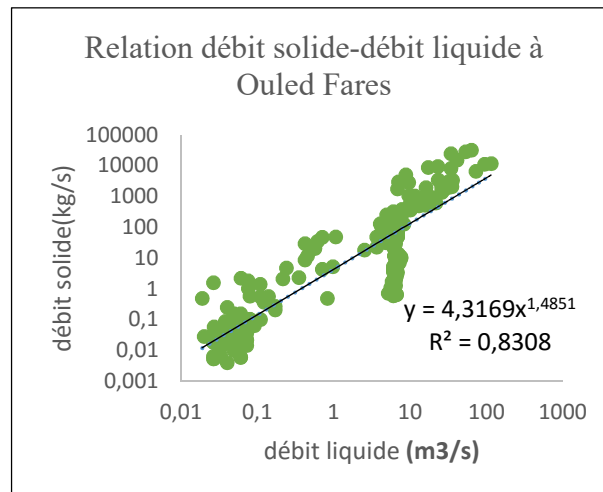


Figure 20: Relations débits solides en fonction des débits liquides à l'échelle annuelle aux différentes stations étudiées

L'écoulement à trouve le débit enregistre peut générer un débit solide correspondant Pour les 11 stations le modèle puissance est dominante dont le débit des matières solides en suspension en kg/s au débit liquide en m³/s. Une première analyse, montre des faibles débits liquides généralement dans les mois d'été le débit (moins de 1 m³/s) peuvent être associés de forts débits solides (plus de 10 kg/s) déclenchés sûrement à la suite d'orages violents.

De même, des fortes valeurs des débits liquides n'ont engendré qu'un faible transport solide dû à la vidange survenue à la suite d'une crue importante.

Les valeurs des paramètres **a** et **b** de la relation $Q_s = aQ_l^b$ varient peu d'une station à l'autre. Pour le paramètre a, il varie à 0.23 pour la station EL ABABSA à 9.63 pour la station MARABOUT BLANC. L'exposant b est compris généralement entre 0.6 et 1.79 qui s'approchent de 2, et nous avons noté une valeur maximale atteindre de 3.37 pour la station EL ABADIA 1. Ont signalé aussi une faible valeur de coefficient de corrélation pour la station ARIB EBDA à 0.3.

Les valeurs de R^2 sont très variés d'une station à l'autre on remarque une valeur très important 0,915 pour la station Tamezguida et des valeurs assés importantes entre 0.6 et 0.8 pour les stations Marbout blanc, El Ababssa, Tikzel ; Ouled Faresse et Bir Oulde Taher qui explique la bonne corrélation entre le débit liquide Q_l et le débit solide Q_s . R^2 enregistre pour la majorité des stations dépasse 50%.

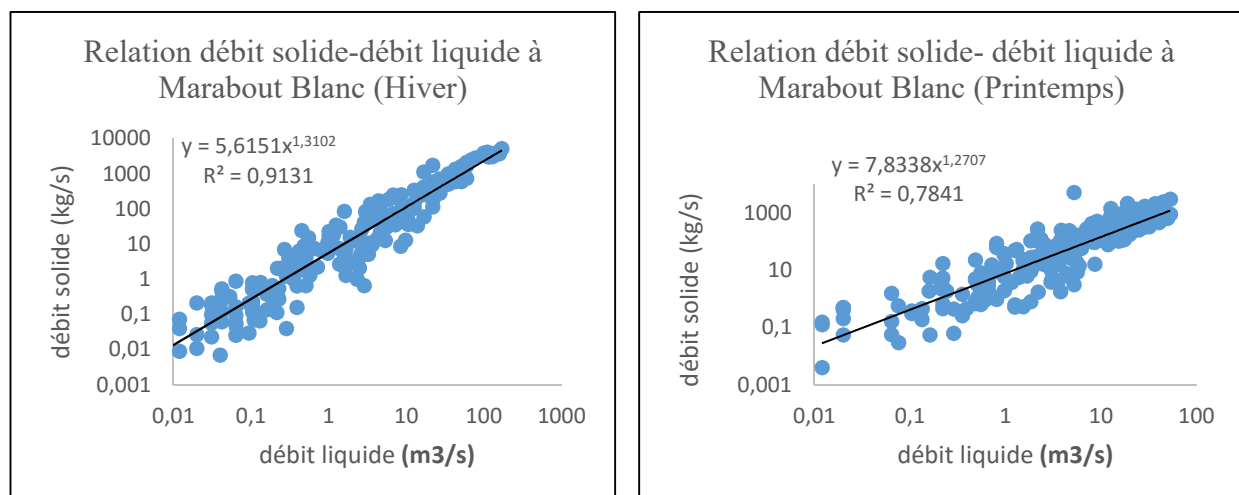
Tableau 10 : Paramètre de la relation débit solide – débit liquide

Cod -stat	Station	Période	a	b	R ²	Equation (modèle)
011407	Ghrib amont	1989/94	3,4194	1,4486	0,4293	$Q_s = 3,4194Q_l^{1,4486}$
011501	Tamzguida	1990/91	4,9577	1.7915	0,9151	$Q_s=4,9577Q_l^{1,7915}$
011514	Sidi bouabdelah	1991/99	2,9053	1,2471	0,5771	$Q_s= 2,9053Q_l^{1,2471}$
011601	Marabout blanc	1990-99/2001	9,6397	1,2592	0,7635	$Q_s= 9,6397Q_l^{1,2592}$
011702	Arib cheliff	1990/99	3,4145	1,1995	0,5057	$Q_s= 3,4145Q_l^{1,1995}$
011715	El ababsa	1990/97	0,2373	0,6146	0,7235	$Q_s = 0,2373Q_l^{0,6146}$
011801	Arib ebda	1989/95	4,0425	1.288	0,3714	$Q_s = 4,0425Q_l^{1,2888}$
011905	Bir ouiled tahar	1989/99	14,625	1.3781	0,6658	$Q_s= 14,625Q_l^{1,3781}$
012001	El abadia	1990-92/1994	1,9074	3,3701	0,5	$Q_s= 1,9074Q_l^{0,3701}$
012004	Tikzal	1989-90/92-94/2000-03	34,258	1,2359	0,7989	$Q_s= 34,258Q_l^{1,2359}$
012201	Ouled fares	19989-90/92-95/02-03	4,3169	1,4851	0,8308	$Q_s= 4,3169Q_l^{1,4851}$

IV.1.2. Echelle saisonnier

Pour étudier les réponses des bassins aux débits liquides et matières en suspension au cours de l'année hydrologique, nous avons jugé utile de regrouper suivant différentes saisons les valeurs instantanées (prélevées au niveau de chaque bassin aux différentes périodes d'étude) et d'analyser la relation liant les débits liquides aux débits solides en suspension.

La figure n°20, représente les relations entre le débit solide et débit liquide pour la station hydrométrique (Marabout Blanc et Bir Ouled Tahar).



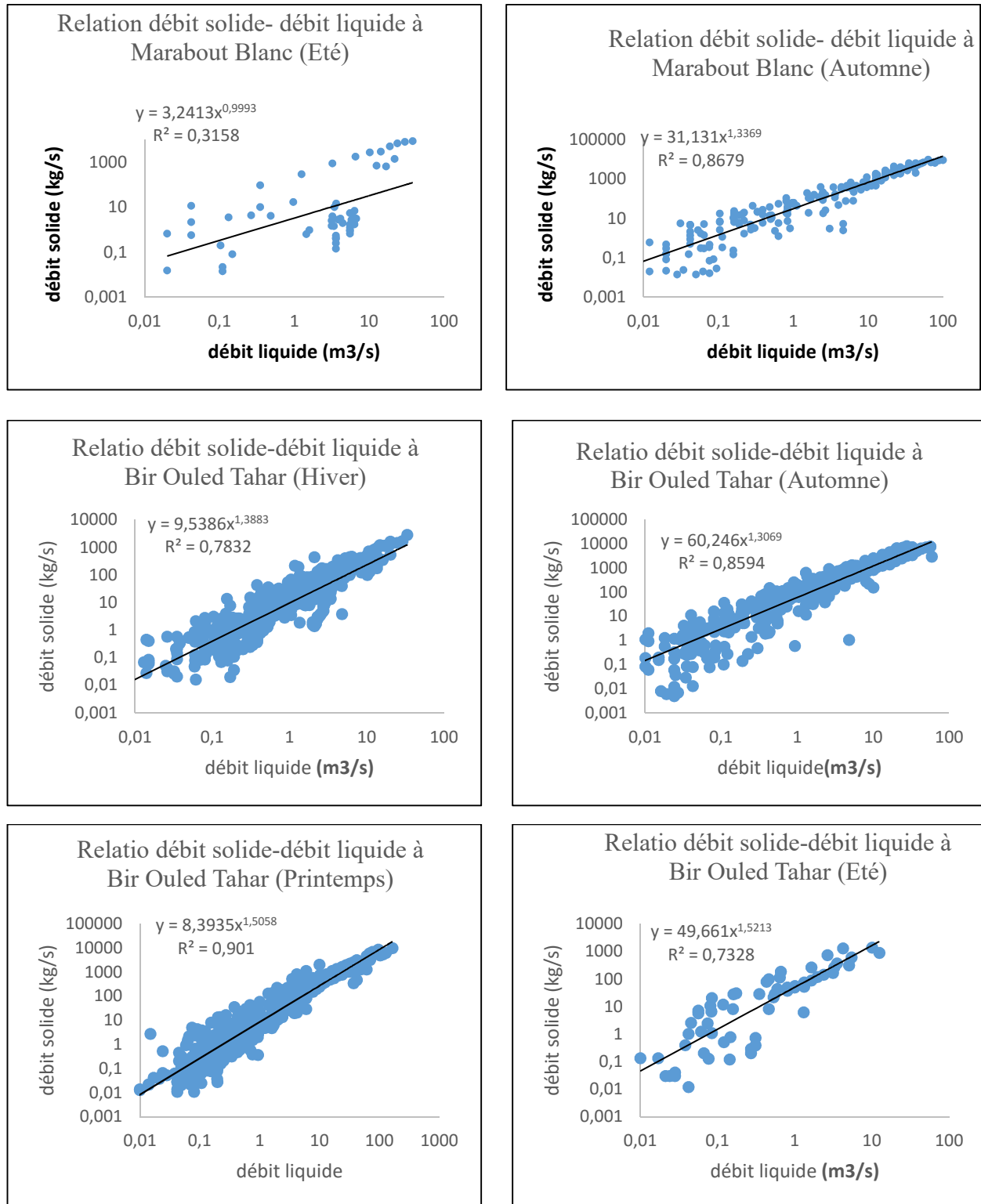


Figure 21: Relations débits solides en fonction des débits liquides à l'échelle saisonnière pour les stations Marabout Blanc et Bir Ouled Tahar.

Les résultats (figure 20) obtenus montrent qu'il existe une bonne corrélation entre ces deux grandeurs représentant la dynamique sédimentaire des deux stations, ceci peut s'expliquer par l'effectivité de la relation en puissance. (Il existe une relation entre débit solide et débit liquide dès départ relation intrinsèque).

On remarque que l'automne se distingue par un flux important de matières solide en suspension par rapport aux saisons l'hiver et printemps

Le débit solide maximal est de l'ordre de 98680516 Kg/s atteint en 5 octobre 1991 pour la station MARABOUT BLANC et 9983.833 atteint en 24 mai 1998Kg/s pour la station BIR OULDE TAHAR.

Des débits liquide qui ne dépassent pas les 200 m³/s vu l'inexistence d'écoulement durant cette saison.

Les nuages des points pour l'automne et l'hiver sont assez épais, variation large des débits solides pour des débits liquides peu variantes, ce qui se traduit par l'existence d'un nombre important de prélèvements lors des tarissements, et donc une contribution importante des nappes dans l'écoulement durant ces deux saisons.

Les paramètres des modèles à l'échelle saisonnière sont représentés dans le tableau n°10

En Automne : le facteur a et l'exposant b est les plus élevés avec des valeurs de b qui s'approchent de 2. Ceci peut expliquer l'importance de la dynamique érosive en cette saison. Après la saison sèche, les premières pluies de l'automne trouvent un sol sec et dur, difficilement érodable. La réponse du bassin en matière en suspension est donc très faible.

C'est les pluies torrentielles qui surviennent en octobre et en novembre qui arracheront de grandes quantités de matière solides, qui seront par la suite véhiculées en suspension par les cours d'eau. La réponse du bassin se manifeste rapidement par des ruissellements et des écoulements hypodermiques peu profonds. La relation entre les deux paramètres (débits liquides et solides) semble être plus étroite pour les valeurs fortes.

En Printemps : le facteur a et l'exposant b présente des valeurs moyennes entre celles de l'automne et celles de l'été. Les nuages de points sont alignés harmonieusement autour de la droite de régression .au printemps l'état du sol et la couverture végétale font que l'action érosive se trouve diminuée par rapport aux écoulement abondants.et la pluies du printemps survenues après un hiver pluvieux et froid avec une succession de gel et de dégel favorisant la déstabilisation de la structure du sol le rendant plus vulnérable à l'érosion, trouvent un sol meuble et déclenchent alors des écoulements fortement chargés .

En Hiver, le facteur a et l'exposant b présent des valeurs augmenté entre les deux saisons humides, bien que la pluviométrie soit nettement forte, les écoulements le sont plus, ce qui est dû essentiellement aux réserves importantes en eau emmagasinées dans le sol, suite aux fortes pluies de l'automne.

En l'Été : l'exposant **b** est plus faible et est inférieur à 1 pour la station Marbout Blanc, Sidi Bouabdelah et El Ababsa cela s'explique par les faibles écoulements et donc de faibles transports solides et pour les autres stations nous avons sommes inscrits $b=1.5$ par ses valeurs très dispersées. L'analyse de ce résultat s'avère difficile vu l'insuffisance du nombre d'observations à cause de l'inexistence d'écoulements.

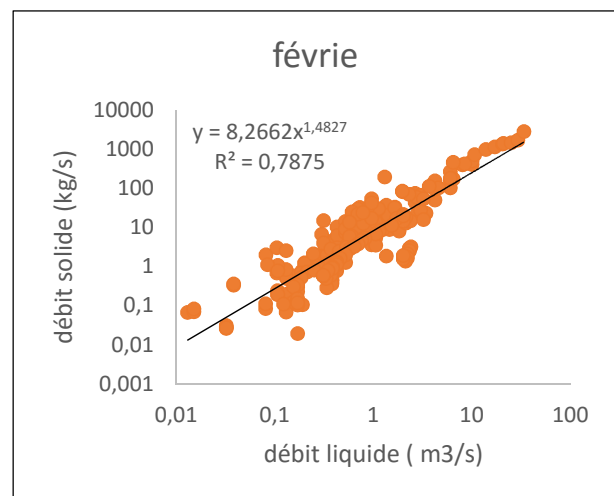
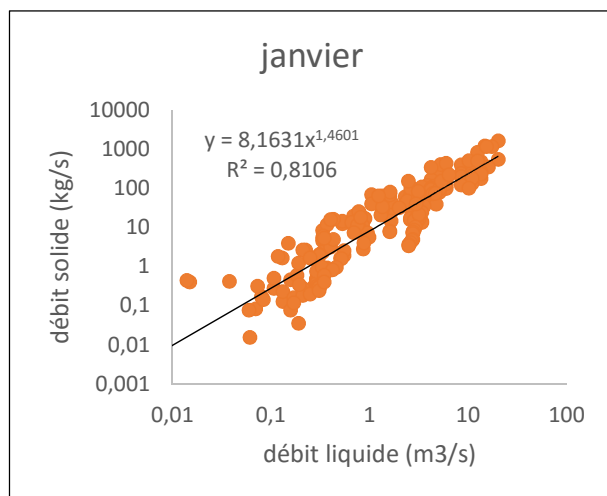
Tableau 8: paramètre des modèles saisonniers

Saisons	Automne			Hiver			Printemps			Eté		
	a	b	R ²	a	b	R ²	a	b	R ²	a	b	R ²
011407	15.07	1.19	0.12	20.6	0.34	0.02	0.39	2.22	0.69	5.98	1.10	0.25
011501	11.67	1.59	0.95	2.003	1.77	0.59	1.78	2.02	0.85	24.66	1.02	0.99
011514	4.85	1.01	0.40	3.23	1.38	0.70	0.99	1.52	0.74	78.98	0.06	0.009
011601	31.13	1.33	0.86	5.61	1.31	0.91	7.83	1.27	0.78	3.24	0.99	0.31
011702	3.62	1.25	0.50	4.44	1.16	0.47	1.63	1.28	0.57	8.74	1.04	0.32
011715	0.14	0.69	0.76	0.29	0.62	0.67	0.31	0.55	0.71	0.06	0.76	0.82
011801	15.87	1.58	0.84	2.30	1.49	0.78	1.87	1.43	0.66	25.53	1.51	0.77
011905	60.24	1.30	0.85	9.53	1.38	0.78	8.39	1.50	0.90	49.66	1.52	0.73
012001	1.12	0.19	0.54	1.45	0.42	0.63	3.31	0.31	0.45	*	*	*
012004	74.44	1.20	0.86	26.48	1.28	0.69	23.4	1.20	0.88	*	*	*
012201	14.40	1.70	0.94	2.52	1.38	0.81	7.62	1.71	0.80	*	*	*

* : donnée manquantes

IV.1.3. Échelle Mensuelle

La chronologie du transport solide à l'échelle mensuelle



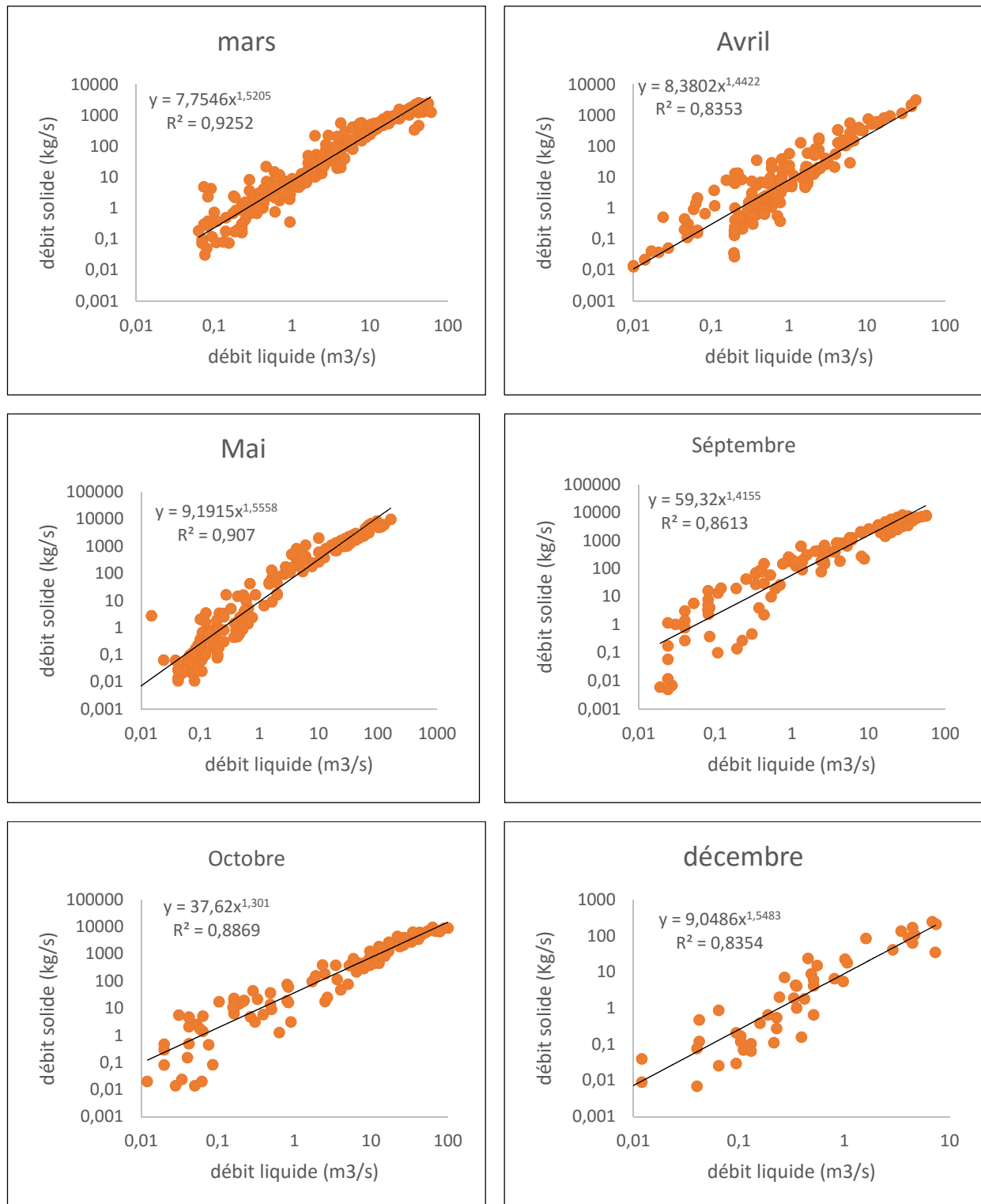


Figure 22: Modèles mensuelles entre les débits solides et les débits liquides

De l'analyse de figure n°21 les valeurs remarquable de *a* pour les mois d'octobre et de septembre dans les deux stations ce qui exprime que le débit solide est très important dans ses deux mois

Concernant les valeurs de b assez importante qui sont supérieures à 1 pour la majorité des mois étudiés, cela dénote que le l'écoulement est intense pour tous les différents mois des stations étudiés.

Les valeurs de coefficient de corrélation enregistrées pour les mois (janvier, février, mars, Avril, septembre, octobre, décembre, mai) s'expliquent la relation entre le débit liquide et solide est bien corrélée.

Les premières pluies de fin de l'été et les pluies d'automne sont généralement les plus intenses et plus agressives, de ce fait, la charge en suspension est plus importante.

Les résultats obtenus pour les échelles annuelles, saisonnières et mensuelles montrent qu'il existe une bonne corrélation entre ces deux grandeurs représentant la dynamique sédimentaire du haut Chélif. Ceci peut s'expliquer par l'effet de la relation en puissance c'est-à-dire le débit solide est lié au débit liquide par la relation $Q_s = C \cdot Q_l$. on confirme la relation établie par **Heusch** $Q_s = aQ_l^b$

- Nous allons présenter dans ce qui suit des résultats de recherche effectués et réalisés par Dr **Bouanani Abderrazak** en 2004 sur le Transport Solide et Modélisation /Etude de quelques sous bassins de la Tafna (NW – Algérie)

IV.2. Calcul des apports

IV .2.1.Les Apports Annuels

🚦 Le Bassin de Sebdou

Dans le cas du bassin d'oued Sebdou (Haute Tafna), pour une lame écoulée moyenne de 100 mm/an, on enregistre un débit solide moyen annuel de 7.64 kg/s soit un apport solide moyen de 240 000 tonnes, les dégradations spécifiques varient de 107 à 3700 t/km²/an, soit une moyenne de 938 t/km²/an.

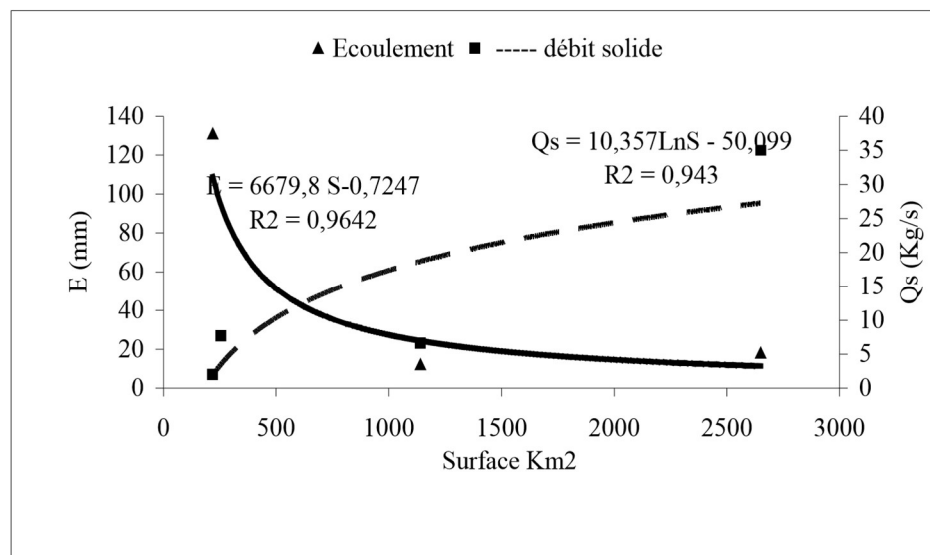


Figure 23: variation de l'écoulement du transport solide annuel en fonction de la surface

IV .2.2.Variabilité interannuelle des apports solides

🚦 Bassin de Sebdou

Pour l'oued Sebdou a Béni Bahdel), sur une période de 13 années de 1985/86 à 1997/98 ; deux années (90/91 et 95/96) dont les précipitations dépassent la moyenne Interannuelle calculée pour la période (85/98), ont charrié plus de la moitié (59.46%) du tonnage globale. La dégradation spécifique moyenne est élevée avoisinant les 1000 t/km²/an. Elle dépasse parfois (1995/96), les 3500 t/km²/an.

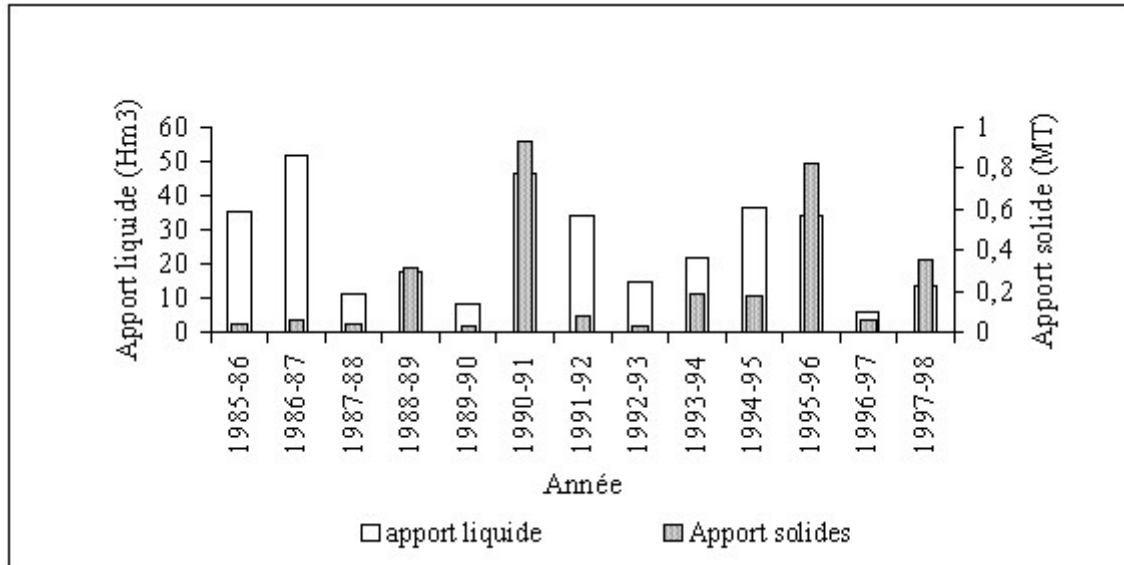


Figure 24: Apports liquides et solides annuels de l’oued Sebduw à Beni Bahdel

IV .2.3. Apports Mensuels

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

Oued Sebduw

Les valeurs mensuelles de la charge en suspension et les apports liquides révèlent une forte variabilité mensuelle de la charge solide en suspension. 90% de cette charge est mesurée au cours de quatre mois seulement : en septembre 38%, en mars 9%, en juin 26% et en juillet 11%.

Tableau 9: Apports liquides et solides moyens mensuelles à oued sebduw (période 1985/98)

MOIS	Sept	Oct.	Nov	Déc	Janv	Fev	Mars	Avril	Mai	juin	Juil	Août
Al (Hm3)	1,11	0,99	1,11	1,25	1,81	4,61	7,01	3,25	2,27	1,10	0,62	0,38
Le (mm)	4,36	3,86	4,33	4,91	7,10	18,05	27,44	12,72	8,90	4,29	2,41	1,48
As (tonnes)	89633	3733,3	3405,1	854,62	3077,3	4637,6	21759	3496,4	8586,7	698201	25230	5326,1
ASS	350,82	14,61	13,33	3,34	12,04	18,15	85,16	13,68	33,61	273,27	98,75	20,85

Cette variabilité inter-mensuelle de l’apport solide en suspension est due à la fréquence des crues importantes. En effet sur 156 valeurs mensuelles de débit solide, sept seulement soit 4.5% sont nettement supérieures à la moyenne. C’est ainsi que par exemple durant l’année 1990/91, 56% de la charge annuelle en suspension ont été mesurés lors de la crue survenue entre le 2 et le 21 septembre 1990. Mais comme on le sait, la quantité de la charge en suspension générée

par une crue dépend de l'intensité des précipitations. Ainsi, les crues provoquées par la fonte des neiges génèrent très peu de charge en suspension comparativement aux crues provoquées par les orages. Par exemple en 1989, une crue causée par la fonte des neiges survenue au mois d'avril n'a généré que 1% de la charge annuelle en suspension alors que son apport annuel en eau était de 60%. En revanche, une crue provoquée par un orage violent en juillet de la même année a généré 98% de la charge annuelle en suspension pour un apport en eau relativement faible de l'ordre de 2,5 millions de m³

- ✚ La fréquence des orages violents explique aussi en grande partie l'absence de corrélation entre la charge en suspension et les totaux pluviométriques d'une part, et la variabilité de cette charge d'autre part, observées aux échelles annuelle, saisonnière et mensuelle (Terfous A. M., 2003)

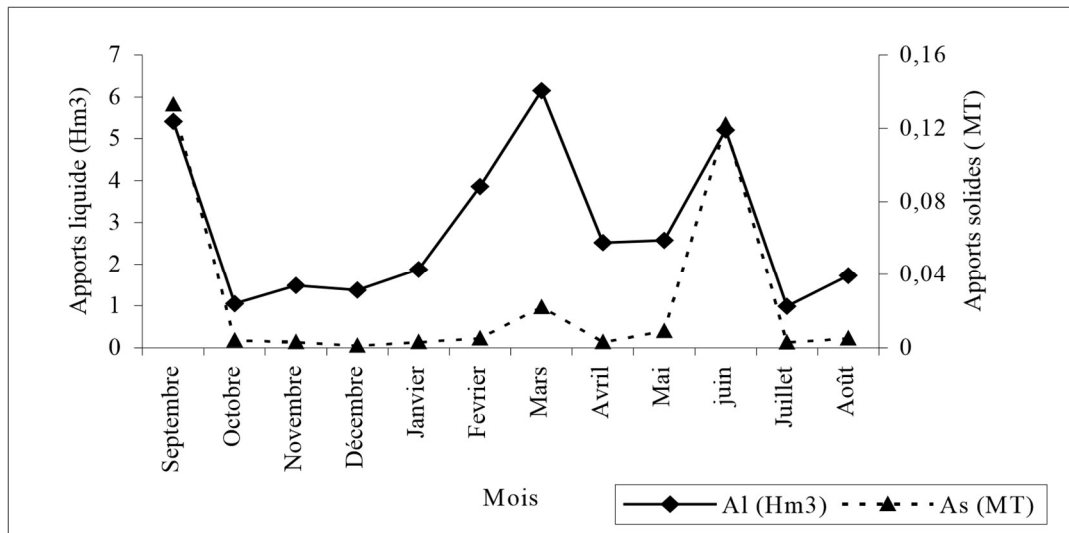


Figure 25: Apports liquides et solides mensuels d'oued Sebdoù à Beni bahdel

IV .2.4. apports saisonniers

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 nos bassins.

✚ Oued Sebdoù

La répartition saisonnière des transports solides confirme la variabilité mensuelle. 82% de la charge en suspension est transportée en automne (40%) et en été (42%), alors que les apports liquides durant ces deux saisons n'est que de 21%.

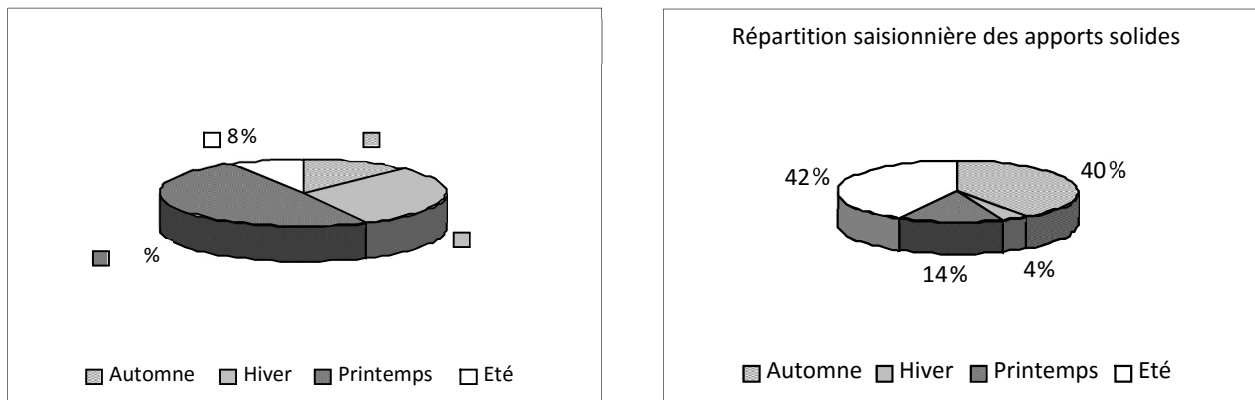


Figure 26:Répartition Saisonnière des apports liquides et solides de l’oued Sebdou à Beni *Bahdel* (1985/98)

Tableau 10:Apports liquides et solides moyens saisonniers à oued Sebdou (Période 1985/98)

Saison	Automne	Hiver	Printemps	Eté	Année
Al (Hm3)	3,2065	7,6805	12,5363	2,0912	25 ,5145
Le (mm)	12,5498	30,0608	49,0658	8,1846	99 ,8609
As (MT)	0,0968	0,0086	0,0338	0,1004	0 ,2396
Ass (t/km2/an	378,7551	33,5401	132,4551	392,8667	937,6170

En effet nous avons montré, (Terfous, 2003)que sur la période de 1989/90 à 1992/93, c’est à dire en ne tenant pas compte de la crue de juin 1996, l’apport saisonnier de l’été n’est que de 19% alors que ceux de l’automne et du printemps passent à 43,7% et 36,4%.

IV .3.Analyse du Transport Solide

IV.3.1.Analyse des débits instantanées

L’étude porte sur les valeurs instantanées des débits liquides en m3/s et des débits solides en kg/s, mesurés au niveau des bassins des oueds Sebdou,

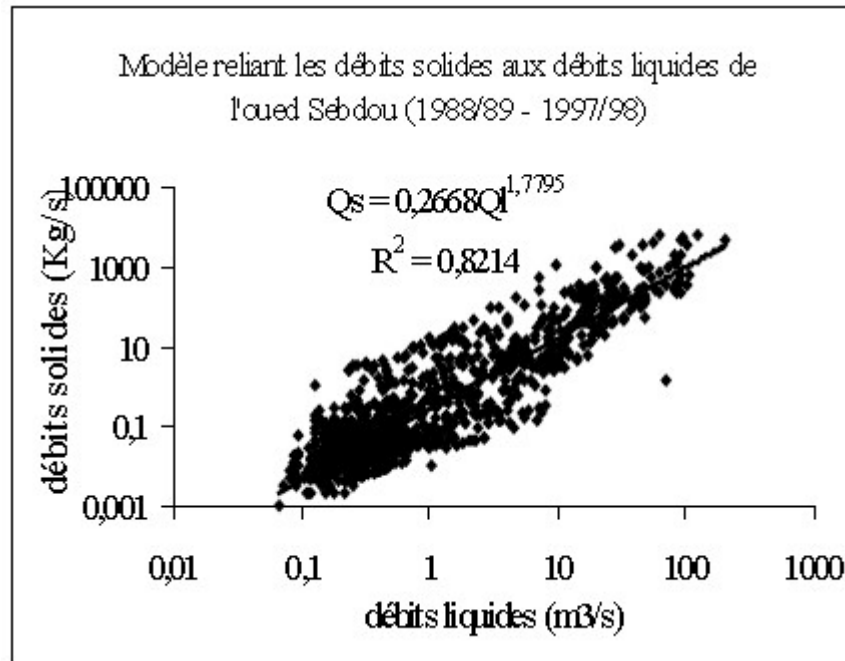


Figure 27: Relations débits solides en fonction des débits liquides dans le sous bassin d'oued Sebdou

La plupart des cours d'eau, on trouve une bonne relation en puissance (Probst, 1986) liant le débit des matières solides en suspension en kg/s au débit liquide en m³/s. Une première analyse, graphique montre qu'à de faibles débits liquides généralement estivaux (moins de 0,5 m³/s) peuvent être associés de forts débits solides (près de 10 kg/s) déclenchés sûrement à la suite d'orages violents. De même, de fortes valeurs des débits liquides n'ont engendré qu'un faible transport solide dû à la vidange des nappes survenue à la suite d'une crue importante.

Tableau 11: Paramètre de la relation débit solide – débit liquide

Bassin	période	a	b	Coef. corrélation	Taille d'échantillons.
Sebdou	1988/98	0.2668	1.7795	0.91	1705

IV.3.2 : Analyse Saisonnière

Pour étudier le débit liquide et matières en suspension au cours de l'année hydrologique, nous avons jugé utile de regrouper suivant différentes saisons les valeurs instantanées et d'analyser la relation liant les débits liquides aux débits solides en suspension. (Bouanani, 2004.)

Tableau 12: paramètre des modèles saisonniers trouvés pour les bassins de Sebdou,

Saisons	Automne				Hiver				Printemps				Eté			
Bassins	a	b	r	n	a	b	r	n	a	b	r	n	a	b	r	n
Sebdou	0.59	2.15	0.89	376	0.22	2.18	0.92	406	0.26	1.59	0.9	230	0.48	1.92	0.9	310

a et **b** : paramètre du modèle en puissance ; **r** : coefficient de corrélation ; **n** : taille de l'échantillon
D'après les résultats du tableau ci-dessus, nous constatons que :

- **En automne**, le facteur a et l'exposant b est les plus élevés avec des valeurs de b qui s'approchent de 2. Ceci peut expliquer l'importance de la dynamique érosive en cette saison. En effet à la saison sèche d'été où le sol se fissure et perd sa cohésion, succède l'automne avec des averses plus ou moins violentes sur un sol fragilisé.
- **En hiver**, malgré la faiblesse des apports solides l'exposant b reste élevé, cela dénote qu'à de forts débits liquides sont associés de faibles débits solides. En effet dans ce bassin l'écoulement en hiver est plutôt assuré par la vidange des nappes que par la pluviométrie. De même que l'état du sol doit se trouver avec une certaine saturation qui limite les effets de la pluie.
- **Au printemps**, le facteur a et l'exposant b présentent des valeurs moyennes entre celles de l'automne et celles de l'été et sont proches de ceux du modèle global pour chaque bassin. Ceci exprime bien que le modèle du printemps est plutôt un modèle représentatif moyen. Aussi les meilleurs coefficients de corrélation sont donnés au printemps. montre que les nuages de points sont alignés harmonieusement autour de la droite de régression. Au printemps, l'état du sol et la couverture végétale font que l'action érosive se trouve diminuée par rapport à l'écoulement abondant.
- **En été**, Pour l'oued Sebdou, la valeur de l'exposant b reste élevée (1.92), En effet, l'oued Sebdou a connu durant la décennie de mesures deux crues estivales très importantes en juillet 1989 (avec un débit de pointe de $Q_p = 29.8 \text{ m}^3/\text{s}$ et un apport solide de $A_s = 2.7 \text{ Mt}$) et juin 1996 (avec un débit de pointe de $Q_p = 100.6 \text{ m}^3/\text{s}$ et $A_s = 1.16 \text{ Mt}$). La figure 14 montre bien l'impact de ces crues sur la répartition des points en deux nuages bien séparés, l'un pour les faibles valeurs saisonnières normales et l'autre pour les fortes crues estivales exceptionnelles. (Bouanani .A, , 2004 ,)

-

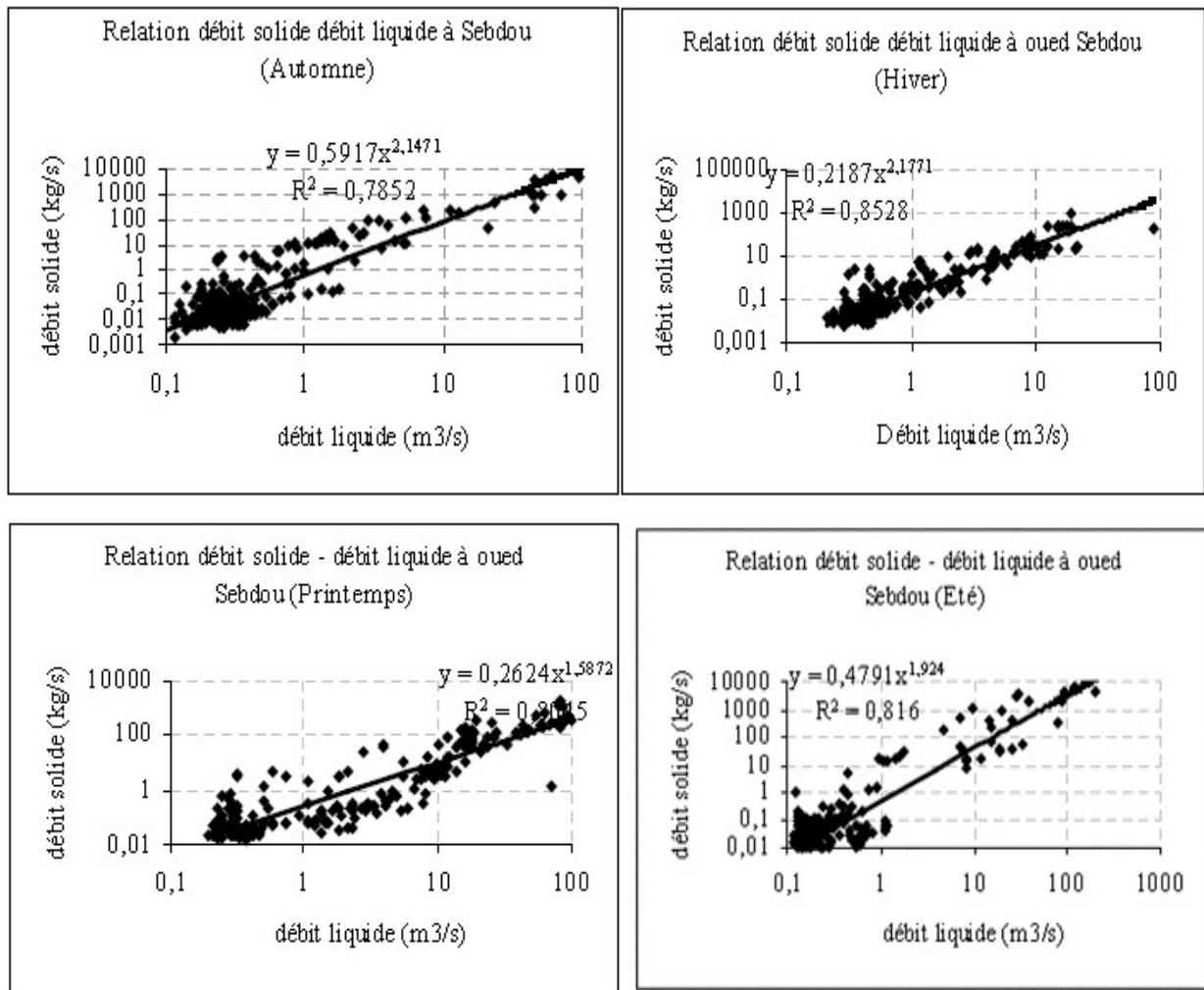


Tableau 13: Modèles saisonniers reliant les débits solides aux débits liquides pour les bassins

IV.4. Interpretation

Les valeurs des paramètres **a** et **b** de la relation $Q_s = a Q_l^b$, varient peu d'un bassin à l'autre. Pour le paramètre a, il varie à 0.26 pour Sebdou. L'exposant b est compris entre 1,5 et 2, ces valeurs sont loins de celles trouvées à Chélif a cause de la différence qui existe entre les apports solides des différents bassins est principalement liée à la différence des superficies des bassins, les contextes, climatique et géologique étant Semblables.

Pour l'automne, la forte charge s'explique par le fait que les précipitations, souvent intenses, tombent sur un sol asséché et mal protégé par la végétation (Cosandey C., 2002). Au printemps la charge en suspension n'augmente pas proportionnellement aux apports pluviométriques si bien que le flux saisonnier reste inférieur à celui mesuré en automne malgré une hausse très significative des totaux pluviométriques.

Donc contrairement à d'autres zones climatiques (Probst J.L., 1992) au Maghreb, les plus fortes concentrations de la charge en suspension ne sont nécessairement pas mesurées durant les périodes de hautes eaux. En été, ce sont essentiellement, deux orages exceptionnels de juillet

1990 et de juin 1996 qui ont amplifié les apports solides avec successivement 2,7 et 1,16 millions de tonnes. .

Selon les saisons, sont différemment fournis. En automne et beaucoup plus en hiver les nuages de points sont denses. En effet, ces deux périodes correspondent aux phases de préparation (automne) et de transport (hiver) des sédiments. Par contre pour le printemps et l'été, les nuages sont moins denses, surtout pour l'été. Durant ces périodes l'érosion est moindre car les précipitations sont plus rares et la végétation est présente sur le sol surtout au printemps.

D'après les analyses statistiques des données à l'échelle mensuelle, annuelle et saisonnière, on conclure que notre zone d'étude (haut Cheliff) est caractérisé par une irrégularité spatio-temporelle des précipitations avec une variation de débit liquide et débit solide où le débit solide est plus important de l'Automne que les autre saisons.

A partir de la corrélation on trouve une bonne corrélation entre débit liquide-précipitations pour les échelles mensuelle et annuelle concernant la régression puissance où le coefficient de détermination R^2 est dépassé 0.78.

Tandis cette relation a été identique pour la corrélation **QI-Qs**.

Conclusion Générale



Conclusion Générale

Notre travail, portant sur l'élaboration d'un abaque expliquant la variation de l'érosion spécifique au haut Cheliff et de ses principaux affluents en fonction de la surface et de la lame d'eau précipitée, nous a dicté des objectifs que nous nous sommes fixés.

Les transports solides en suspension de haut Cheliff et de ses affluents présentent des variations spatio-temporelles considérables. Elles sont dues essentiellement au régime pluviométrique, à la densité du couvert végétal et à la lithologie. En général, pour toutes les stations les valeurs maximales des apports solides s'observent au début d'automne, à la fin du printemps en majorité, et en cas de fortes crues estivales. Il est à remarquer cependant, que les apports solides minima ne correspondent pas forcément aux mois caractérisés par le plus faible apport liquide. Le transport solide d'automne reste le plus élevé dépassant significativement les autres mois. Cette variabilité s'explique par l'absence du couvert végétal durant les mois d'été (sols nus) et la nature agressive des pluies d'automne. Ces deux facteurs permettent aux premières crues d'automne de transporter des quantités considérables de sédiments après de longs mois secs caractérisés par de fortes températures et par la destruction des agrégats du sol par ces dernières. L'énergie produite par les premières pluies ainsi que le faible taux de couverture végétal en ces mois y contribuent.

Dans le cas du bassin du haut Chéiff, la comparaison des valeurs de l'érosion spécifique révèle une très forte disparité spatiale du taux d'érosion des sols. Cette disparité résulte principalement de la différence de la lithologie, du couvert végétal, de la pente et de la taille des bassins versants. A cette variabilité spatiale s'ajoute la variabilité temporelle aux échelles annuelle, saisonnière et mensuelle. A l'échelle saisonnière, c'est à l'automne que se produit le maximum du transport solide pour les sous bassins de Tikzel et Bir Oueld Taher. A Elabadia c'est au printemps que le phénomène est plus accentué.

La relation liant les débits liquides aux débits solides en suspension pour nos onze stations hydrométrique est de type puissance de forme générale ($Q_s = a.Q_l^b$).

Les modèles instantanés montrent que les paramètres $0.2373 < a < 34.258$ et $0.6146 < b < 3.3701$ sont proches de ceux trouvés par bon nombre de chercheurs ayant travaillé dans des régions semi-arides.

Les modèles saisonniers, donnent des valeurs $0.19 < b < 1.70$ pour l'automne $0.34 < b < 1.77$ pour l'hiver et $0.31 < b < 2.22$ pour le printemps, des valeurs de b proches de celle des modèles instantanés et sont comprises entre 0.6658 et 3.37, pour l'été b est inférieur à 1.52 pour la

Conclusion Générale

majorité des stations. Le paramètre a est plus grand durant l'automne exprimant d'importants apports solides pour de faibles débits, il est proche de celui des modèles instantanés pour l'hiver et le printemps et faible pendant l'été.

Le facteur b explique plutôt l'influence de l'écoulement ou l'état hydrologique du bassin, le facteur a exprimerait l'état du sol.

L'enjeu sur l'environnement du phénomène étudié peut avoir les conséquences suivantes :

- ✚ des modifications de la flore (par exemple des buissons se substituant à l'herbe), survenant après surpâturage, et accompagnés souvent d'érosion ;
- ✚ l'envasement des barrages ;
- ✚ Les pertes de sol des terres agricoles peuvent avoir de graves répercussions sur l'environnement en plus de réduire la productivité des sols ;
- ✚ les problèmes sanitaires et de qualité de la vie : un environnement dégradé n'offre que de mauvaises conditions de vie.
- ✚ C'est pour cette raison, qu'il faut se préoccuper quant au choix au préalable de sa méthode de quantification.

Références bibliographiques



Références bibliographiques

- Achite.M, O. (2007). Suspended sediment transport in a semiarid watershed, Wadi Abd.,
Journal of Hydrology (2007) 343,187-202, Algeria.
- AGENCES DE L'EAU, B. P. (1992). La gestion des rivières : transport solide et
atterrissements., *Les Etudes des Agences de l'Eau n°65*.
- Ahiekpor, D. (2011). Impact de l'occupation des sols sur l'érosion hydrique dans le bassin
versant du Lac Togo. Lome.
- al, D. e. (2012). Duda et al., 2012;Saeys et models are often referred to as black-box models
as they are typically non-parametric or have very large number of parameters. These.
- Ambroise.B. (1991). Hydrologie des petits bassins versants ruraux en milieu tempéré –
Processus et modèles -. *Séminaire du Conseil Scientifique du Département "Science
du sol" de l'INRA,, 34. Science du sol"*.
- Ammari. (2012). Vulnérabilité à l'Envasement des Barrages (cas du bassin Hydrographique).
Thèse de Doctorat Université Mohamed Khider, –Biskra: P.13-14-16-17-19.
- Andréassian, c. p. (2007, juin). Modèle hydrologique du génie rural (GR).
- ATKINSON Ed. (1990). Accuracy of sediment measurements in rivers and canals. *Workshop
on sediment measurement and control, and the design of irrigation canals*.
- B.Remini. (2004, janvier). envasement des canaux d'irrigation-office international de l'eau.
Sédimentation dans les barrage algérine, p. 1p.
- Bachi.M2011. (s.d.). Problématique du risque inondation en milieu urbain ; cas de
l'agglomération de sidi Bel Abbes., Magister en Hydraulique : Option Ecoulement et
Transport solide, université de Tlemcen.
- Belagoune.F, 2. (2012). Etude et modélisation des crues des cours d'eaux en milieu semi –
aride « Cas des grands bassins versants 05, 06 et 07 », *Magister en Hydraulique
Option : Aménagement hydraulique en zones arides*. université de Ouargla.
- BELAUD Gilles. (2000). Modélisation des processus de sédimentation en canal d'irrigation,
Application à la gestion et la conception des réseaux. 203 p. Thèse en mécanique ::
Université de Lyon 1 – Claude Bernard,.
- Ben Khaled A. et Rimini B., .. (2003). "Analyse de la relation de Puissance : débit solide –
débit Liquide à l'échelle du bassin versant de l'oued Wahrane (Algérie). *Rev. Sci. Eau*,
333-356.
- Boualem.REMINI. (s.d.). a technique du barrage de chasse en algerie. p. 334.

- Bouanani .A, B. (2004). Evaluation du débit solide dans le bassin versant de Harreza (ALGERIE),.
- Bouanani, A. (2004.). Hydrologie, transport solide et modelisation Etude de quelques sous bassins de la Tafna (NW–Algérie). Tlemcen.: Thèse de doctorat d'état à l'université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen.
- BOUANANI.Rahima. (2010). MODELISATION DE LA FONCTION PLUIE - DEBIT.APPLICATION AU BASSIN VERSANT DE LA TAFNA (NW - ALGERIEN. FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE DE LA VIE, Tlemcen: MEMOIRE DE MAGISTER.
- BOUCHELKIA H. (2003, mars). , Quantification du transport solide dans le bassin versant algérien du Chellif. *N°33-P.45 à 56* . tlemcen, Ingénieries.
- BOUCHELKIA H. (2004). Estimation du transport solide en suspension par analyse des débits de crues 2eme séminaire nationale sur les ressources en eau. , MASCARA »: SNRE .
- BOUCHELKIA.H.BENHADJ.M. (1994). Contribution à la modélisation statistique des transports solides en suspension,. 116p. Ecole nationale polytechnique d'Alger: mémoire d'ingénieur en Hydraulique.
- Bouchelkia.Hμ. (2003). Essai de bilan quantitatif des ressources hydrique de l'ALGÉRIE du nord. *5eme symposium international de l'eau à cannes*.
- Bouguerra. S., 2. (2014). Quantification et modélisation du transport solide dans un cour d'eau de l'Algérie septentrionale cas du bassin versant de l'oued boumessaoud. (Tlemcen),, Mémoire de Magister en Hydraulique,Université Aboubekr Belkaid Tlemcen: P. 13-29- 76-77-78-81.
- Bravard, J.-P. &. (2002). Les cours d'eau,Dynamique du système fluviales Armand colin edn,. Paris , Paris .
- casado-martinez. (2016, janvier). impact des sédiments sur la qualité de l'eau. *surveillance ecoltoxicologie de la qualité de la riviere*.
- CHATAIGNERE Annie. (1992). Estimation des phénomènes de transport solide,. *Rapport de stage long de 2ème année*, , 86 p. ENGREF.
- Chebbani R, a. (1999). Etude des risques d'érosion dans le basin versant Isser. Algérie.: Bulletin Réseau Erosion 19 : 85-95.
- Chebbani, R. (1999). Etude des risques d'érosion dans le bassin versant Isser,.

- Company-Redmond. (1996.). Possibilités d'extraction d'un paramètre physique du ruissellement, la rugosité (Modélisation et Expérimentations). 254. . Sciences de la terre.: Laboratoire Géosol Université de Bourgogne, Dijon.Thèse de Doctorat.
- Cosandey C., L. J.-L. (2002, février , 05-06). Conséquences de la forêt Méditerranéenne sur les écoulements de crue. *Synthèse de recherches menées en France. Colloque international sur l'eau « Gestion quantitative des ressources en eau*, 130-141. Chlef, Algerie.
- Daniel.G. (2003, (Novembre2003).). Guide technique de la lutte contre l'érosion des sols en Caps et Marais d'OpaleDaniél .
- Djenaoui, C. (2016). Etude expérimental de système de dragage par l'air. 77. msila, alger: memoire master.
- Duda et al. (2012). models are often referred to as black-box models as they are typically non-parametric or have very large number of parameters. These.
- F E P E, E. P. (s.d.). La mesure du transport solide dans les cours d'eau. *La mesure hydrologique*. LAUSANNE.
- FEM et FIDA, 2. (2002, juillet). Publication FIDA. Rome: Edition GMS GRAFICHE.
- FREY.P, 1. (1991). Etude expérimentale et simulation numérique du transport turbulent de particules. Docteur, spécialité : Mécanique, L'école centrale de Lyon, Lyon .
- GAUME, E. (2000). Hydrologie : cycle de l'eau et modélisation pluie-débit. Cours . *Cours* .
- GEORGES, Y. 2. (2008). Evaluation de l'érosion dans le bassin versant de la rivière Grise (Haiti). *Gembloux*. Faculté universitaire des sciences agronomiques.
- Gestion intégrée des crues. (s.d.). *aspects sociaux et participation des parties prenantes* . politiques de gestion des crues.
- guide technique de la lutte contre l'érosion*. (2003).
- Hadidi., A. . (2008). Une nouvelle approche de la détermination de taux d'envasement des. *Mémoire de Magistère en Hydraulique*. Université Aboubeker Belkaid P.5-6-66.
- Hauchart, V. (2005). Culture du coton et dégradation des sols dans le Mouhoun (Burkina Faso). . Reims-Champagne-Ardenne.
- Ikhlef.S., 2. (s.d.). Mémoire magister. *étude de la pollution de la nappe alluviale du haut chelif par les nitrates*. .
- Jean, P. G. (1993, Juin). la mesure in situ du débit solide des cours d'eau. ORSRROM Service hydrologique.
- jean_baptist. (2011, septembre 8). analyse pour le calage de modeles hydrolique a surface libre. *une approches par théorie des systèmes liniaires et de l'automatique*.

- Kaltoum, c. (2001). approche multifractales de la modélisation stochastique en hydrologie. france: these doctorat.
- KARROUR. MALIKA, H. Z. (2019). etude la Problématique de l'envasement des barrages djorf torba wilaya de bechar. Génie Civil: mémoire Master.
- lakhdar, B. (2012, 10 18). Modélisation du fonctionnement hydrologique et des processus d'érosion et de transport des sédiments dans le bassin de la Tafna. Magister en Hydraulique.
- Le Bissonnais, Y. J. (2002.). Erosion hydrique des sols en france. IFEN, INRA. france: IFEN, INRA.
- M.Henri PELLERAY. (s.d.). Etude sommaire des transports solides dans un petit bassin du nord —cameron., Service Hydrologique de l'ORSTOM , au Cameroun.
- M'Hamed, G. (2018). Contribution à l'Evaluation des Ressources en Eau de Surface dans le Bassin Versant du Haut Cheliff. hydrologique.
- Megnonif, A. (2007). Etude du transport des sédiments en suspension dans les écoulements de surface. TLEMCEN-: Thèse de doctorat, Université ABOU BEKR BELKAID.
- Meguenni. K, R. B. (2008, Juin). Evaluation du débit solide dans le bassin versant de Harreza (ALGERIE),. pp. 7-19. , Larhyss Journal, ISSN 1112-3680.
- Mehdi.Houaria. (2014-2015). Etude des propriétés physico-chimiques des sédiments du barrage de Sidi M'hamedBenaouda (w.Relizane) en vue de leur valorisation. (5-6p). Oran, Algérie.
- MEYER Gérard, M. M.-E. (1995). Mesure du débit solide des écoulements hyperconcentrés en matériaux fins par une jauge à absorption du rayonnement gamma,.
- MEYER Gérard, M. M.-E. (1995). Mesure du débit solide des écoulements hyperconcentrés en matériaux fins par une jauge à absorption du rayonnement gamma, In : MEUNIER Maurice (coord.) , *Compte-rendu de recherches n°3 BVRE Draix, Cemagref*, p. 79-97.
- Mezghani, A. a. (2009). combined downscaling-disaggregation weather generator for stochastic generation of multisite hourly weather variables in complex terrain. Development and multi- scale validation for the Upper Rhone River Basin. J.Hydrology. 377 , : 245-260.
- Ministère, d. (1994, 06 23). la réglementation de la prévention des risque et de la protection de l'environnement. p. 1.

- Mohammadi I. Mayou, O. (s.d.). Evolution du transport solide et la qualité des eaux cas de bassin versant de l'oued Harraza dans. *Mémoire de fin d'étude*. Mémoire de fin d'étude, willaya Ain Defla.
- N.Oumrani. (2009). Influence des sédiments sur la stabilité d'un barrage en exploitation cas du barrage CHEURFAS II, Thèse université de Tlemcen, 2009. Tlemcen: Thèse université de Tlemcen, .
- Nacef .H. (2013). Etude du transport des sédiments en suspension à l'échelle événementielle. Magister en Hydraulique : Option Ecoulement et transport solide, université de Tlemcen .
- Oldrich, N. (2014). la modélisation hydraulique en pratique. snv.
- paquet, M. e. (2007). Comparing niche- and process-based models to reduce prediction uncertainty in species range shifts under climate change.
- Poesen, J. G. (1994). Bodemerosie in Midden-België. *Een stand van zaken*. Onze Alma Mater, 48 (3): 251-267.
- POIREL A. (2001). La gestion des sédiments par chasse : retour d'expérience sur quelques aménagements hydrauliques alpins, . *synthèse, EDF-DTG*.
- Probst J.L. (1992). Géochimie et hydrologie de l'érosion continentale. Mécanismes, bilan global actuel et fluctuations au cours des 500 derniers millions d'années. ., *Sci. Géol. Bull*, 161. mémoire n° 94,.
- RECKING, A. ., (2012, Janvier). Cours d'hydraulique et de transport solide. Master II Paris 6.
- RECKING2012, A. (s.d.). Cours d'hydraulique et de transport solide. Master II Paris 6.
- Remini, B. (2005). La problématique de l'eau en Algérie,. 2. Alger: Office des publications universitaires edn.
- Remini.B. (s.d.). envasement des retenues de barrages en algérie. *importance mecanisme et moyende lutte par technique du soutirage*, 342p. ecole nationale polytechniue, alger: these de doctorat.
- Remini.Boualem. (s.d.). la fiche technique du barrage de chasse en algerie. *la fiche technique du barrage de chasse en algerie*. blida: université de blida.
- Rosse.E. (s.d.). Erosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest. *Travaux et documentation de L'OSTORM78(p 108)*.
- Saavedra.c. (1989). . AGNPS: Estimating spatial patterns of soil erosion and deposition in the Andean region using geo-information techniques (A case study in Cochabamba,

- Bolivia). Geo-Information Science and Earth Observation: International Institute for , Wageningen University, Netherlands.
- Sediment measurements*,. (1996). Récupéré sur http://www.who.int/docstore/water_sanitation_healthy/wqmonitor/ch15.htm.
- Source ABH . (2006).
- STONE. (2003, 08 12). Sediment transfer across the Ouse/Newhaven estuary.
- Stucliffe, N. e. (1970). sensibilité des performance d'un modèle de prévision des crues .
- Tarik, B. (2006). Modélisation de la relation pluie-débit au pas temps journalier et mensuel par les réseaux de neurones artificiels et les systèmes neuro-flous. ALGER: . Thèse doctorat ENSA- ALGER.
- TOLA François. (1980, Septembre 15-26). The use of radioactive tracers in dynamic sedimentology,. *Séminaire régional sur l'emploi des techniques isotopiques dans la mise en valeur des ressources hydrauliques, Athènes, , CEA-DAMRI, Part I* :.
- TOUAIBIA, B. 1. (1986). Quantification du transport solide et de salinité du bassin versant d'Oued Deurdeur. INA El-Harrach, Algérie.: p. 155.
- Walid, R. (2004, Février). LE TRANSPORT SOLIDE :. ECOLE NATIONALE DU GENIE RURAL DES EAUX ET DES FORETS: Office International de l'Eau – SNIDE.
- WREN Daniel G., B. S. (2003). The effect of spatial and temporal separation on suspended-sediment concentration measurements.
- Zoubir .A, Z. (2007). Estimation des apports solides dans le bassin versant de l'oued Hadad à la station hydrométrique Sidi A.E.K Djilali à Relizane, . Université d'Oran .
- Zuber, A. (1994). On calibration and validation of mathematical models for the interpretation of environmental tracer data. . *Mathematical Models and Their Applications to Isotope*
- .