

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 بونعامة 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 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 :

Modélisation de la relation débit - matière en suspension à l'échelle du bassin versant haut Cheliff

Soutenu le : 14/07 /2019

présenté par :

Melle : Allaouia Aicha

Melle : Abbabou Narimene

Devant les Membres de Jury :

Président : Mr Boucefiane AEK.

MCB

UDBKM

Encadreur : Mr. Mehaiguene M.

MCB

UDBKM

Examineur 1 : Mme. Ourfella A.

MAB

UDBKM

Examinatrice 2 : Mme Nabti Dj.

MCB

UDBKM

Année universitaire : 2018/2019.

REMERCIEMENTS

Nos remerciements avant tout au Dieu le tout puissant pour la volonté, la santé, le courage et la patience qu'il nous a donnés pour pouvoir arriver à ce niveau afin de réaliser ce modeste travail.

Au PROPHETE MOHAMED paix et salut sur lui

A nos parents qui n'ont pas cessé à tout moment de nous protéger et de veiller à notre instruction.

A notre promoteur Dr. MEHAIGUENE Madjid pour avoir assuré notre encadrement, pour leur aide, pour leur efforts et Leur précieux conseils

Mes remerciements également à Mr. Boucefiane AEK. pour avoir accepté d'honorer de sa présence en président le jury.

Mes remerciements s'adressent aussi à Mme. Ourfella. A d'avoir accepté d'examiner ce travail et participer au jury sans oublier son aide et ses renseignements.

Mes remerciements vont Mme. Nabti Dj pour avoir accepté d'examiner ce travail et honorer le jury.

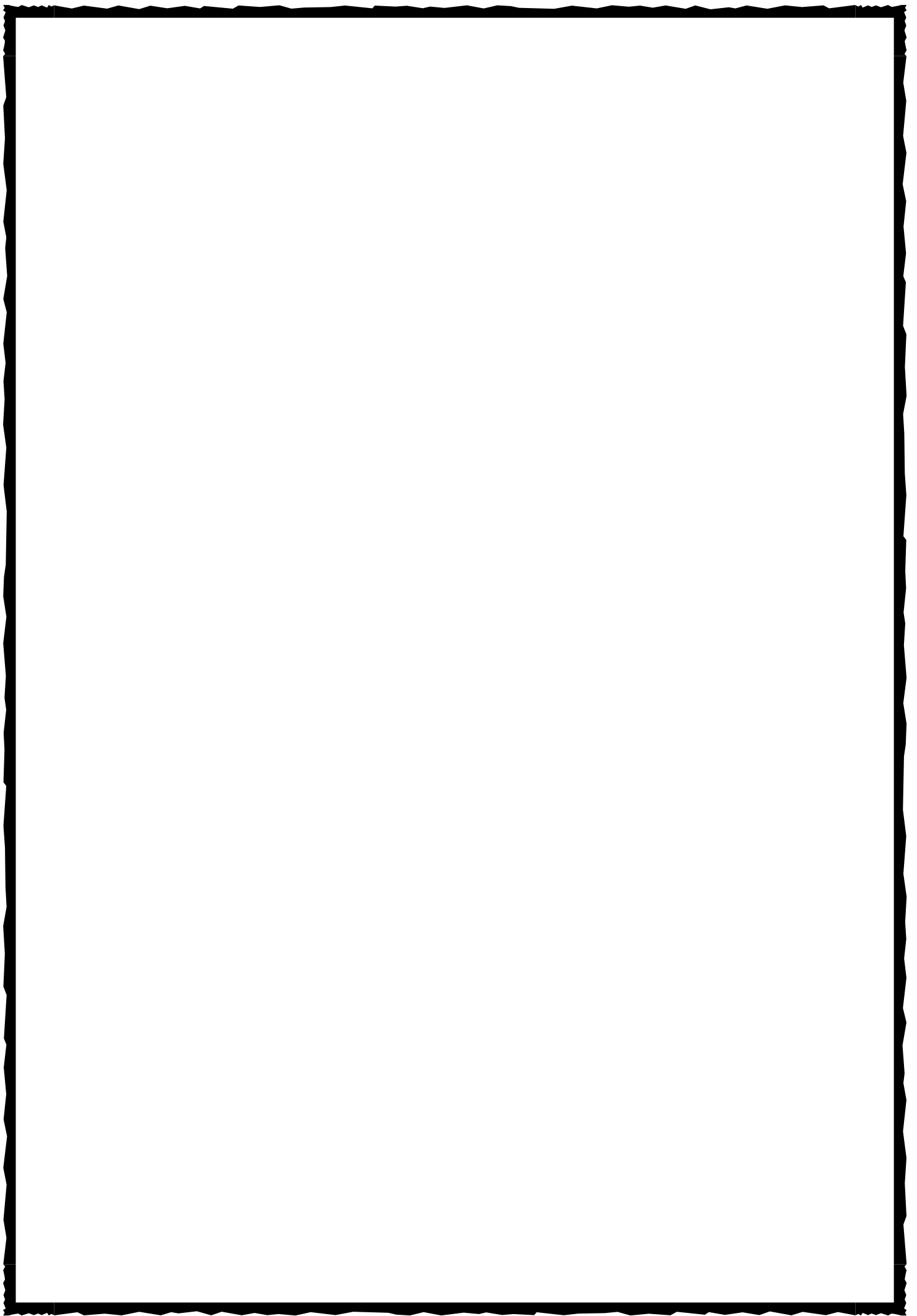
Nos sincères remerciements s'adressent également à :

A tous nos enseignants qui nous ont initiés aux valeurs authentiques, en Signe d'un profond respect et d'un profond amour !!!

Et à tous ceux qui nous ont enseigné tout au long de notre vie scolaire

Nous n'oublions pas bien évidemment nos collègues de promotion «protection des écosystèmes» en les saluant chaleureusement pour les agréables moments passés ensemble !

Que Dieu réalise vos vœux !



Dédicaces

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 ma très chère mère

A mon cher père

Pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et Leurs prières tout au long de mes études

A mon cher frère, (Amer, Yahia ; Moussa) et Mes très chers sœurs (Fatima, Karima)

A Ma binôme Abbabou Narimene

A Mes très chers amis : Amel, Soumaia, Fatima, Salima, Hanane, Rahma , Malika

Et Mes camarades de la promo protection des écosystèmes.

allaouia aicha

Dédicace

Au nom de Dieu le tout puissant et le très miséricordieux par la grâce du quel on a pu réaliser ce travail que je dédie en signe de Respect, de Reconnaissance et D'Amour à :

✚ *Ma chère mère Zineb pour son affection, son soutien et sa confiance ainsi qu'a Ma très cher père qu'est à l'origine de ce qui je suis*

✚ *Ma grand- mère Fatima.*

✚ *Mes très chers frères : Mouloud, walid, Ali, Abdenour, Mohamed, Salah*

✚ *Mes sœurs : Badiaa, Samia, Sarra.*

✚ *Tous mes collègues pour leur aide: Aicha, Zahra, Manel, Yasmine, Fella*

Amel, Chahrazed

A toute la promotion protection des écosystèmes.

abbabou narimene

Résumé

Le transport solide et l'envasement constituent de par leurs importances, un problème majeur dans les régions semi aride. L'érosion, le transport solide et la sédimentation sont la cause de la dégradation des sols agricoles, de l'alluvionnement des retenues et de nombreux dégâts dont les coûts sont considérables.

L'objectif principal de l'étude étant la compréhension du phénomène et son l'estimation, le travail est basé sur les données observés durant une période allant de 1989 à 2003 il a été conduit sur le bassin versant du haut Chélif.

Dans ce travaille nous avons déterminés la relation entre le débit liquide et débit solide par des régressions de la corrélation à l'aide d'une relation puissance où nous avons obtenus des bonnes corrélations se qui s'explique que le modèle puissance est le plus représentatif de la relation entre Ql et Qs dans notre zone d'étude Haut Chélif.

Nous avons utilisé quelques méthodes d'analyse et de modélisation (Ajustements statistique, ACP) qui permis d'estimer les paramètres de l'écoulement et de mettre en évidence l'interpolation entre eux et aussi de mieux comprendre le fonctionnement hydrologique de nos sous bassins.

Mots clés : Transport solide en suspension, climat semi-aride, débit liquide, débit solide, modélisation. Haut Cheliff.

Abstract

Solid transport and siltation are a major problem in semi-arid regions because of their importance. Erosion, solid transport and sedimentation are the cause of the degradation of agricultural soils, the siltation of reservoirs and many damages whose costs are considerable. The main objective of the study is the understanding of the phenomenon and its estimation, the work is based on data observed during a period from 1989 to 2003 it was conducted on the Upper Chélif watershed. In this work we have determined the relationship between liquid flow and solid flow through correlation regressions using a power relationship where we obtained good correlations which is explained that the power model is the most representative of the relationship between Q_l and Q_s in our Haut Chélif study area. We have used some methods of analysis and modeling (statistical adjustments, PCA) which allowed us to estimate the parameters of the flow and to highlight the interpolation between them and also to better understand the hydrological functioning of our sub-basins .

Key words: Solid suspended transport, semi-arid climate, liquid flow, solid flow, modeling. High Cheliff

الملخص

يمثل النقل الصلب والظمي مشكلة كبيرة في المناطق شبه القاحلة. إن تآكل التربة وانتقالها يسبب تدهور كبير لتربة الزراعية ، والعديد من الأضرار التي تكلفتها باهضه.

الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو فهم هذه الظاهرة وتقديرها ، ويستند العمل على الفترة الممتدة من 1989 إلى 2003 وقد أجريت على المستجمعات المائية في الشلف الأعلى.

في هذا العمل قمنا بتحديد العلاقة بين التدفق السائل والتدفق الصلب من خلال انحدار الارتباط باستخدام علاقة الاسية حيث تحصلنا على ارتباطات جيدة وهو ما يفسر أن طراز الطاقة هو الأكثر تمثيلا للعلاقة بين التدفق الصلب و التدفق السائل في منطقة الدراسة (شلف الاعلى)

لقد استخدمنا بعض اساليب التحليل والنمذجة (ت.م.ا والتعديلات الاحصائية) التي اتاحت لنا تقدير معلومات حول التدفق و سلطنا الضوء على العلاقة بينهما و كذلك فهم اداء احواضنا بشكل افضل.

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

Liste des abréviations

Liste des abréviations

ABH : Agence du Bassin Hydrographique.

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydriques.

D S A : Direction des services agricoles.

FAO : Food and Agriculture Organization.

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.

CHG : Classification hydrogéologique.

S : superficie.

Qs : débit solide (Kg/s).

Ql : débit liquide (m³/s).

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau 1 : Quelques modèles utilisés en Algérie.....	02
Tableau 2 : différents aspect du transport des sédiments	17
Tableau 3 : Caractéristiques morphométriques des bassins versants de la région d'étude.....	27
Tableau 4 : représente les températures moyennes en (°C) et les précipitations moyennes en (mm). (1990-2015) à la Haute-Cheliff Harraza.....	32
Tableau 5 : Caractéristiques des stations hydrométriques situées dans le bassin du Haut et du Moyen Cheliff.	35
Tableau 6 : comportement hydrogéologique des différentes formations de la plaine du Haut Cheliff.....	37
Tableau 7 : données collectées des débits liquides et débit solide dans la station 011601	40
Tableau 8 : données collectées des débits liquide et débit solide dans la station de 011905.....	41
Tableau 9 :paramètres statistiques des variables (concentration, débit liquide, débit solide).....	44
Tableau 10 : paramètre des modèles annuels trouvés pour les stations du haut Chélif.....	50
Tableau 11 : paramètre des modèles saisonniers trouvés pour les stations du haut Chélif.....	54
Tableau 12 : valeurs des paramètres utilisées pour l'application de l'ACP.....	57
Tableau 13 : statistique descriptive.....	58
Tableau 14 : matrice de corrélation.....	58
Tableau 15 : Pourcentage de la variance après rotation Varimax.....	59
Tableau 16 : Contribution des variables après rotation Varimax.....	59

Liste des figures

Liste des figures

Figure 1 : Schéma représente le phénomène de l'érosion hydrique.....	04
Figure2 : Rejaillissement du sol et de l'eau suite à l'impact d'une goutte d'eau ou effet Splash.....	07
Figure 3 : Erosion en nappe.....	08
Figure 4 : Conséquences de l'érosion hydrique.....	08
Figure 5 : Diagramme érosion, transport, sédimentation.....	15
Figure 6 : Schémas des modes de transport solide.....	18
Figure 7 : Modes de transport des particules dans un courant.....	19
Figure 8 : Bouteille d'échantillonnage.....	21
Figure. 9 : Appareil de mesure de la charge en suspension.....	21
Figure 10 : modèle de relation C-Q.....	23
Figure 11 : Problématique posé par la sédimentation.....	24
Figure 12 : processus d'envasement d'un barrage réservoir.....	25
Figure 13 : Carte de localisation du Bassin versant du Haut Cheliff.....	26
Figure. 14 : Carte des sous bassin du haut et du moyen Cheliff.....	28
Figure 15 . Carte d'occupation des sols du Périmètre du Haut-Cheliff.....	31
Figure 16 : Variation des précipitations moyennes à la Haute-cheliff-Harraza.....	33
Figure.17 : Diagramme Ombrothermique de la haut Cheliff- Harraza (1990-2015).....	33
Figure18 : Localisation des stations hydrométriques du bassin haut et moyen Cheliff.....	36
Figure 19 : Relations débits solides en fonction des débits liquides à l'échelle annuelle aux différentes stations étudiées.....	49
Figure 20 : Relation débit solide en fonction des débits liquide à l'échelle saisonnière dans les stations Marabout Blanc et Bir Oulde Tahar.....	52
Figure 21 : Modèles mensuelles entre les débits solides et les débits liquides.....	55
Figure 22 : Résultats de l'ACP après rotation Varimax.....	61

Sommaire

Remerciement	
Dédicaces	
Résumé	
Liste des abréviations	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Table des matières	
Introduction générale.....	1

CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1.Erosion	04
I.2.Type d'érosion	04
I.2.1. Erosion hydrique.....	04
I.2.2. Origine.....	05
I.2.3. Principaux agents de l'érosion hydrique.....	05
a) intensité et agressivité des précipitation	05
b) Ruissellement.....	06
I.2.4. Mécanisme.....	07
a) Erosion par l'impact (splash).....	07
b) Erosion par ruissellement.....	08
I.2.5. Les formes de l'érosion	08
a) Erosion en nappe.	08
b) Erosion de type « rill-interrill »(rigole-interrigol.....	08
c) Erosion par ruissellement concentré.....	09
I.2.6. Les facteurs de l'érosion hydrique.....	09
a) Influence du climat	09
b) Morphologie du terrain (la pente et longueur de la pent.....	09
c)Sol	09
d) Couvert végétal	09
e) L'homme	10

I.2.7 Quantification de l'érosion hydrique.....	10
I.2.8.les conséquences de l'érosion hydrique.....	13
I.3. Transport solide.....	14
I.3.1. Généralité.....	16
I.3.2. Origine des matériaux transportés.....	17
I.3.3.les types de transport solide.....	18
I.3.3.1. Transport solide par charriage.....	19
I.3.3.2. Transport solide en suspension.....	19
I.4. Mesure du transport solide.....	20
I.4.1. Mesure du transport en suspension.....	20
I.5.caractérisation de la relation concentration en sédiment en suspension-débit liquide.....	22
I.6.L'envasement des barrages.....	23
I.7.Problèmes posés par la sédimentation dans les barrages.....	24
I.8.Les étapes de l'entassement des barrage.....	25

CHAPITRE II : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

II.1. Situation géographique.....	26
II.2. Caractéristiques morphométriques.....	27
II.3. Morphologie.....	28
II.4. Population et démographie.....	29
II.5. Agriculture.....	29
II.6. La lithologie du bassin versant.....	29
II.7. Pédologie.....	29
II.8. L'occupation des sols.....	30
II. 9. Caractéristiques hydro climatologiques.....	31
II. 9.1. Climatologie.....	31
II.9.1.1. Pluviométrie.....	32
II.9.1.2. Température.....	34
II.10. Réseau hydrographique.....	34
II.11. Stations Hydrométriques.....	35
II.12.la Hydrologie.....	36

CHAPITRE III : MATERIEL ET METHODES

III.1. Données	38
III.2. Méthodologie	38
III.3. Matériel.....	39
III.4. Méthode de travail.....	42
III.5. Mise en forme et traitement des données.....	42
III.6. Étude statistique.....	43
a) Moyenne arithmétique.....	43
b) Ecart-type.....	43
c) Coefficient de variation	43
III.7. Analyse statistique des données physiographiques	47

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSIONS

IV.1. Établissement de régression entre débit liquide et débit solide.....	47
IV.1.1. Échelle annuelle.....	47
VI.1.2. Échelle saisonnière	50
VI.1.3. Échelle mensuelle	54
VI.2. Analyses-en composent principale.....	56
IV.2.1. Résultats de l'ACP.....	58
IV.2.2. Matrice de corrélation	58
IV.2.3. Résultats après rotation varimax.....	59
Conclusion générale.....	62
Références bibliographiques	
Annexes	

Introduction générale

En raison de son climat semi-aride, de la présence de relief abrupt et de la pauvreté de la végétation, le Maghreb est l'une des régions les plus vulnérables au monde à l'érosion des sols. Cependant, malgré cette grande vulnérabilité, peu d'études existent encore sur ce phénomène d'érosion comme l'avaient déjà souligné PROBST et SUCHET (1992) notamment. Pourtant comme on le sait, cette érosion entraîne un appauvrissement progressif des sols affectant ainsi la production agricole, d'une part, et une diminution des réserves des nappes d'eau, d'autre part. Ces conséquences apparaissent sans nul doute comme une menace sérieuse au développement socio-économique de cette région confrontée déjà à une démographie important concentrée le plus souvent dans quelques régions agricoles (**A. Megnounif, A. et al. 2001**)

Le transport solide et l'envasement constituent, de par leurs importances, un problème majeur dans les pays du Maghreb. L'érosion, le transport solide et la sédimentation sont la cause de la dégradation des sols agricoles, de l'alluvionnement des retenues et de nombreux dégâts dont les coûts sont considérables. En Algérie ; Les surfaces menacées par la dégradation due à la désertification et à l'érosion hydrique sont estimées à 50 millions d'hectares le (**Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural .2013**). Elle représente plus de 20 % de la surface totale du pays qui est de l'ordre de 238 millions d'hectares (**Mostephaoui et al. 2013**). Les surfaces menacées sont réparties en 14 millions d'hectares de zones montagneuses au Nord (touchées par l'érosion hydrique), 32 millions d'hectares en zones steppiques (menacées par la désertification) et 4,1 millions d'hectares de forêts soumises aux menaces induites par les effets des changements climatiques (**Mostephaoui et al. 2013**).

De nombreux auteurs ont étudié l'impact des pluies sur l'érosion des sols dont le détachement de leurs particules est provoqué par l'énergie des gouttes de pluie. Ce phénomène a été mis en évidence par de nombreux chercheurs, entre autres, **Wischmeir (1960)** aux États-Unis d'Amérique. **Roose (1980)** a constaté que l'énergie des pluies en Afrique de l'Ouest est 256 fois plus importante que celle des eaux de ruissellement de surface. Selon **Heusch (1970)**, l'énergie des eaux de ruissellement de surface est plus importante que celle des pluies dans le phénomène de l'érosion dans les régions semi-arides et méditerranéennes.

L'étude de la relation entre le transport solide, comme facteur expliqué, et les facteurs géomorphologiques, hydrométriques et climatiques, comme facteurs explicatifs, a été menée dans de nombreuses régions du monde tels que : **Zhang et al. (2004)** en République Populaire de Chine, **Ray et al. (2011)**, **Essien et al. (2011)** au Nigeria, **Kane et Julien (2007)** aux États-Unis d'Amérique et **Zekai (2014)** dans les régions arides.

En Algérie, de nombreux chercheurs ont développé des relations liant le transport solide aux facteurs géomorphologiques et climatologiques pour certains bassins algériens (**Achite et Meddi, 2005 ; Touaibia et al. 2001 ; Benkhaled et Remini, 2003**). Par contre, **Demmak (1982) et Meddi et al. (1998)** ont développé des modèles d'estimations de la dégradation spécifique pour l'Algérie septentrionale.

Les caractéristiques climatiques, morphométriques et morphologiques diffèrent d'une région à une autre ou d'un bassin à un autre, les modèles diffèrent d'un auteur à un autre. Chacun tente de caractériser la région ou le bassin étudié par le modèle le plus représentatif et le plus fiable (coefficient de corrélation). Ces modèles ont été testés dans différentes régions du globe et ont donné des résultats plus ou moins satisfaisants. Les rendant presque universels

Les modèles les plus utilisés en Algérie sont les modèles puissance, linéaire et polynômes.

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. $Q_s = Q_l C_s$.

La concentration des sédiments en suspension C_s et le débit liquide évoluent en général suivant un modèle de puissance $Y = a X^b$ (**Etchanchu et al. 1986 ; Walling et al. 1981 ; Wood P.A., 1977**).

Une autre relation empirique communément appelée courbe du transport solide (**Campbell F.B. et al. 1940 ; Crawford, 1991**) lie le débit solide au débit liquide

Plusieurs études qui se font au niveau du territoire national sur la relation de puissance : débit solide-débit liquide (**Benkhaled. AEK et al, 2003**) et sur la quantification et modélisation du transport solide (**Bouguerra., S, 2014**). C'est dans ce contexte qui s'intéresse notre travail de fin

d'étude où nous avons fixée comme objectif de modéliser la relation débit solide-débit liquide du bassin versant du haut Cheliff.

Ce mémoire s'organise en quatre chapitres :

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

Chapitre I
Synthèse Bibliographique

I.1. Erosion

Le terme érosion vient du latin « ERODERE » qui signifie « Ronger », donc l'érosion est un phénomène spatiale et temporel, consistant en un arrachage, un transport et un dépôt des particules du sol sous l'effet d'agents externe, pluie, vent, température, action anthropiques, etc. (Ramper, 1987 ; Touaibia, 2000).

I.2. Types d'érosion

L'érosion se manifeste sous deux formes : érosion hydrique et érosion éolienne

- Erosion éolienne.
- Erosion hydrique. (Dutil, 1984).

I.2.1. Érosion hydrique

L'érosion hydrique est compose d'un ensemble de processus complexe et interdépendant qui provoquent le détachement des particules de sol, c'est la perte du sol due a' l'eau qui arrache et transporte la terre vers un lieu de dépôt (Roose, 1977).

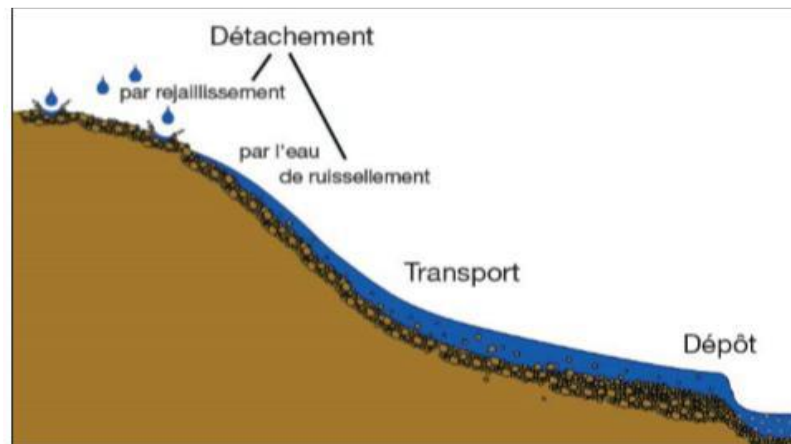


Figure I.1 : schéma représente le phénomène de l'érosion hydrique (Cheggour, 2008).

I.2.2. 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 dû à la fois aux gouttes d'eau (par rejaillissement) et aux eaux de ruissellement et le transport est assuré par ces eau (**Hadidi, 2008**)

I.2.3. Principaux agents de l'érosion hydrique

a) Intensité et agressivité des précipitations

La désagrégation de la structure et le détachement des particules sous l'impact des gouttes de pluie résultent du "travail" exercé par les gouttes à la surface du sol.

Ce travail est donc lié à l'énergie cinétique des gouttes **Ec**.

$$E_c = \frac{1}{2} mV^2$$

Où m est la masse de la goutte (**kg**) et V la vitesse (**ms.-1**), **Ec** l'énergie cinétique (joules). L'évaluation de l'énergie cinétique des gouttes reste un bon critère d'évaluation de l'agressivité des pluies. Il existe d'ailleurs une relation empirique reliant l'intensité d'une pluie et son énergie cinétique (**Rémy et al., 1998**).

$$E_c = 11 \cdot 9 + 8 \cdot 73 \log \log I_p$$

Avec **Ec** : Energie cinétique en j/m²/mm et **IP** : intensité de pluie en mm.h-1.

Les pluies, lors de l'impact des gouttes, provoquent un détachement des matières et une destruction des agrégats lors de la conversion de l'énergie cinétique en efforts de cisaillement. Plusieurs phases sont à considérer lors d'une averse. Les premières gouttes de pluies qui arrivent au sol y pénètrent proportionnellement à son ameublissement et sa porosité. Cette première phase s'accompagne d'un déplacement de particules et d'un tassement du sol. Puis la couche superficielle s'humidifie, et l'on assiste au développement quasi simultané de trois processus : la désagrégation de la structure, la formation d'une pellicule de battance et l'érosion par "splash" ou érosion par rejaillissement (**Benkhadra, 1997**).

L'impact direct des gouttes de pluie provoque non seulement le délitage et la fragmentation des agrégats du sol, mais également l'entraînement et la projection des particules dans toutes les

directions. Ce rejaillissement peut être important. Plusieurs chercheurs ont essayé de quantifier cette masse de sol détachée (D_p) expérimentalement. Les relations obtenues sont en général de la forme (**Poessen, 1984**).

$$D_p = aE_c^b$$

Où D_p est la masse détachée et E_c l'énergie cinétique de la pluie. Les coefficients a et b dépendent essentiellement de la texture et de la structure du sol.

Feodoroff et al. (1965), donnent des valeurs de 15 tonnes de terre remuées par hectare pour une averse de 25 mm et de 300 tonnes par hectare pour une averse de 100 mm. Ces processus de désagrégation de la surface du sol et d'érosion par rejaillissement conduisent à la fermeture des pores à la surface du sol et à la réduction de son infiltrabilité en formant une croûte de battance. Jusqu'à ce stade, on ne peut parler de transport proprement dit. Il faut que le ruissellement démarre pour qu'il y ait une prise en charge des particules détachées par mise en suspension ou par charriage.

b) Ruissellement

Le ruissellement apparaît dès que l'intensité d'une pluie devient supérieure à la vitesse d'infiltration du sol. Il est nettement plus élevé sur sol nu que sous cultures. Les plus faibles ruissellements proviennent des pluies tombantes après une période sèche. Par contre, les ruissellements et les pertes en terres les plus élevées ont eu lieu à une époque où le sol est déjà très humide et dans le cas de pluies exceptionnelles et des orages d'automne et de printemps (**Chebbani. R. et al. 1999**). Le ruissellement ne débute qu'après un cumul pluviométrique journalier de 18 à 20 mm (**Laouina.A, 1998**) sur sol sec même si les pluies sont intenses ou après un cumul de 4 mm sur sol humide et compact (**Chebbani.R. et al.1997**). Ces seuils de hauteur dépendent en partie des caractéristiques des pluies (intensité, mais aussi du volume de pluie tombant après saturation du sol) et surtout de l'état de surface du sol (plus le sol est dégradé plus le ruissellement est rapide).

Selon (**Laouina.A. et al., (1993)**), les pluies continues mais de faibles intensités permettent une certaine infiltration de l'eau et réduisent le ruissellement sur les versants, par contre les épisodes de fortes intensités entraînent un ruissellement plus important. Mais ce sont les épisodes pluvieux

durables avec des événements de forte intensité et répétitifs qui occasionnent la dégradation la plus forte, avec en particulier le passage du ruissellement en nappe au ruissellement en griffes et rigoles. D'une manière générale, il est admis que la vitesse du ruissellement est le paramètre prépondérant de l'action érosive du ruissellement superficiel. En 1965, Meyer a proposé la relation suivante pour évaluer cette vitesse (**Meyer.L.D. 1965**)

$$V_R = (I^{0.33} Q_R^{0.33}) / n^{0.66}$$

Où :

VR : vitesse de ruissellement

I : pente du terrain

QR : Débit du ruissellement

n : rugosité du sol.

I.2.4. Mécanisme

a. 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**)



Figure I. 2 : Rejaillissement du sol et de l'eau suite à l'impact d'une goutte d'eau ou effet Splash (**Cheggour, 2008**)

b. Erosion par ruissellement

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

I.2.5 formes de l'érosion

a. Erosion en nappe

Abaisse progressivement toute la surface du sol soumise à l'énergie cinétique des Gouttes de pluie ; la battance réorganise la structure de la surface du sol, désagrège les mottes et forme des organisations pelliculaires superficielles très peu perméables.

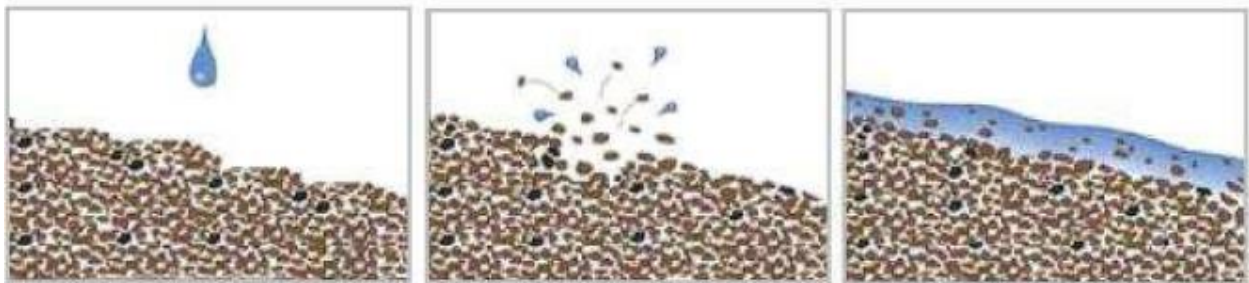


Figure I. 3 : Erosion en nappe (Hadidi. A, 2008).

b. Erosion de type « rill-interrill » (rigole-interrigol)

Ce type d'érosion se caractérise par la juxtaposition à faible distance de rigoles à peu près parallèles, de dimension modeste, mais très nombreuses si on se rapporte à l'unité de surface. Le détachement de matière solide est assuré à la fois par le ruissellement, au niveau des rigoles, et par les gouttes de pluie au niveau des inters rigoles d'où les particules détachées sont facilement exportées en raison de la densité du réseau d'évacuation (Young et Wiersma, 1973. in Bioffin et Monnier, 1986).

c. Erosion par ruissellement concentré

Celle-ci se manifeste par l'existence d'incisions profondes et larges mais très espacées et localisées de façon systématique dans des chenaux de collecte du ruissellement d'origine topographique, ou agraire. Erosion par ruissellement concentré- Erosion par affouillement régressif correspond à de profondes entailles apparaissant au niveau du franchissement d'un talus par des écoulements plus ou moins concentrés. Creusée et déblayée par la chute d'eau, l'excavation régresse vers l'amont par effondrement progressif des parois. (INA2008)

I.2.6. Facteurs de l'érosion hydrique

a. Influence du climat

Le changement de température, la hauteur de précipitation et le vent ont des effets prépondérants sur l'altération mécanique des roches. Leur influence sur l'érosion est difficile à évaluer à cause de leur variation (Benaïcha, 2011)

b. La morphologie du terrain (la pente et longueur de la pente)

Les facteurs topographiques essentiels sont la pente du bassin versant, le relief, la densité, l'importance des reliefs et des plaines d'inondation, l'orientation et la taille du bassin. Les fortes pentes avec un écoulement rapide sont généralement à l'origine d'une érosion excessive dont l'importance dépend de la géologie des sols et la protection de la couverture végétale (Benaïcha, 2011)

c. Le sol

Les roches sont exposées à la pluie, au vent et aux forces de gravité, il peut y avoir désagrégation. La structure et la texture des sols, leur perméabilité, la présence de certains éléments chimiques et matière organique conditionnent l'érodabilité des sols (Benaïcha, 2011)

d. Couvert végétal

Un bon couvert végétal limite l'érosion en dissipant l'énergie de pluie ; favorise l'influence et s'oppose à toutes les formes d'érosion.

L'occupation des terres en rapport direct avec les activités humaines qui sont l'agriculture, l'élevage, les exploitations minières l'abatage du bois, la construction des routes et l'urbanisation vu la suppression de la végétation, entourant sur les phénomènes d'érosion (Benaïcha, 2011)

E : l'homme

L'homme peut être à l'origine de déclenchement et de l'accélération de l'érosion par des actions telles :

- défrichement du fore
- Incendie et surpâturage ;
- Techniques culturales ; (Ammari.A. 2012).

I.2.7. Quantification de l'érosion hydrique

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

a) Formule de Henin "1950"

Cette formule symbolise la relation existante entre l'érosion et les facteurs susceptibles de la favoriser ou de la limiter. La quantification de l'érosion spécifique "Es" est donnée par la formule :

$$E_s = \frac{I_p I S}{K V_e}$$

Avec :

I_p : Intensité des précipitations.

I : Pente du bassin versant.

Les facteurs "I_p" et "I" favorisent l'érosion

Et **S** : Susceptibilité des sols.

K : Perméabilité.

V_e : Végétation.

Les facteurs S, K et V_e limitent l'érosion et en plus, les facteurs S et V_e semblent les plus difficiles à quantifier.

b) Formule universelle de Wischemeir "1959"

Vingt ans après la mise en place des essais d'érosion en parcelles dans une bonne dizaine d'Etats d'Amérique du Nord, il existait une accumulation d'un grand nombre de données sur l'érosion dont il convenait de faire la synthèse. En 1958, Wischemeir, statisticien du Service de

Conservation des Sols fut chargé de l'analyse et de la synthèse de plus de 10.000 mesures annuelles de l'érosion sur parcelles et sur petits bassins versants dans 46 stations de la Grande Plaine américaine. L'objectif de **Wishemeir et Smith (1978 ;1960)** était d'établir un modèle empirique de prévision de l'érosion à l'échelle du champ cultivé pour permettre aux techniciens de la lutte antiérosive de choisir le type d'aménagement nécessaire pour garder l'érosion en-dessous d'une valeur limite tolérable étant donné le climat, la pente et les facteurs de production.

Ce modèle de prévision de l'érosion est le suivant :

$$E = R \times K \times SL \times C \times P$$

Selon ce modèle, l'érosion est une fonction multiplicative de **l'érosivité des pluies** (le facteur **R**, qui est égal à l'énergie potentielle) que multiplie **la résistance du milieu K** (l'érodibilité du sol), **SL** (le facteur topographique), **C** (le couvert végétal et les pratiques culturales) et **P** (les pratiques antiérosives). C'est une fonction multiplicative, de telle sorte que si un facteur tend vers zéro, l'érosion tend vers 0.

c). Formule de Graviovic (1960)

Il a défini l'érosion spécifique, comme étant proportionnelle à la température, à la pluie et à un coefficient d'érosion, l'équation est donnée par l'expression :

$$Es = 3.14 \cdot T \cdot P_0 \sqrt{Z^3}$$

Où :

Es : érosion spécifique dans le bassin versant (T/km².an)

T : coefficient de température

$$T = \sqrt{\frac{t_0}{10}} + 0.1$$

Avec :

t₀ : température moyenne annuelle en oc.

P₀ : pluie annuelle en (mm).

Z : coefficient d'érosion.

Avec :

$$[Z = y \cdot x \cdot a] \cdot (\delta + Imoy)$$

Où :

y : valeur du coefficient de la résistance du sol dû à l'érosion. Il dépend de la roche mère, le type du sol et du climat.

[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 tabulé.

δ : équivalent numérique des processus visibles et nettement prononcés dans le bassin versant.

Imoy : indice de pente moyenne du bassin versant.

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

$$T_{ss} = 26.62 I_e + 5.071 IP + 9.77 Ct - 593.59$$

Où :

Tss : transport solide spécifique moyen annuel (**T/Km².an**)

Ie : indice lithologique (%).

IP : indice des précipitations (%).

Ct : coefficient de torrentialité. **Ct = Dd . F1**

Dd : Densité de drainage

$$D_d = \frac{\sum_{I=1}^n L_I}{A}$$

LI : longueur de tous les cours d'eau d'ordre « 1 » (**K m**).

F1 = nombre de talweg/ surface fréquence des talwegs élémentaire

Cette formule est applicable dans les conditions suivantes :

$I_e > 10\%$

$IP > 300$

e) Formule de Tixeront (1960)

$$E_s = [S_1 \cdot Ta_1 + S_2 \cdot Ta_2 + S_3 \cdot Ta_3 + \dots \dots \dots S_n \cdot Ta_n]$$

Avec :

Es : Erosion spécifique (**t/Km².an**).

Ta1, Ta2, Tan : Taux d'abrasion en fonction de la perméabilité du sol dans les sous Bassin (**T/Km²**).

S : superficie totale du bassin (**Km²**).

S1, S2, Sn : Superficie des sous bassins(**Km²**).

Maintenant, si on suppose que la totalité du bassin possède une même perméabilité,

On a **Es = K.Le**

Le : Lame d'eau ruisselée moyenne interannuelle (**mm**).

K : constante

K : coefficient qui tient compte de la perméabilité des terrains.

K = 8,5 pour les terrains d'une perméabilité élevée.

K = 75 pour les terrains d'une perméabilité moyenne élevée.

K = 350 pour les terrains d'une perméabilité faible à moyenne.

K = 1400 pour les terrains d'une perméabilité faible.

K = 3200 pour les terrains perméables.

F). Formule de Fournier (1960)

$$Q_s = \frac{1}{36} \cdot \left[\frac{P}{P_a} \right]^{2.65} \cdot \left[\frac{H_{\text{moy}}^2}{S} \right]^{0.46}$$

Qs : l'apport solide moyen inter annuel (**T/Km².an**).

P : la pluviométrie du mois le plus arrosé (**mm**).

Hmoy : l'altitude moyenne (**mm**).

Pa : la pluviométrie moyenne inter annuelle (**mm**).

S : la superficie du bassin versant (**Km²**).

I.2.8. Les conséquences de l'érosion hydrique

La perte de matière organique et d'éléments nutritifs et la mise à nu de couches du sol moins fertiles qui peuvent conduire à une baisse de rendement des cultures.

Une réduction volume de sol explorable par les racines et de la réserve utile en eau et en éléments nutritifs pour des sols peu profonds ou des sols présentant, à faible profondeur, des propriétés défavorables (forte charge caillouteuse, acidité).

L'impact à long terme de l'érosion sur les rendements est difficile à évaluer en pratique. En effet, l'augmentation de la productivité des cultures suite aux développements technologiques et aux apports de fertilisants et d'amendements organiques a vraisemblablement masqué jusqu'à présent l'impact de la dégradation des sols sur les rendements (FAO, 1983).

Une eau très conséquence importante est l'envasement des barrages et des retenues en aval ce qui affecte leur capacité à mobiliser les eaux de surface dans un but d'irrigation ou d'alimentation en eau potable par exemple. Les écosystèmes, les productions et la sécurité alimentaire sont alors sévèrement affectés.

L'envasement accéléré des barrages, des canaux d'irrigation et des réservoirs (Mohammed. A et al., 2006).

Une augmentation du coût de traitement des eaux de consommation.

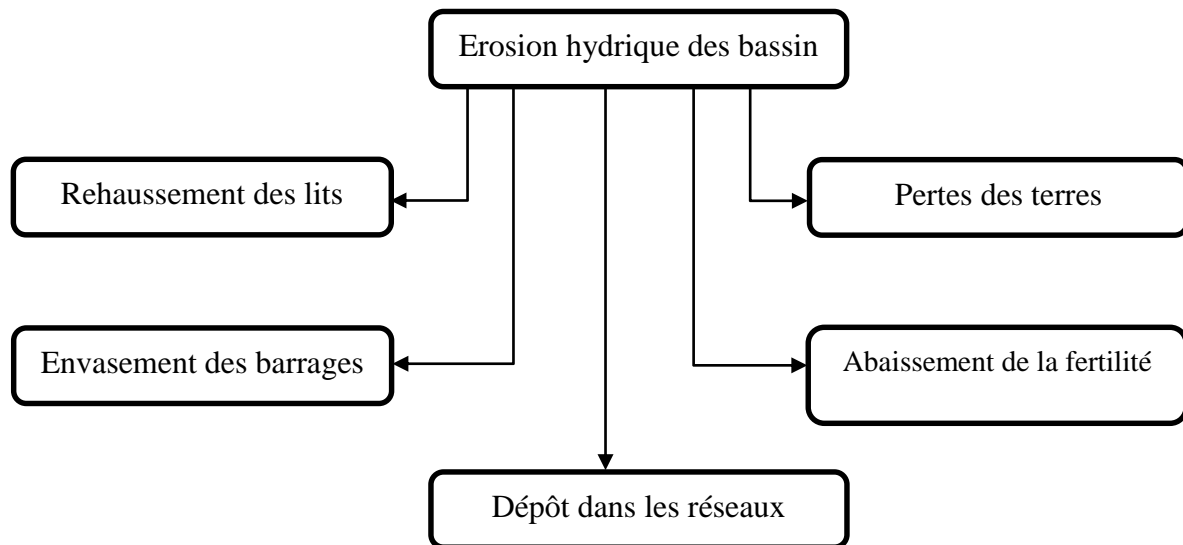


Figure I. 4 : Conséquences de l'érosion hydrique (INA ,2008).

I. 3. Transport solide

Le transport solide est par définition la quantité de sédiment (ou débit solide) transportés par un cours d'eau. Ce phénomène est limité par la quantité de matériaux susceptible d'être transportée. Il est principalement réglé par deux propriétés du cours d'eau :

-**Sa compétence** : Elle est mesurée par le diamètre maximum des débris rocheux que peut transporter le cours d'eau. Cette caractéristique est essentiellement fonction de la vitesse de l'eau. Les variations de la compétence en fonction de la vitesse et la granulométrie du substrat ont été étudiées par **Hjulstrom .(1930)**

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

Le processus entier peut être considéré comme un cycle continu de :

Erosion ➡ **Transport solide** ➡ **Sédimentation**

Hjulstrom, 1935 a montré qu'il existait trois zones : la zone supérieure d'érosion, par un minimum vers 100 microns, la zone inférieure de sédimentation, et entre les deux, une zone de transport.

La granulométrie des particules sédimentaires a donc une influence majeure sur leur transport (et sur leur vitesse de sédimentation). Le graphe de la **figure I. 5** (essentiellement basé sur des expériences en laboratoire) montre la vitesse minimale d'un courant nécessaire pour mobiliser, transporter et déposer des grains de quartz de granulométrie variable.

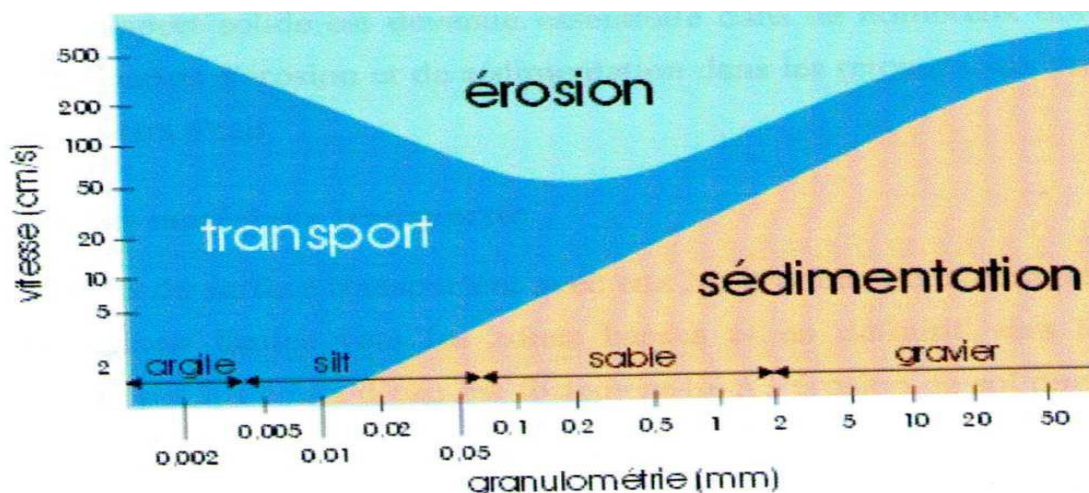


Figure I. 5 : Diagramme érosion, transport, sédimentation. (**Hjulstrom, F, 1930**)

L'analyse d'abord de la partie supérieure de ce graphe (Érosion des particules), montre que la portion de la courbe représentant l'érosion des particules moyennes à grossières (sable fin à

galets) semble logique : la vitesse du courant nécessaire pour mobiliser les grains augmente avec leur granulométrie. L'érosion démarre pour une vitesse minimum de 25 cm par seconde lorsque la texture du matériau des berges est d'environ 100 microns. Pour les particules fines, par contre, la courbe montre une augmentation de la vitesse du courant avec la diminution de la granulométrie. Ce comportement paradoxal est la conséquence de la cohésion élevée des particules fines, liée à un effet électrostatique. La partie inférieure du graphe montre la relation entre la granulométrie des particules et la vitesse du courant lors de leur dépôt.

Les deux propriétés du cours d'eau (compétence et capacité) ne sont pas directement liées. Ainsi dans un fleuve, la compétence décroît vers l'aval, ce qui n'est pas le cas de la capacité. Le transport des sédiments par les cours d'eau est donc déterminé par les caractéristiques des particules (taille, forme, concentration, vitesse de chutes et densité des particules). L'érosion et le transport solide (en tonnes par kilomètre carré et par an) dépendent fortement du climat local (précipitations essentiellement), du sol, de la pente et de l'occupation de sol.

Les valeurs peuvent varier de 50 à 500 tonnes par km² et par an. Les formules universelles ne sont pas disponibles. Basé sur des données locales, des formules régionales ont été développées. L'étude du transport solide est devenue essentielle dans de nombreux domaines, de l'étude des processus d'érosion et de sédimentation dans les retenues aux études sur la pollution des cours d'eau.

I.3.1. Généralités

Le transport solide dans un cours d'eau constitue la seconde phase de l'érosion, la dynamique des matériaux arrachés au sol et transportés par le réseau d'écoulement dépend essentiellement de la vitesse d'écoulement et de la granulométrie. **(Graf.w, 2000).**

L'eau trouve la puissance nécessaire pour ce transport dans la perte de charge qu'elle subit. Le champ d'exploitation de vitesse varie tout au long du profil de l'oued d'amont en aval.

L'eau met en jeu deux types de mécanisme : le charriage et la suspension qui sont les principaux types de transport solide.

La capacité de charriage est liée à la nature granulométrique des matériaux et varie dans le temps et dans l'espace avec le débit liquide.

La répartition entre le charriage et la suspension dépend essentiellement de la dimension des matériaux rapportés à la vitesse de l'eau et à la turbulence de l'écoulement.

En tout point d'une rivière, l'alimentation en débit solide est définie par les caractéristiques hydrologiques de son bassin versant. (Mokhtari, 2009)

L'Américain Geophysical Union, donne une classification des particules selon leur mode de transport (modifiés)

Tableau I.2 : différents aspect du transport des sédiments :

Dimension	désignation	Mode de transport
De 0.24 à 4µm	vases	suspension
de 4 à 62µm	silt	suspension
De 0.002 à 2 mm	sable	Suspension/charriage
De 2 à 64 mm	graviers	charriage
De 64 à 250 mm	galets	charriage
>250 mm	blocs	charriage

(Bouanani.2004)

I.3.2. Origine des matériaux transportés

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, véhicules 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. (Mohammedi.I.2015)

I.3.3. Types de transport solide

- Transport par charriage ;
- Transport en suspension ;

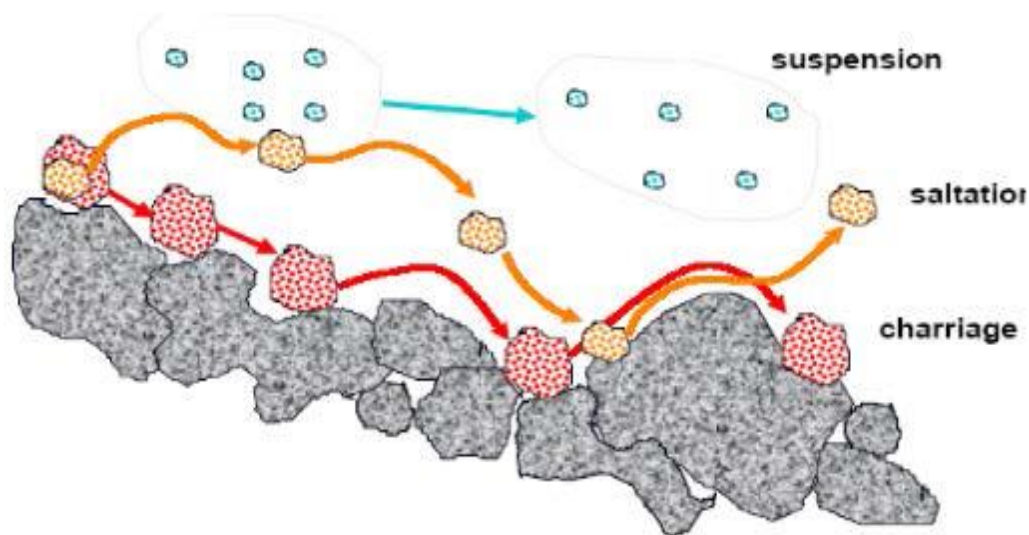


Figure I. 6 : Schémas des modes de transport solide (Graf W, 2000).

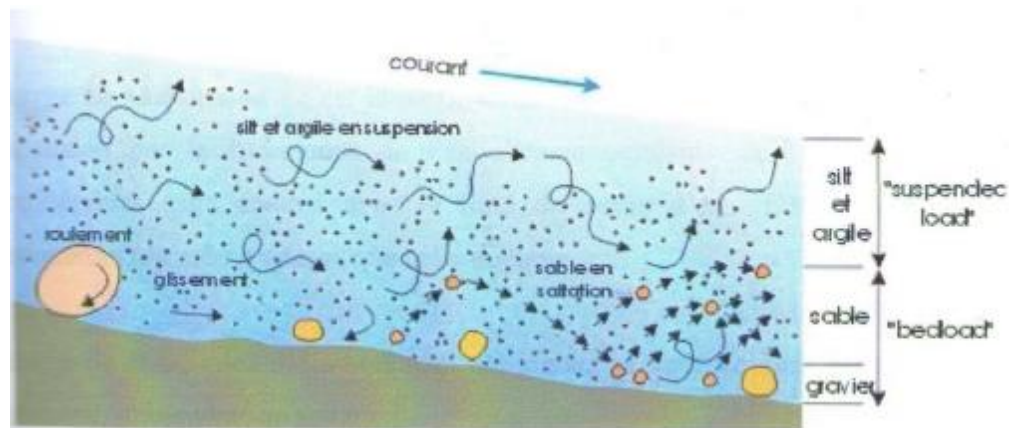


Figure I. 7 : Modes de transport des particules dans un courant

(D'après **Boulvain, 2004**)

I.3.3.1. Transport par charriage

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

Les mesures sur le terrain du transport solide par charriage sont très onéreuses à cause des perturbations de l'écoulement. De ce fait, les évaluations de ce type de transport sont difficiles à mener en l'absence de bases de données. On se contente généralement d'études sur modèles réduits pour déterminer la proportion du charriage par rapport à la suspension ou au transport total (**Couvert et al. 1994 ; Du voisin, 1989**). Pour quelques bassins versants le taux de charriage a été estimé à 12.5 % de la suspension (**Djebbi, 1990**).

I.3.3.2. Transport solide en suspension

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

Quelques valeurs indicatives, permettent de délimiter les deux modes de transport. Ces valeurs utilisent le rapport entre vitesse de l'écoulement V sur le lit du cours d'eau, et la vitesse W de chute des particules, (**Graf, 1971**).

- $V/W > 0.10$ début de transport par charriage.
- $V/W > 0.40$ début de transport en suspension.

I.4.Mesure du transport solide

La quantité de sédiments transportés par un cours d'eau, à une section donnée peut être mesurée par plusieurs méthodes : (**Mussy 2002**)

- Collecte d'échantillons.
- Levé topographique et bathymétrique de lacs ou de retenues pour évaluer l'apport global de sédiments.
- Utilisation de traceurs de sédiments dont les signatures permettent surtout d'évaluer les taux de sédimentation.

I.4.1. Mesure du transport en suspension

Elle consiste à mesurer une concentration en matière en suspension, une large gamme d'options est disponible, la méthode la plus rigoureuse pour obtenir la charge solide en suspension consiste à procéder, comme pour la mesure du débit, à une intégration de différentes concentrations et de vitesses sur plusieurs verticales, cette technique nécessite un matériel adapté. Le dispositif de prélèvement le plus simple est la bouteille d'échantillonnage

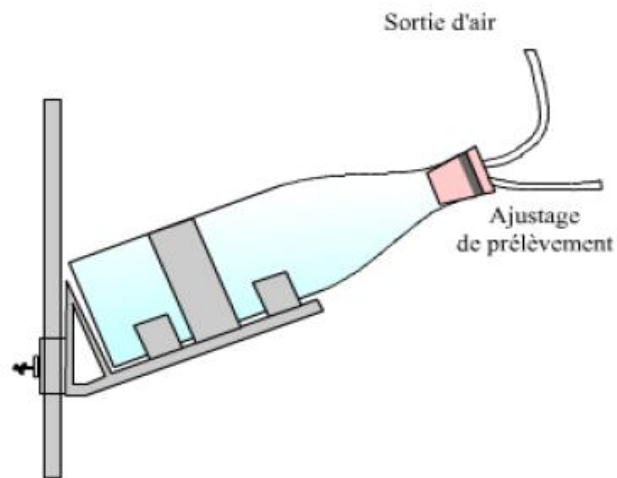


Figure I.8.Bouteille d'échantillonnage (Mussy 2002).

Ou par les échantillonneurs standardisés qui prélèvent à chaque verticale un certain nombre de mesures, comme le montre la **figure I.9**.



Figure. I.9. Appareil de mesure de la charge en suspension (Mussy2002).

Le calcul du débit solide en suspension se fait par intégration sur toute la section.

$$Q_s = \iint q_{ss} = \iint C \cdot V \cdot dS$$

C : concentration de sédiment.

V : vitesse d'écoulement.

Une mesure continue du transport solide en suspension est aussi possible suivant deux principaux types de mesures (**Mussy ,2002**)

a- Une mesure à l'aide de préleveurs d'échantillons automatiques réglés pour un pas de temps donné. Ce dispositif comprend un système de pompage et un transfert vers une série de flacons d'échantillonnages.

b- Une mesure de la turbidité à l'aide de turbidimètre, cette technique nécessite un calibrage préalable.

I .5. Caractérisation de la relation concentration en sédiments en suspension – débit liquide

Dans les petits cours d'eau, les concentrations des sédiments en suspension sont directement liées au débit. Les concentrations des sédiments en suspension augmentent généralement très rapidement pendant les montées des crues, produisent une pointe avant le débit maximal puis diminuent plus lentement pendant la décrue. Autrement le débit liquide et la concentration instantanée des sédiments en suspension peuvent ne pas avoir une relation stationnaire pendant un écoulement simple dû à une averse.

La tendance pour que la concentration en sédiment ait différentes valeurs à des débits identiques est l'effet d'hystérésis.

La figure montre le caractère cyclique de la relation **C-Q**. Trois périodes peuvent être distinguées dans cette boucle :

(a) La première période est caractérisée par une forte augmentation de la concentration de sédiments en suspension et du débit. Cette phase est définie par l'arrivée successive des premières quantités de matériaux en suspension produites essentiellement par l'effet « splash » des pluies érosives dans les zones de ruissellement proches de l'exutoire du bassin. Cette période peut aussi correspondre à la remobilisation des matériaux déposés sur le fond lors des basses eaux (**Kattan et al. 1987**).

(b) La seconde période est caractérisée par une diminution de la concentration des sédiments en suspension et une forte augmentation du débit. Cette phase de transport correspond à la dilution de la concentration des sédiments et peut également être attribuée à l'érosion des berges du cours d'eau (**Kattan et al. 1987 ; Dinehart, 1992**).

(c) La troisième période est caractérisée par une diminution de la concentration des sédiments en suspension et du débit. Cette phase correspond au dépôt des matériaux sur le lit des cours d'eau et dans les zones alluviales du bassin.

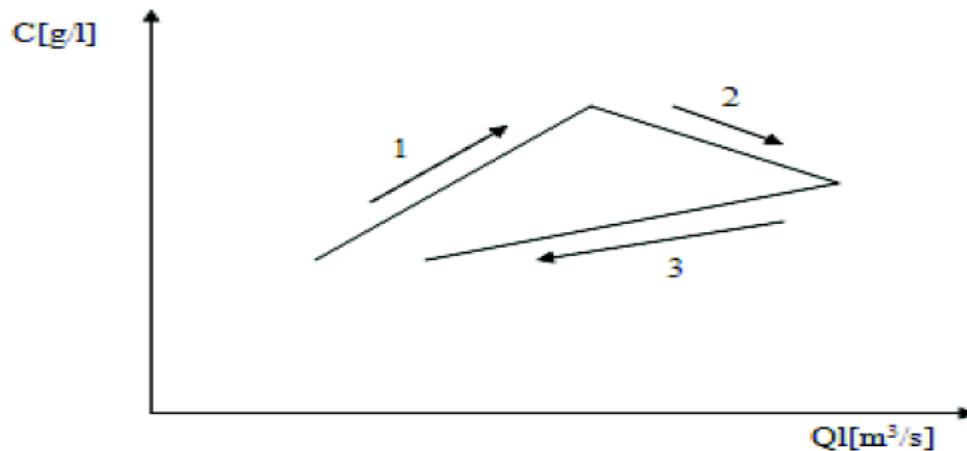


Figure I.10 : modèle de relation C-Q

1-Erosion 2- Transport 3- Dépôt

I.6. L'envasement des barrages

Le phénomène de l'envasement des barrages est l'aboutissement d'un processus naturel d'érosion des bassins versants et du sapement des berges des cours d'eau.

Ce phénomène naturel enregistre les valeurs les plus élevées dans les régions arides et semi arides comme le Maghreb et plus particulièrement l'Algérie. L'envasement qui représente le dépôt successif des sédiments, pose des problèmes de quantité et de qualité des eaux des barrages. En matière de quantité, l'infrastructure hydrotechnique Algérienne forte de 74 grands barrages, d'une capacité de 8 milliards de m^3 est amputée annuellement d'une capacité de plus de 50 millions de m^3 . (Remini B. & al. / Larhyss Journal, 27 (2016), 63-90)

L'envasement des barrages est l'une des conséquences la plus dramatique de l'érosion hydrique ; environ 180 millions de tonnes sont arrachés annuellement des bassins versants par le ruissellement dans le nord d'Algérie (Demmak, 1982). En plus de terres arrachées par l'érosion des bassins versant, une quantité non négligeable en provenance des sapements des berges participe

à l'accélération de l'envasement des barrages réservoirs. La particularité de l'envasement des barrages en régions arides réside dans le mécanisme et le processus du comblement. C'est ainsi que les fortes concentrations en particules fines enregistrés dans les oueds en périodes de crues déclenchent la formation des courants de densité à l'entrée des retenues de barrages (**Duquennois, 1956 ; Duquennois, 1957 ; Rimini, 1997**). Donc les barrages des régions arides s'ensavent en périodes de crues, lesquelles surviennent après une longue sécheresse (6 à 7 mois) où le sol devient très favorable à l'érosion par des ruissellements. (**Remini B. & al. / Larhyss Journal, 27 (2016), 63-90**)

I.7. Problèmes posés par la sédimentation dans les barrages

La sédimentation dans les barrages pose d'énormes problèmes au niveau du réservoir lui-même, mais aussi en amont et en aval du réservoir. Elle entraîne :

La réduction de la capacité utile du barrage.

Le blocage des organes de vidange.

La sédimentation peut mettre la stabilité de l'ouvrage en danger.

Elle peut aussi accélérer l'eutrophisation du lac.

Les sédiments en suspension dans l'eau distribuée par les canaux, à partir des barrages, se déposent dans ces ouvrages, réduisent leur débitance, et rendent difficile leur exploitation.

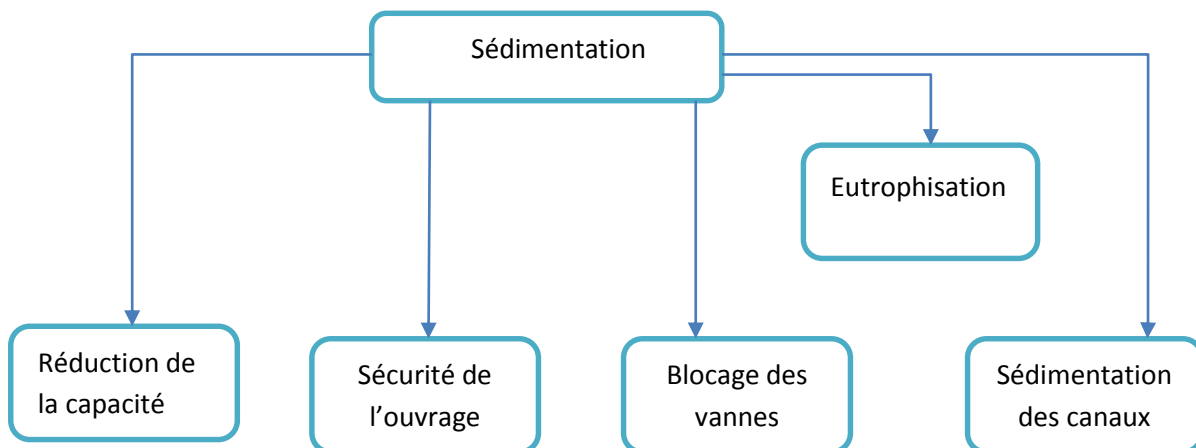


Figure I.11 : Problématique posé par la sédimentation. (**W. Remini, B. Remini.2003**)

I.8. Etapes de l'envasement de barrage

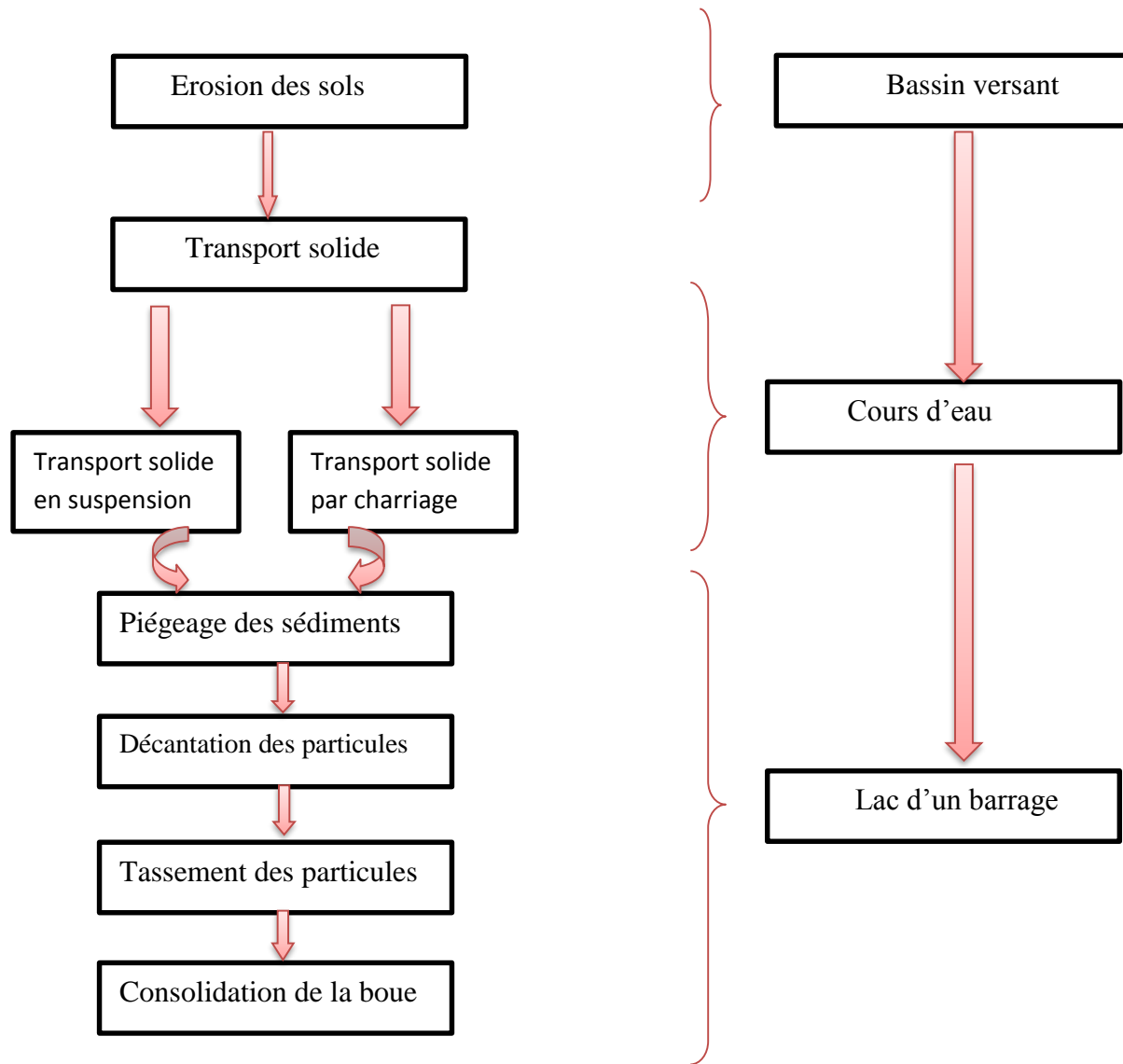


Figure I, 12 : processus d'envasement d'un barrage réservoir (Remini, 1990).

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 650 Km² et une superficie de 5000 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.

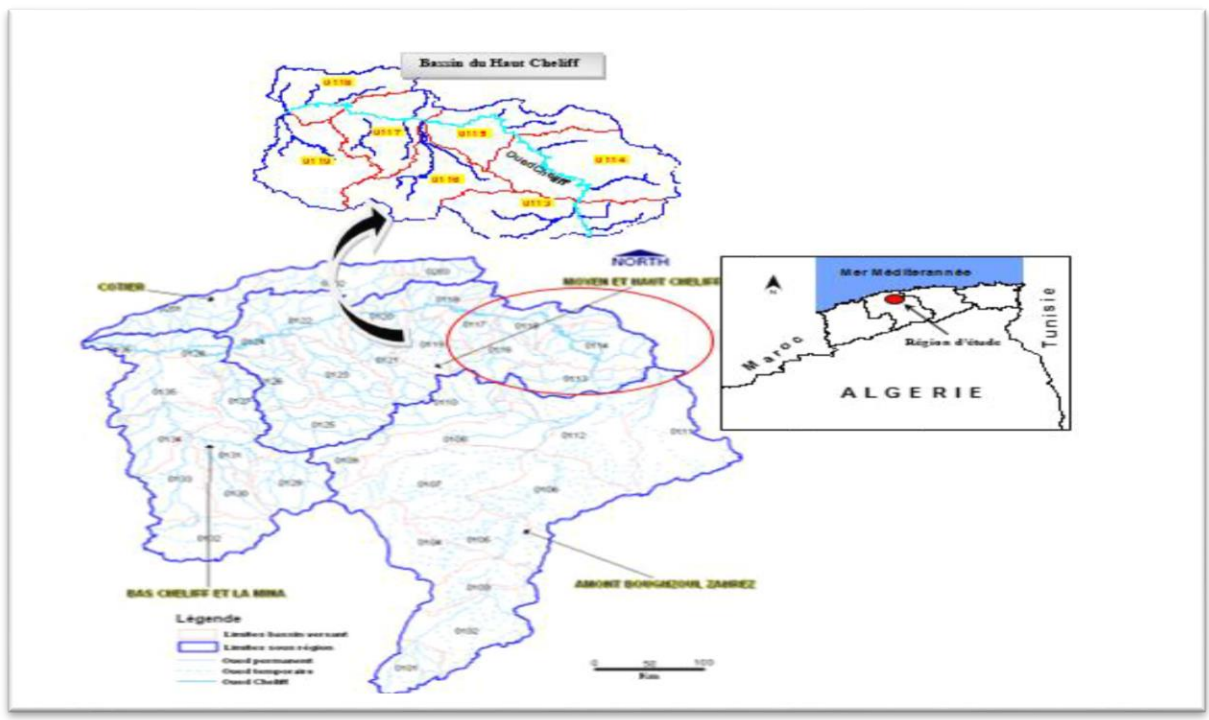


Figure II.13: Carte de localisation du Bassin versant du Haut Cheliff (Touhari F, 2015).

II.2. Caractéristiques morphométriques

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 morphométriques 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 II.3: Caractéristiques morphométriques 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 (Ds) (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)

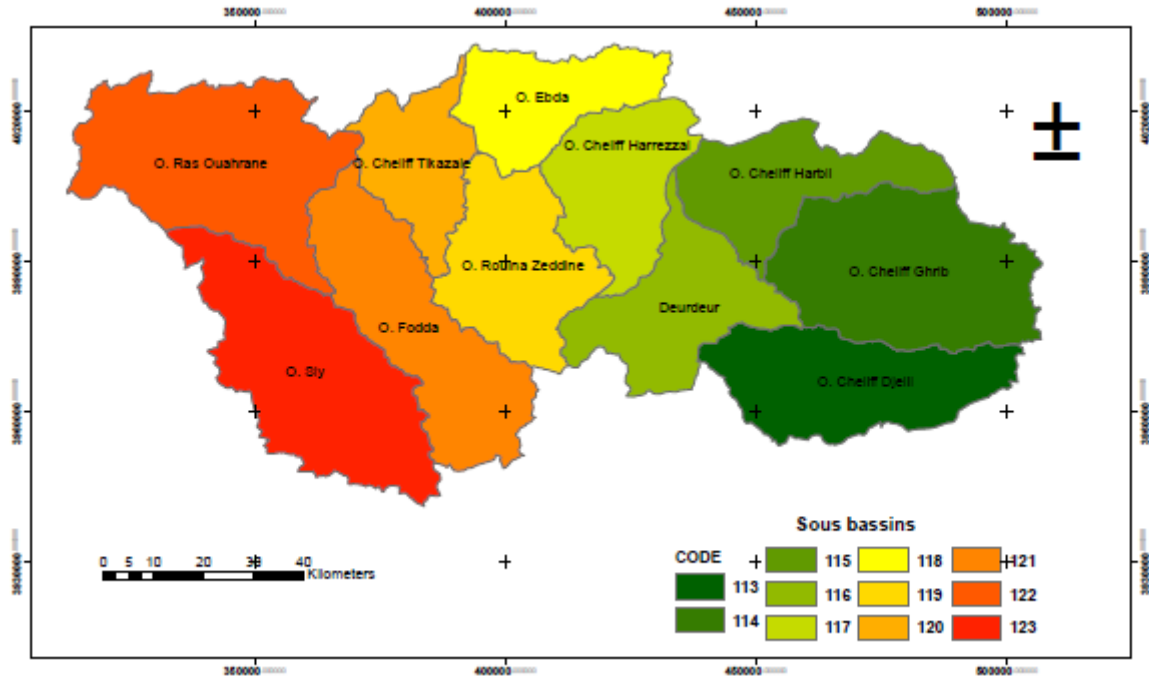


Figure. II.14 : Carte des sous bassin du haut et du moyen Cheliff. (Benkaci.S.2018)

II. 3. Morphologie

Le bassin versant 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.M.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. (Ikhlaf.2005).

II.4. 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.5. Agriculture

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

II. 6. La lithologie du bassin versant

Il est caractérisé par les massifs calcaire crétacés qui représente 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-quadernaires, les cônes de déjection cimentés, les glacis, les zones de remblaiement argilo-limoneux (**Durand Delga, 1952**).

II.7. Pédologie

La vallée du Chélif est caractérisée par des sols d'apport colluvial et surtout alluvial. Lapédogénèse est très marquée par des phénomènes d'hydromorphie, halomorphie, 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 croute décalcifiée en surface. **(Boulaine.J.1957).**

II.8. L'occupation des sols

La plaine d'El -Khemis occupé essentiellement par l'agriculture 65%, et des zones urbanisation (semi urbaine et rurale), les route, bâtiment.la région est à vocation agricole, les cultures herbacées73, 5%, malgré l'importance de l'irrigation le céréale –jachère 45%

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

- Les cultures maraîchères est important 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 répartie 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 **(DSA, 2007).**

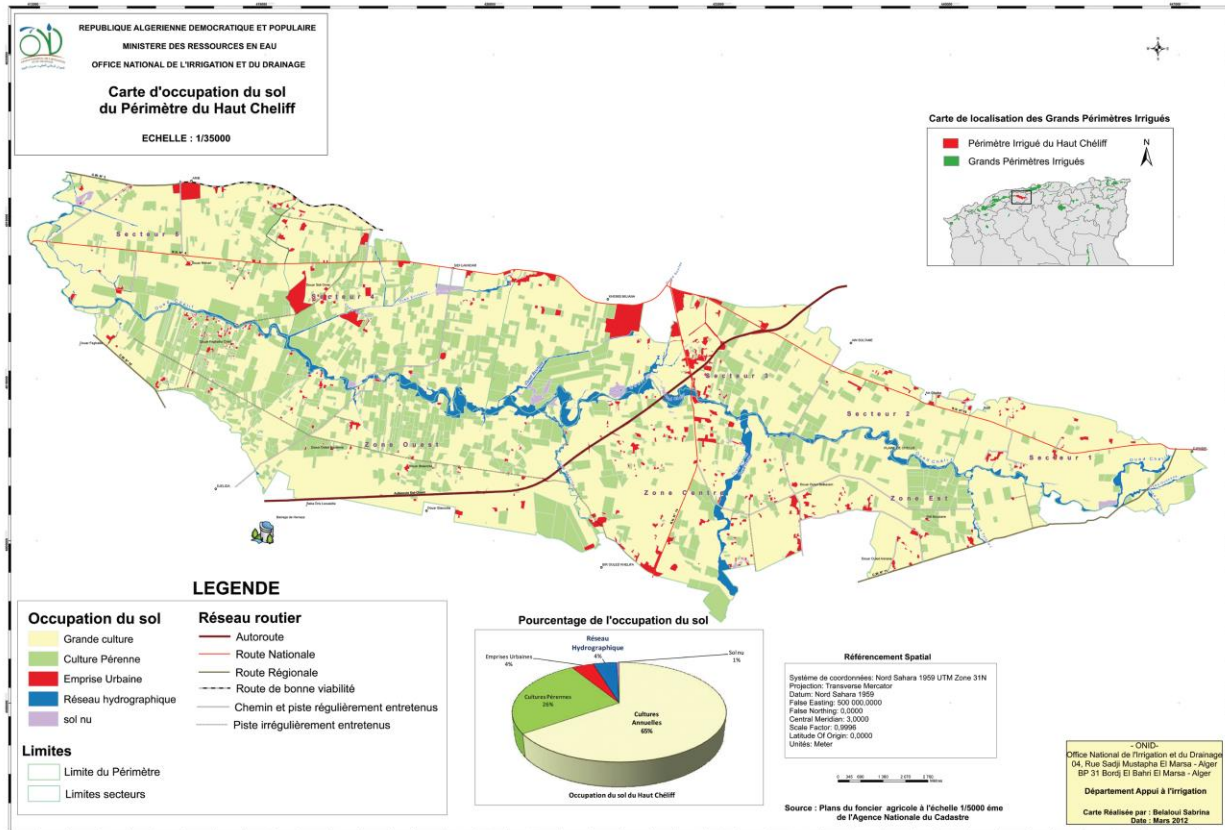


Figure II.15. Carte d'occupation des sols du Périmètre du Haut-Cheliff (ONID 2012).

II. 9. Caractéristiques hydro climatologiques

II. 9.1. 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).

II.9.1.1. 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 II.4 : 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) (figure II.15), 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).

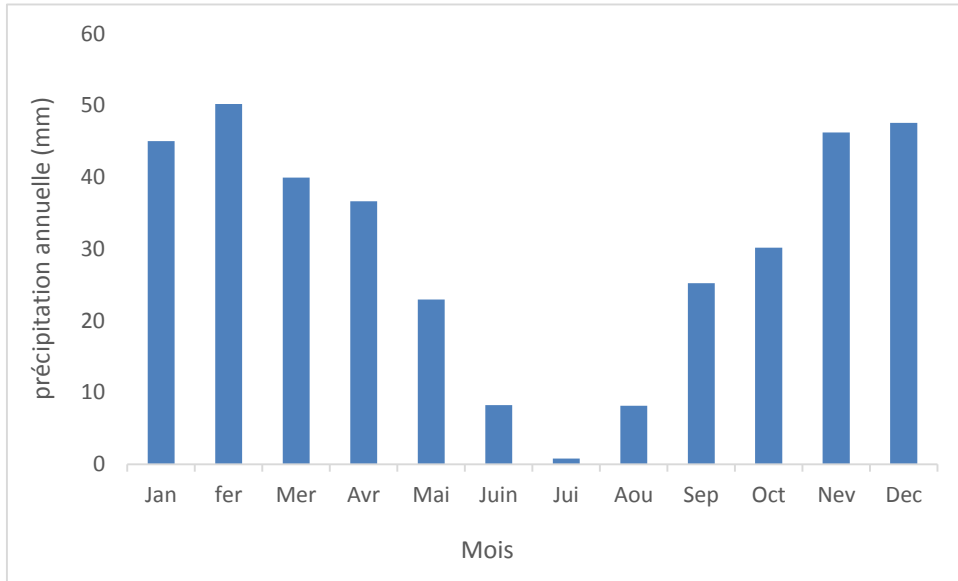


Figure II.16 : Variation des précipitations moyennes à la Haute-cheliff-Harraza (1990-2015).

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.

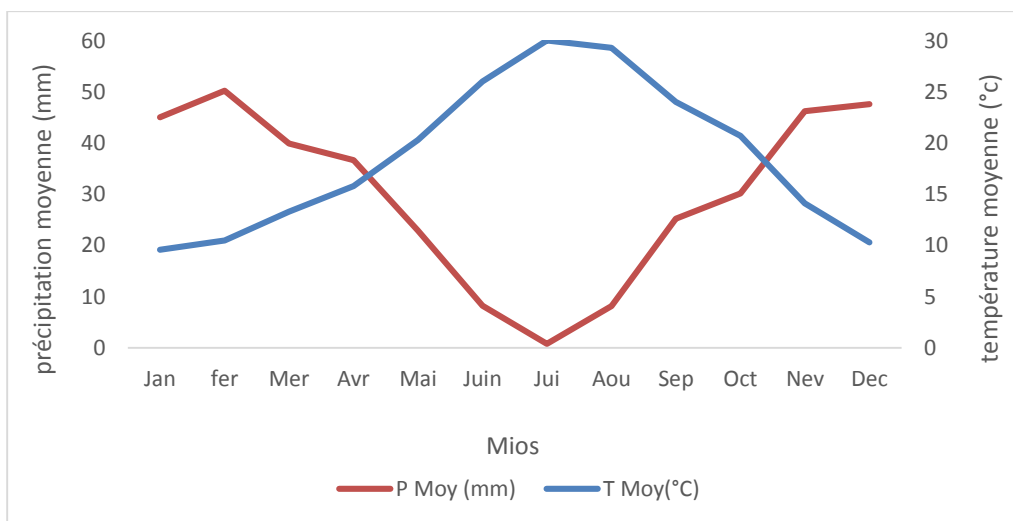


Figure II.17 : Diagramme Ombrothermique de la haut Cheliff- Harraza (1990-2015).

II.9.1.2 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.10. 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 (**Sogreah, 1984**).

I

I.11. Stations Hydrométriques

Le réseau d'observation de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) compte 11 stations hydrométriques (tableau 05).

Tableau II.5 : Caractéristiques des stations hydrométriques situées dans le bassin du Haut et du Moyen Cheliff.

Code	Dénomination	Mise en Service	Superficie Contrôlé (km ²)	Période d'observation	Date	Qmax (m ³ /s)	Date	Qmax de l'année (m ³ /s)
011407	GHRIB AMONT	01/10/1976	1898	76-95	09-79	402.0	*	*
011501	TAMZGUIDA	01/09/1970	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	01/12/1990	500	90-01	09-94	432.0	Sep-01	2.2
011702	ARIB CHELIFF	01/02/1973	2452	68-01	03-73	562.2	Nov-01	6.7
011715	EL ABABSA	01/09/1972	102	73-00	10-94	58.8	-	-
011801	ARIB EBDA	01/09/1970	270	83-94	12-88	175.0	*	*
011905	BIR OULED TAHAR	01/09/1989	435	90-01	05-97	191.0	Nov-01	0.7
012001	EL ABADIA 1	01/02/1968	26414	80-91	01-91	952.8	*	*
012004	TIKAZAL	01/09/1972	130	-	-	-	-	-
012201	OULED FARES	01/09/1972	262	83-93	05-91	130.6		

(*) Données Manquantes.

(Source ABH 2006)

(-) Station hors service.

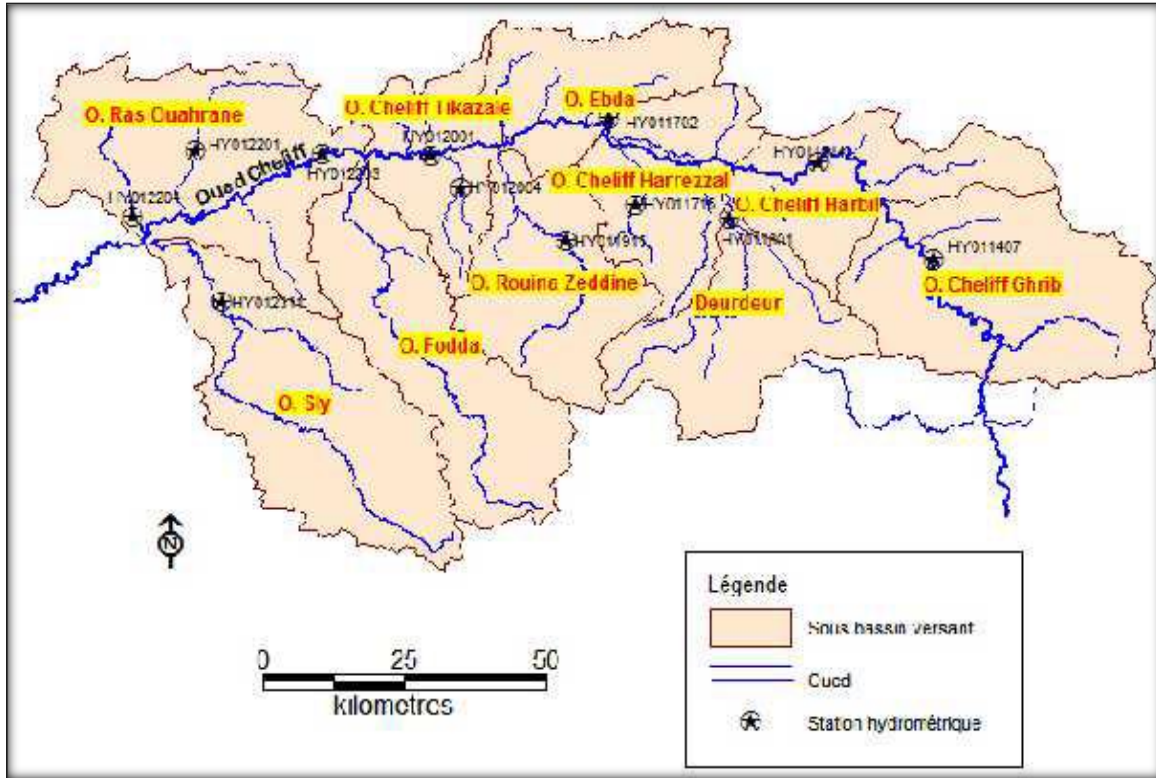


Figure II.18: Localisation des stations hydrométriques du bassin haut et moyen Cheliff (Teberbi, B.2016)

II.12. 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 grés 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. Les marnes constituent le substratum de cet horizon aquifère (**Tableau 6**).

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 II.6 : 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 captive
Alluvions Grossière	50-150	Quaternaire	Perméable (Porosité d'interstices)	Captive a 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,2005).

Chapitre III

Matériel et Méthodes

III.1. Données

L'étude est réalisée à partir des données collectées au niveau des différentes stations étudiées des débits instantanés et des concentrations des sédiments en suspension. L'analyse de ces données, montre une variation d'année en année et de saison en saison en volume et en quantité de sédiments charriés. Les données disponibles consistent à établir des fichiers de :

- Débits liquides instantanés (**m³/s**).
- Les concentrations C en (**g/l**).
- Débits solides instantanés (**kg/s**).

Nous disposons des observations de 11 stations hydrométriques, la période d'exploitation des stations et le nombre d'observations de ces stations sont donnés dans **le tableau II.5**.

Les données utilisées sont des valeurs instantanées des débits liquides et débit débits solides, celles-ci sont obtenues par mesure aux exutoires des bassins versants. À chaque mesure du débit liquide une mesure est effectuée pour l'évaluation de la charge en matière en suspension, qui est obtenue à partir d'échantillon d'eau prélevée sur les rives du cours d'eau, puis séché pour avoir une concentration de la charge en (**g/l**), le débit solide ainsi donc déduit par le produit de concentration en (**kg/s**) et du débit liquide en (**m³/s**). Le nombre de prélèvement varie en fonction du régime hydrologique, il est intensifié pendant les périodes de crue et des périodes de fortes charges allant jusqu'à dix minutes d'intervalle. Les débits liquides instantanés ainsi que les concentrations des sédiments en suspension ont été obtenues via l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques algérienne (**Agence Notionnel des ressource Hydrique.2016**)

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 $Q_s = C \cdot Q_l$.

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

Tableau III.7: données collectées des débits liquides et débit solide dans la station 011601

Code	Année	Heure	Hauteur	QL (m3/s)	Concent (g/l)	QS (Kg/s)
011601	10-déc-1990	1300	30	0,110	0,64	0,070
011601	11 -déc-1990	1300	33	0,227	1,22	0,277
011601	12 -déc-1990	1300	46	1,060	17,32	18,359
011601	13 -déc-1990	1300	33	0,227	2,43	0,552
011601	23 -déc-1990	1300	36	0,344	12,80	4,403
011601	24 -déc-1990	1300	32	0,188	3,55	0,667
011601	14-janv-1991	1300	35	0,305	13,86	4,227
011601	21-févr-1991	0920	48	1,380	1,96	2,705
011601	27-févr-1991	1300	40	0,500	5,86	2,930
011601	28-févr-1991	1300	40	0,500	8,74	4,370
011601	1-mars-1991	1300	41	0,580	1,41	0,818
011601	2-mars-1991	1300	40	0,500	9,35	4,675
011601	14-mars-1991	0900	49	1,540	7,23	11,134
011601	9-avr-1992	0700	70	5,200	991,00	5153,200
011601	9-avr-1992	1300	80	8,600	10,95	94,170
011601	10-avr-1992	0700	92	13,460	7,94	106,872
011601	11-avr-1992	0700	70	5,200	0,60	3,120
011601	23-mai-1992	1300	56	1,832	58,68	107,502
011601	23-mai-1992	1800	48	0,802	107,71	86,383
011601	24-mai-1992	1300	44	0,484	47,49	22,985
011601	25-mai-1992	1300	46	0,634	8,03	5,091
011601	26-mai-1992	1300	42	0,352	0,73	0,257
011601	12-déc-1996	1910	84	10,200	272,06	2775,012
011601	12-juin-1996	1913	94	14,320	208,04	2979,133
011601	12-juin-1996	1928	134	38,200	231,51	8843,682
011601	6-oct-1995	0700	59	2,318	173,43	402,011
011601	8-oct-1995	1800	120	27,000	119,88	3236,760
011601	16-sept-1997	1310	60	4,400	71,25	313,500
011601	16-sept-1997	1330	50	2,480	68,05	168,764
011601	16-sept-1997	1400	40	1,010	63,23	63,862
011601	17-sept-1997	0700	60	4,400	90,83	399,652
011601	20-sept-1998	1300	51	2,672	9,61	25,678
011601	9-sept-1999	1300	32	0,390	71,67	27,951

Tableau III.8 : données collectées des débits liquide et débit solide dans la station de 011905.

Code	Année	Heure	Hauteur	QL (m3/s)	Concent (g/l)	QS (Kg/s)
011905	3-sept-1990	1800	25	0,520	116,25	60,450
011905	4-sept-1990	1300	17	0,224	1,23	0,276
011905	5-sept-1990	1300	19	0,298	1,60	0,477
011905	18-sept-1990	1612	100	6,000	179,40	1076,400
011905	4-oct-1991	1354	40	0,550	173,67	95,519
011905	5-oct-1991	0700	23	0,008	66,29	0,530
011905	21-nov-1991	0700	27	0,054	15,77	0,852
011905	26-janv-1992	1705	80	4,200	24,43	102,606
011905	27-janv-1992	0700	130	13,500	36,45	492,075
011905	1-févr-1992	1300	36	0,378	2,19	0,828
011905	3-févr-1992	1300	37	0,421	1,90	0,800
011905	29-déc-1993	1300	54	0,184	15,60	2,870
011905	30-déc-1993	0700	50	0,080	2,95	0,236
011905	1-mars-1993	1300	56	0,470	15,91	7,478
011905	2-mars-1993	1300	49	0,185	0,98	0,181
011905	15-mars-1993	1300	49	0,185	12,37	2,288
011905	20-avr-1994	2001	60	0,530	12,42	6,583
011905	6-mai-1995	1913	100	6,000	188,67	1132,020
011905	7-mai-1995	0632	63	0,691	62,29	43,042
011905	4-juin-1996	1300	68	0,042	0,29	0,012
011905	11-juin-1996	0700	72	0,056	130,11	7,286
011905	16-aout-1998	1300	41	0,118	100,25	11,830
011905	17-aout-1998	1300	30	0,010	13,39	0,134
011905	24-juin-1999	1300	56	0,160	177,14	28,342
011905	25-juin-1999	1300	51	0,146	5,35	0,781

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 instantanés (**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.

$$Q_s = aQ_l^b$$

Q_s: débit solide (**Kg/s**)

Q_l : débit liquide (**m³/s**).

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 instantanés (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 **Q_s=f(Q_l)**.

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 tris échelles :

- Echelle saisonnière ;
- Echelle annuelle ;
- Echelle mensuelle.

III.6. Etude statistique

a) 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 .

b) Écart-type

$$S^2 = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x - \bar{x})^2}{n}}$$

Avec

S^2 : L'écart-type

\bar{x} : La moyenne arithmétique

c) Coefficient de variation

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

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

Tableau III.9 : paramètres statistiques des variables (concentration, débit liquide, débit solide).

Station	Variables hydrométriques	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	3185.33	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	1383.155	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	1348.030	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	1006.965	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	1168.400	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	2208.109	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	3516.049	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 **III.9**, nous constatons une variation très importante des débits solides, témoignés par des valeurs très élevées du coefficient de variation 431% et 439% du stations 012201,012001 respectivement.

III.7. Analyse statistique des données physiographiques

L'analyse en composante principale ou ACP, est une méthode de réduction du nombre de variables permettant la représentation géométrique des observations et des variables. Cette réduction n'est possible que si les variables initiales ne sont pas indépendantes et ont des coefficients de corrélation non nuls (**Bouroche et Saporta, 1980**).

L'analyse en composantes principales est effectuée sur un ensemble de variables physiographiques explicatives du comportement hydrologique d'un bassin. Les facteurs qui sont les plus susceptibles d'influencer les débits d'étiage sont la grandeur de la superficie de drainage, le relief du bassin, le climat et l'utilisation du sol. Selon (**Tessier 1983 et Boucher et al. 1986**) La méthode a été appliquée à 11 individus (station) et 6 variables (variables physiographiques) qui sont :

- La superficie (S) en (km²).
- La classification hydrogéologique CHG
- L'indice de pente globale :se calcul d'après la formule suivante :

$$I_g = \frac{D}{L}$$

Où :

I_g : indice de pente globale (m/km)

D : dénivelée (m).

L : longueur du rectangle équivalent telle que définit par M. Roche (km).

- La densité de drainage est définie par :

$$Dd = \Sigma L / A$$

Où :

Dd : densité de drainage en km/km²

L : longueur cumulée de tous les thalwegs du bassin en km.

A : aire du bassin en km².

- Le Coefficient d'écoulement est définie par :

$$C_e = E / P$$

Avec :

C_e : coefficient d'écoulement (%)

E : lame d'eau écoulée (mm)

P : Lame d'eau annuelle moyenne précipitée (mm).

- Erosion spécifique :se calcul d'après la formule suivante :

$$E_s = A_s/S$$

Où :

E_s : érosion spécifique (T. km².an-1)

A_s : apport solide annuel (T)

S : superficie (km²)

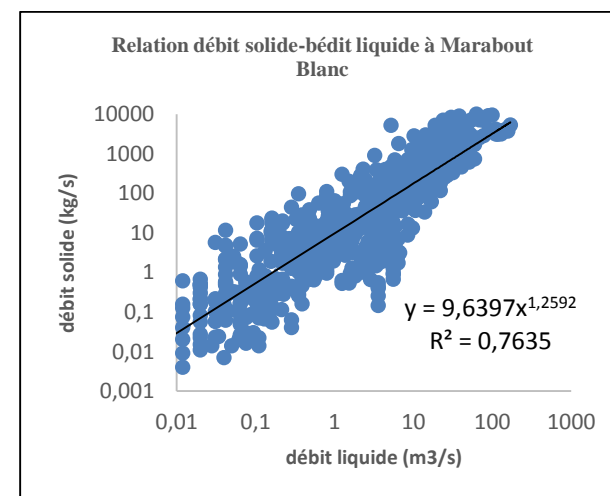
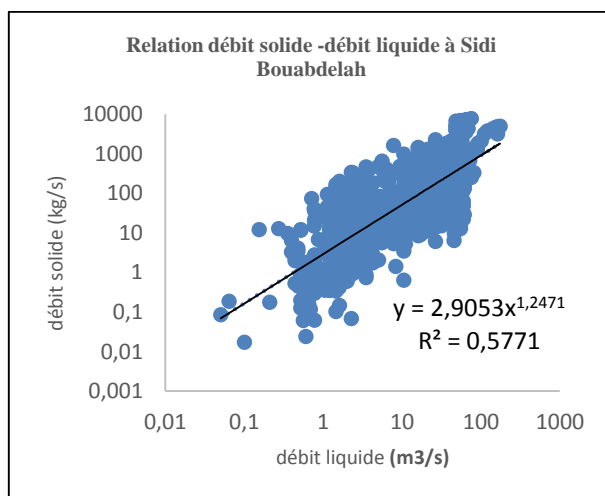
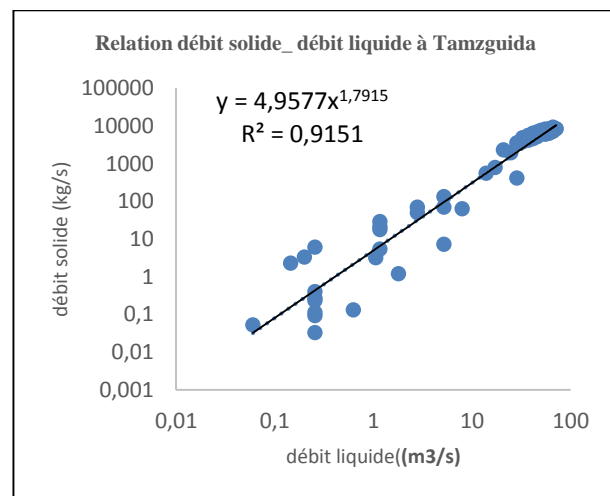
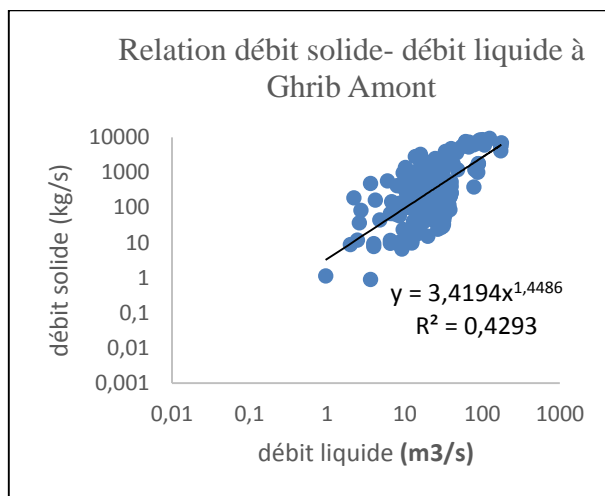
Résultats et Discussions

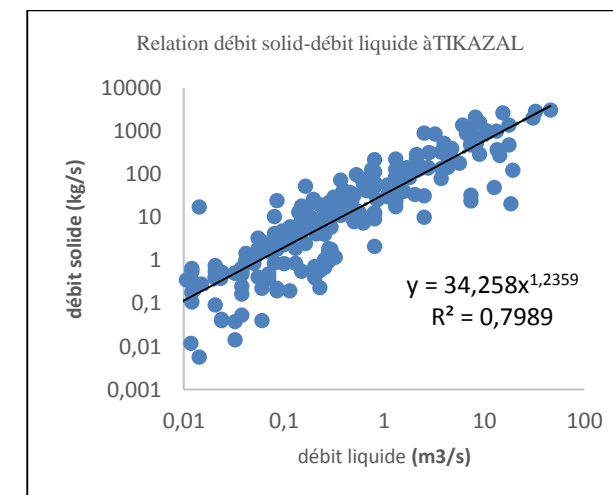
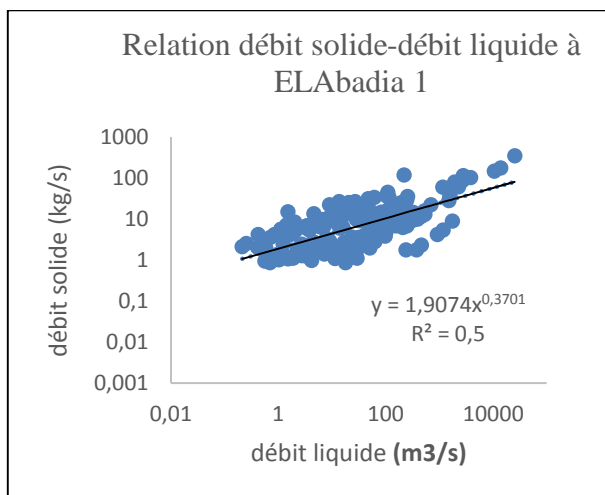
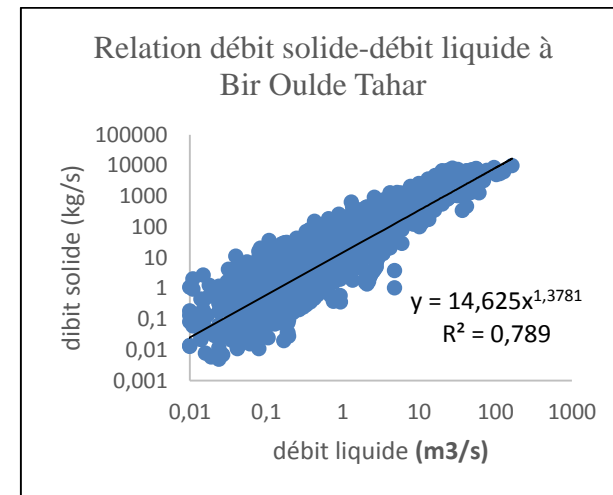
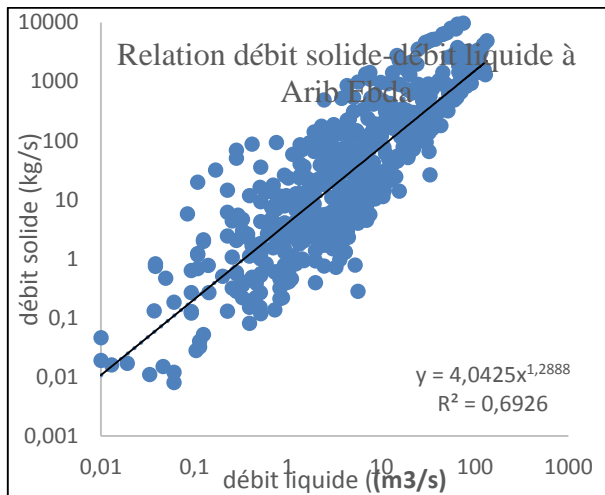
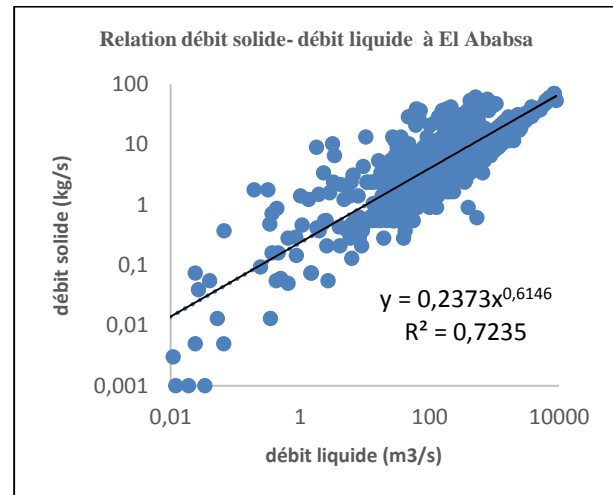
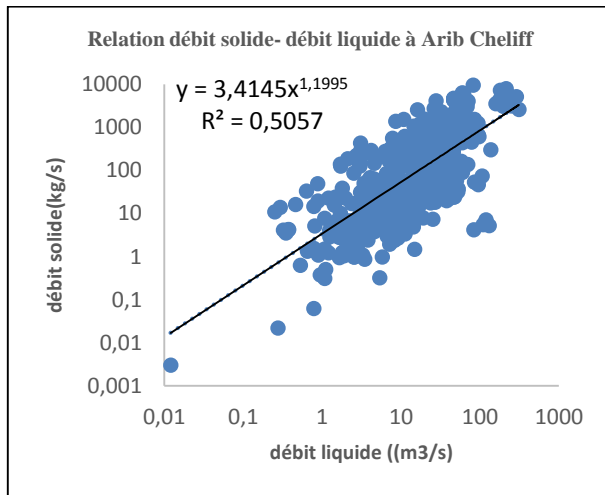
IV.1. Établissement de régression entre débit liquide et débit solide

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 m^3/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.

IV.1.1. Échelle annuelle





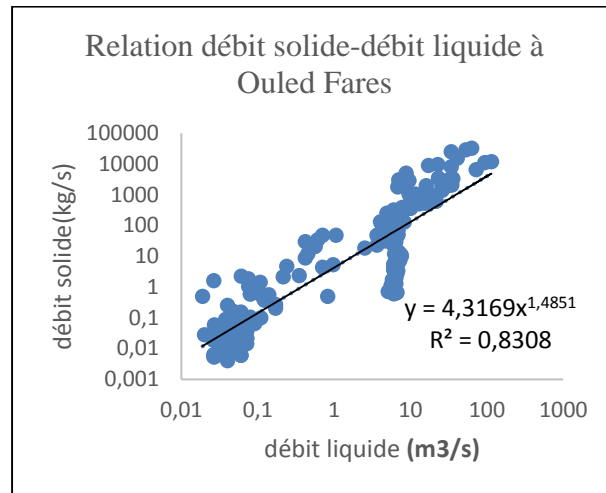


Figure IV.20. Relations débits solides en fonction des débits liquides à l'échelle annuelle aux différentes stations étudiées

Du tableau n°10 on constate une très grande dispersion. L'écoulement à trouve le débit enregistre peut générer un débit solide correspondant

Pour les 11 stations le modèle puissance est dominant 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 $Q_s = aQ_l^b$ (tableau n°11) 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. On 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 enregistré pour la majorité des stations dépasse 50%.

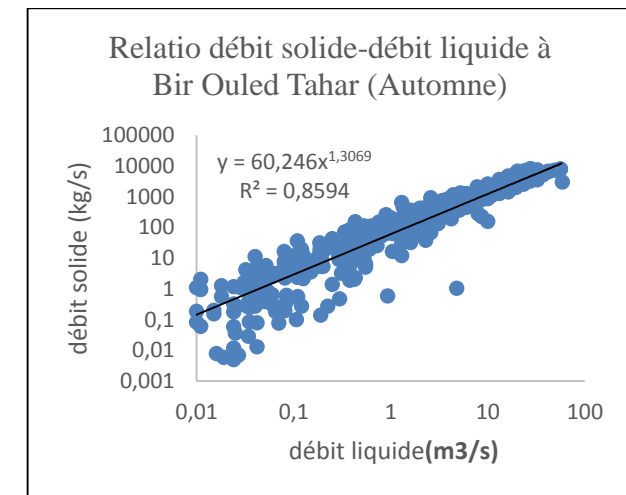
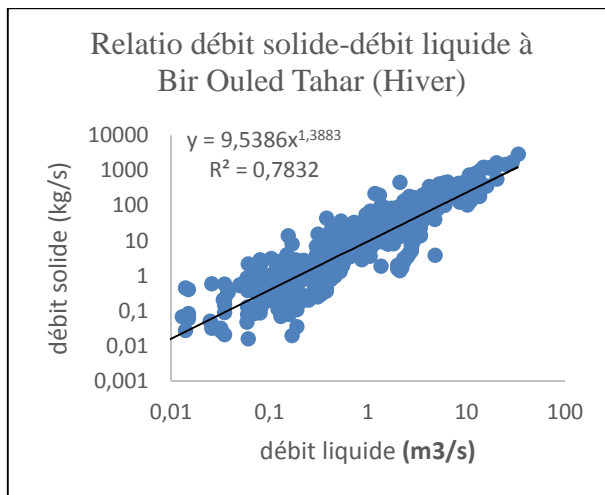
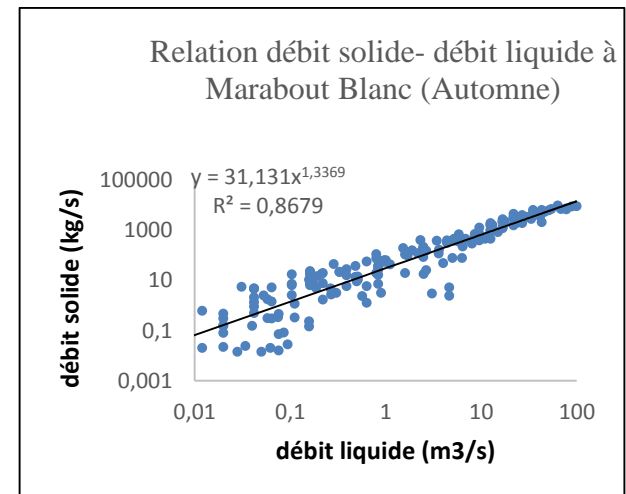
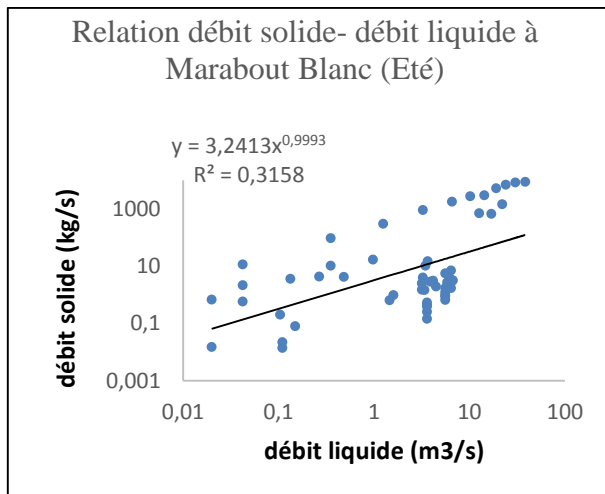
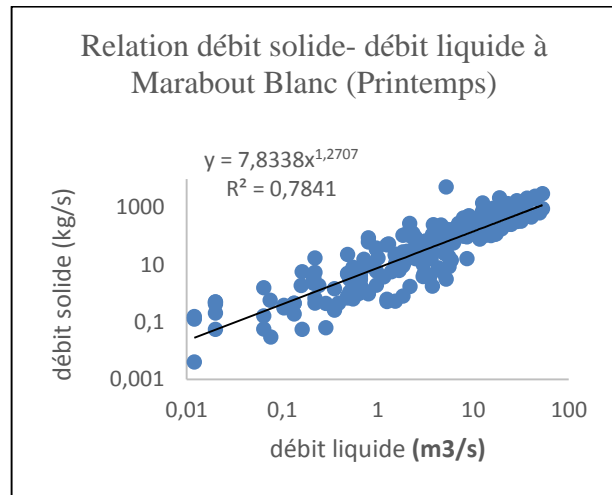
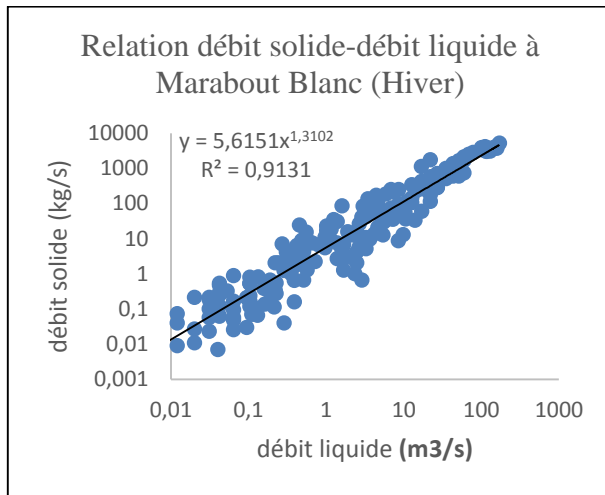
Tableau 10 : Paramètre de la relation débit solide – débit liquide

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 saisonnière

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°21, représente les relations entre le débit solide et débit liquide pour les stations hydrométriques (Marabout Blanc et Bir Ouled Tahar).



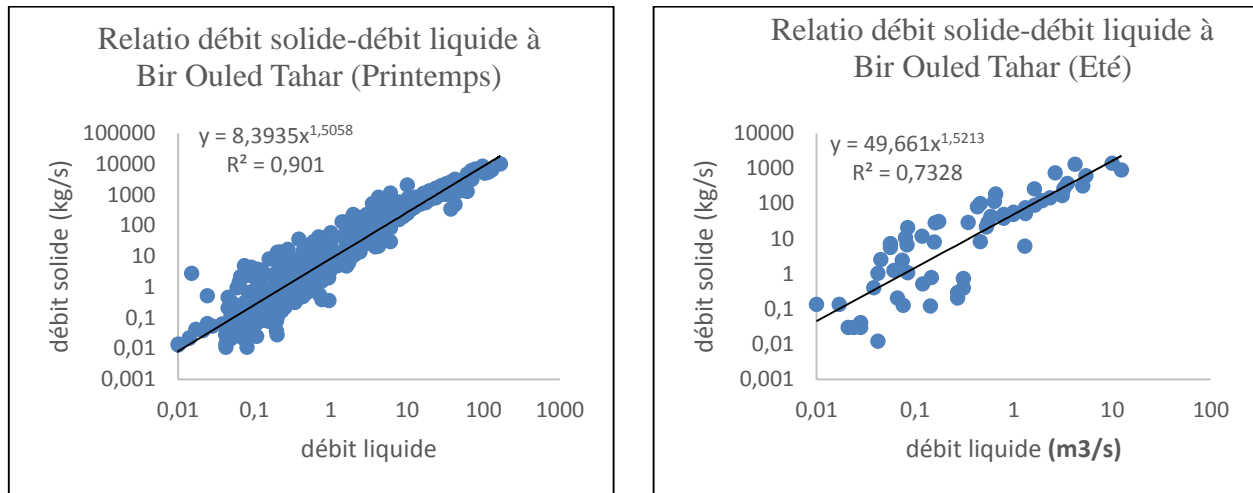


Figure. 21 : Relations débits solides en fonction des débits liquides à l'échelle saisonnière pour les stations Marabout Blanc et Bir Ouled Tahar.

Les résultats (figure 21) 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 débit 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 représentée dans le tableau n°11

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 présentent 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 écoulements abondants. Et les pluies du printemps surviennent 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 présentent des valeurs augmentées 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 des sommes inscrites $b=1.5$ 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.

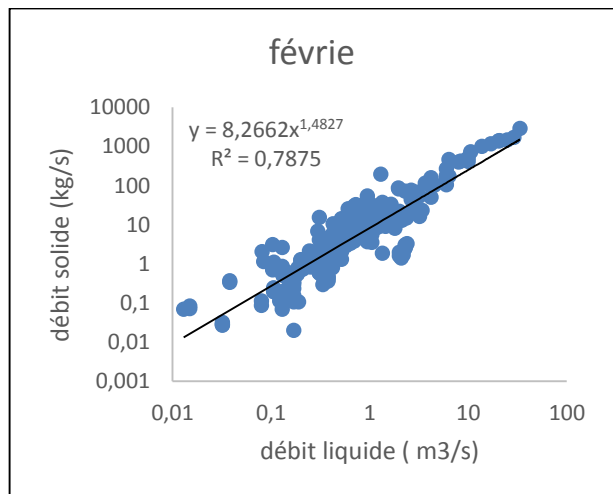
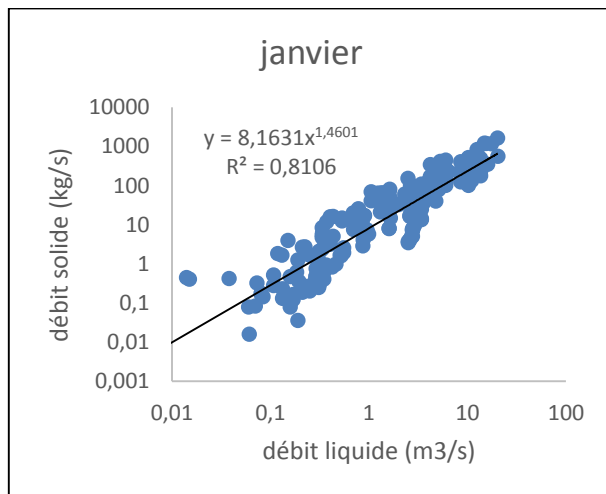
Tableau IV.11 : paramètre des modèles saisonniers.

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 (figures IV.21).



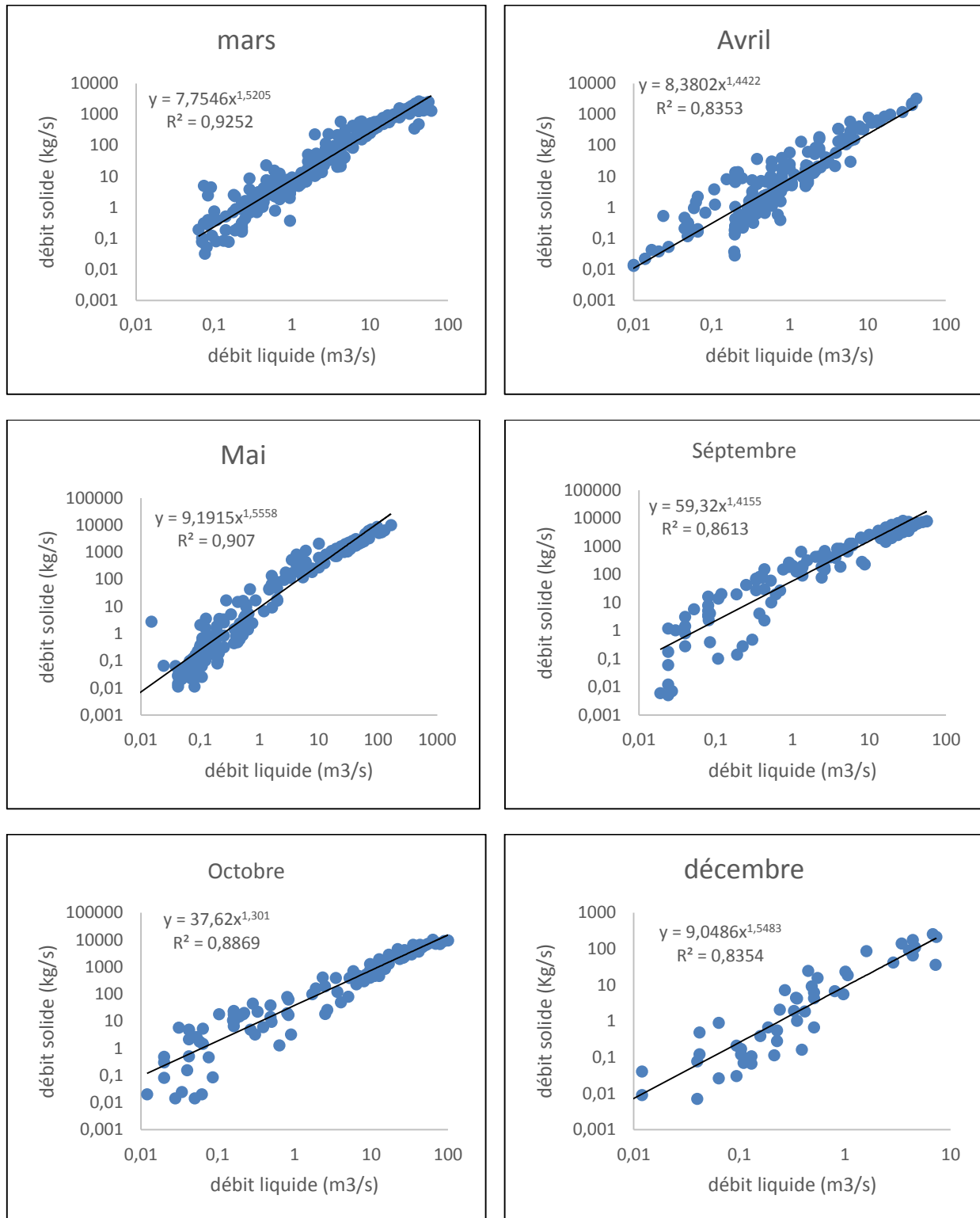


Figure IV.22 : Modèles mensuelles entre les débits solides et les débits liquides

De l'analyse de figure n°22 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** asses importante qui sont supérieure à 1 pour la majorité des mois étudiés, cela dénote que le l'écoulements est intense pour tous les déférents mois des stations étudiés.

Les valeurs de coefficient de corrélation enregistrent pour les mois (janvier, février, mars, Avril, septembre, octobre, décembre, mai) s'explique 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 $Q_s = C.Q_l$. on confirme la relation établie par **Heusch** $Q_s = aQ_l^b$

IV.2. Analyses-en composent principale

Nous avons soumis tous les paramètres physiques calculés pour les différentes stations à une analyse en composantes principales,

Pour des résultats fiables assurés par l'ACP on a éliminés les stations qui se trouve sur le cours d'eau principal (11407,11514, 11702, 11801, 12001) car leurs valeurs sont influencées. On prend seulement les stations des effluents (11905, 11601, 12201, 12004, 11501, 11715) .

Tableau IV.12 : valeurs des paramètres utilisées pour l'application de l'ACP

stat	Nom –stat	X(m)	Y(m)	S (km ²)	Es t.km ⁻² .an ⁻¹	Ig (m/km)	Dd Km.km ⁻²	Ce %	CHG
011501	Tamzguida	49700	323899	157	2356.55	15,01	0,52	12,4	1
011601	Marabout Blanc	460750	215600	500	918.015	19,41	0,59	14,8	5
011715	El ababsa	443950	318050	102	5278	23,87	0,48	13,9	5
011801	Aribe abda	439600	335600	270	3785.04	23,73	0,69	45,5	1
011905	Bir oulde tahar	43100	313250	435	1864.40	21,38	0,84	8,3	5
012004	Tikzal	414380	321699	130	382.71	15,75	0,4	4	5
012201	Oulde farase	368100	326650	262	4593.16	11,31	0,81	4,2	5

S : superficie km²

Es : érosion spécifique (t.km⁻².an⁻¹).

Ig : indice de pente globale (m/km).

Dd : densité de drainage (km.km⁻²).

Ce : coefficient d'écoulement (%).

Des valeurs maximales de densité de drainage **Dd** pour les stations 11905 (Bir Oued Taher) et 12201 (Ouled Fares) et l'ordre de 0.51 pour le reste des bassins étudiés. L'érosion spécifique est plus importante dans les sous bassin ayant des superficies réduites, alors qu'elle est moins importante pour les bassins ayant une superficie plus large. En effet, un bassin qui a un indice de pente faible et formé de matériaux très perméables et avec une couverture végétale continue aura en générale une densité de drainage faible assurant une meilleure infiltration des eaux superficielles et donc moins de plan d'eau soumis à l'évaporation (le cas de station 11514), la pente favorise bien l'écoulement superficiel, ce qui ne donne pas le temps nécessaire à l'eau pour s'infiltrer.

IV.2.1. Résultats de l'ACP

Tableau IV.13 : statistique descriptive

Variable	Observations	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
Es	7	382,710	5278,000	2739,697	1860,013
Ig	7	11,310	23,870	18,637	4,772
Dd	7	0,400	0,840	0,619	0,167
Ce	7	4,000	45,500	14,729	14,261
CHG	7	1,000	5,000	3,857	1,952
S	7	102,000	500,000	265,143	153,089

- Le tableau (IV.13) montre que les valeurs des paramètres sont variées de même tendance
- Les valeurs de la moyenne sont supérieures à celles de l'écart type

L'écart type permet de mesurer la dispersion des valeurs autour de la moyenne. Dans notre cas les valeurs de l'écart type sont inférieures à celles de la moyenne, ce qui montre que les valeurs des variables sont moins dispersées.

IV.2.2. Matrice de corrélation

La matrice de corrélation de Pearson a été utilisée pour trouver des relations entre deux ou plusieurs éléments. L'analyse de la matrice de corrélation permet de retenir les éléments corrélés deux à deux avec un coefficient de corrélation(r) significatif.

Tableau IV.14 : matrice de corrélation

Variabes	Es	Ig	Dd	Ce	CHG	S
Es	1	0,177	0,262	0,265	-0,122	-0,370
Ig	0,177	1	-0,040	0,616	-0,105	0,142
Dd	0,262	-0,040	1	0,101	0,055	0,607
Ce	0,265	0,616	0,101	1	-0,681	0,072
CHG	-0,122	-0,105	0,055	-0,681	1	0,230
S	-0,370	0,142	0,607	0,072	0,230	1

D'après l'analyse de la matrice de corrélation, on remarque qu'il y'a une corrélation moyenne entre l'érosion spécifique **Es** et la densité de drainage **Dd**, le coefficient d'écoulement **Ce** et l'indice de pente global **Ig**, respectivement 0.262, 0.265, 0.25

La matrice montre l'existence d'une bonne corrélation entre **Ce** et **Ig**($R=0.616$), entre **S** et **Dd**($R=0.607$).

D'après le tableau (IV.14) le coefficient d'écoulement est inversement corrélé avec le couvert hydrogéologique, il est diminué avec l'augmentation de la perméabilité du sol (infiltration).

L'augmentation de la pente moyenne est associée à la diminution de l'érosion spécifique, cela est dû à la nature du relief des formations lithologiques productrices des sédiments. Les schistes avec calcaire, formation très érodable, a un pendage de 5 à 20°. D'après les travaux de (Roose et al, 1993), non seulement le ruissellement, mais aussi l'érosion, ne croissent pas systématiquement avec la pente sur le vertisol et sur les marnes. L'accroissement de la densité de drainage est accompagné par l'érosion spécifique.

IV.2.3. Résultats après rotation varimax

Les résultats des corrélations et des contributions des variables et le pourcentage cumulé de la variance selon les deux axes retenus après la réalisation de la rotation Varimax sont récapitulés dans les tableaux (IV.15 et IV.16)

Le premier axe **D1** représente 34.804% de la variance de l'ensemble de données, qu'il s'associe » aux **Dd**, **Ce**.

L'axe **D2** exprime 62.818% (**Tableau IV.15**) de la variance de l'ensemble de données, il s'oppose à **Dd** et **S**.

Tableau IV.15: Pourcentage de la variance après rotation Varimax

	D1	D2	F3	F4	F5	F6
Variabilité (%)	34,804	28,014	18,794	14,839	2,182	1,367
% cumulé	34,804	62,818	81,611	96,450	98,633	100,000

Tableau IV.16 : Contribution des variables (%) après rotation Varimax

	D1	D2
Es	0,466	-0,154
Ig	0,672	0,168
Dd	0,130	0,812
Ce	0,947	0,078
CHG	-0,708	0,277
S	-0,059	0,942

D'après le tableau n°16, l'axe **D1** est formé par **ES, Ig, Ce** et **S**, alors que l'axe **D2** formé par **Dd** et **S**

L'étude du cercle de corrélation permet de ressortir les variables corrélées entre elles et par conséquent les dissemblances et les ressemblances entre ces derniers.

Le cercle **D1, D2** (62.82 %de l'inertie cumulée) : L'axe **D1** est déterminé par **Es, Ce, Ig**. L'axe **D2** est déterminé par **Dd** et **S**.

La figure (IV.23) montre que dans le plan principal formé de l'axe 1 et l'axe 2, les éléments **Ig, Es,Ce** sont bien corrélés entre eux et donc bien représentés sur la cercle par contre **CHG** est présenté dans la coté négative. Ils forment un grand groupe avec une certaine affinité entre **Ig, Ce, Es** qui ont une tendance à former un intragroupe. Un autre groupe formé par **Dd** et **S** ou sont bien corrélés entre eux.

Le plan **D1-D2** met en évidence deux groupes : premier groupe est représenté par les stations Bir Ouled Tahar (11905), Marabout Blanc (11601), Ouled Fares (12201) et par les paramètres des **CHG, S, Dd**. Ces stations sont influencées par les paramètres mentionnés précédemment.

Le second groupe est constitué par la station Arib Ebda (011801) et les paramètres **Ig, Ce, Es**.

Les stations 12004(Tikzel) ,011501(Tamzguida) ,011715(El Ababssa) se détachent des autres groupes. Ce qui montre peut-être qu'il y'a d'autres paramètre qui forment un groupe avec ces stations.

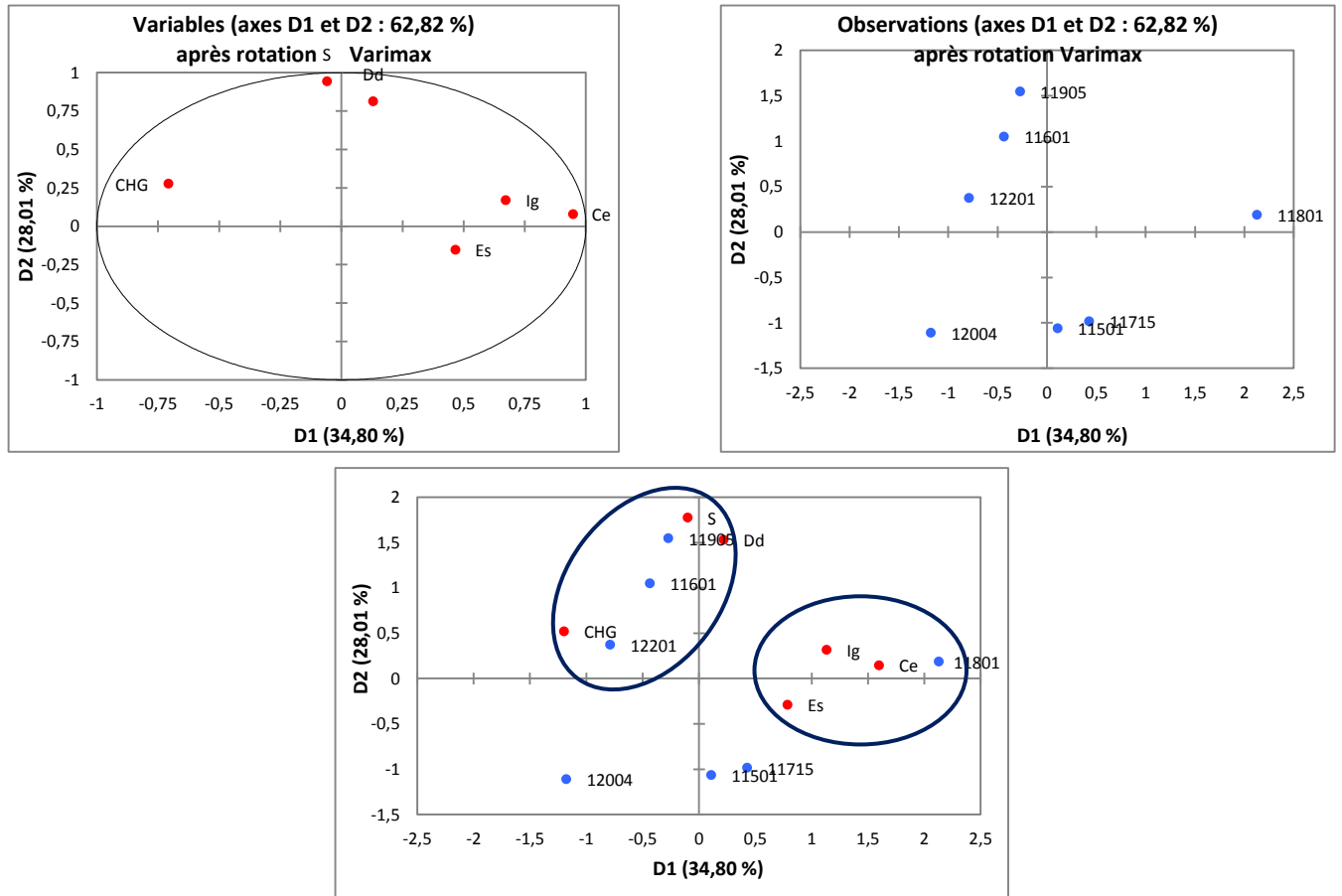


Figure IV.23 : Résultats de l'ACP après rotation Varimax

Le modèle est établi au terme de la régression multiple sous la forme suivante :

$$Es = 145,183 + 8556,470 * Dd - 10,176 * S$$

Le modèle ressorti de la régression pas à pas est un modèle multiplicatif, composé de la densité de drainage, la superficie comme variables indépendante et de l'érosion spécifique comme variable dépendante.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Ce travail de recherche se voulait comme outil de base pour une approche quantitative du transport solide en suspension dont l'intérêt est de consulter une base de données fiable susceptible de servir à l'étude pour la protection des barrages qui seront réalisées au futur dans la zone d'étude contre le phénomène d'envasement.

L'objectif principal de l'étude étant la compréhension du phénomène de l'estimation du transport solide en suspension, le travail est basé sur les données observés durant une période allant de 1989 à 2003 il a été conduit sur le bassin versant du haut Chélif.

Sur la base des mesures continues de la charge en suspension réalisées dans les différents stations hydrométriques : Amont Ghrib01407 (1989/1994), Tamzguida 011501(1990/91), Sidi Bouabdalah 011514 (1990/989),Marabout Blanc 011601 (1990/99), Arib Chélif 011702(1990/97), Elababssa 011715(1990/97),Oued Ebda 011801 (1990/95), Bir Oueld Tahar 011905(1990/99), Elabadia 012001(1990/94),Tikzel 012004(1989/02), Ouled Fares 012201(1989/03)du haut Chélif, nous avons calculé les différentes valeurs des paramètres de l'écoulement liquide et du transport solide.

Il ressort de ces estimations que l'action érosive est différente d'un bassin à l'autre, en effet l'érosion spécifique varie entre 81,31 t/km²/an pour Sidi Bou Abdalah(011514) et 5278 t/km²/an pour Elababssa(11715),bien que la taille des bassins semble influencer ces valeurs, le sous bassin présentés par les stations d'Elababssa et Alabadia sont relativement les plus touchés par ce phénomène, alors qu'il n'est pas les plus grand.

Dans le cas du bassin du haut Chélif, 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.

En deuxième position, on trouve le printemps pour la station de Bir Oueld Tahar et l'hiver pour la station e Tikzel et l'été pour Sidi Bouabdalah.

Conclusion Générale

Modélisation

L'aboutissement logique d'une analyse de données est la modélisation. Pour ce faire, nous avons orienté notre cette partie en fonction de la disponibilité des données de débits et de mesures de concentrations des matières en suspension.

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 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.

Ce travail constitue une première contribution dans l'analyse des phénomènes hydrologiques, du transport solide et de la modélisation du bassin versant du haut Chéiff I. Il apporte beaucoup d'éléments de base à une recherche de modèles hydrologiques, régissant l'écoulement superficiel et le transport solide en suspension dans ce bassin. L'utilisation de quelques méthodes d'analyse et de modélisation (Ajustements statistique, ACP), ont permis d'une part, de quantifier les paramètres de l'écoulement et de mettre en évidence l'interpellation entre eux et d'autre part de mieux comprendre le fonctionnement de nos sous bassins.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- ABH Chélif.Zahrez. (2009)** -Rapport de synthèse du PDARE de la région Chélif- Zehrez. Agence de bassin hydrographique de Chélif.pp13-25.
- Aberkane, C., Ben Zahra, R.,2017** : Evaluation des ressources en eau et en sol du bassin versant haut Cheliff.Mémoire fine d'étude. Université Djilali Bounaama.p30.
- Ammari, A., 2012.** Etude des processus des transports et solide et leur impact sur l'alluvionnement des barrages, mémoire de magister en hydraulique, université hadj lakhdar Batna.
- ANRH. 2016** : Agence National des Ressources Hydriques. Donnée climatique (2005 à 2015) station de barrage Harraza
- Benaicha, A., (2010 -2011).** Mémoire de magister en hydraulique, étude des processus des transports solides et leur impact sur l'alluvionnement des barrages.
- Benkaci, S., Dehbia, A., Oumellal, A., Remini, B.,20018** : Modélisation de l'érosion du bassin haut et moyen cheliff par l'application model builder sur ArcGis.Journal of matrials and Engineering Structures 5 (2018) 81-93.
- Benkhadra, H., 1997** : Battance, ruissellement et érosion diffuse sur les sols limoneux cultivés- Déterminisme et transfert d'échelle de la parcelle au petit bassin versant. Thèse de Doctorat de l'université d'Orléans (France).
- Benkhaled, A., et Rimini, B., 2003.** Analyse de la relation de Puissance : débit solide – débit liquide à l'échelle du bassin versant de l'oued Wahrân (Algérie). Rev. Sci. Eau 16/3(2003) 333-356.
- Benkhaled. AEK et al, 2003.**Analyse de la relation de puissance : débit solide-débit liquide à l'échelle du bassin versant de l'Oued Wahrane (Algérie).
- Bouanani.A.,2004.** Hydrologie, transport solide et modélisation. Etude de quelque sous bassin de la Tafna (NW-Algérie). Thèse doctorat d'état. Université de Tlemcen.
- Bouguerra. S., 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 Aboubeker Belkaid Tlemcen, P. 13-29- 76-77-78-81.
- Boulaine.J., 1957.**Étude des sols des plaines du Chélif. Thèse d'état de l'université d'Alger .582p
- Boulvain, F., 2004.** Une introduction aux processus sédimentaires. Cours on line Université de Liège. 63 p.

Bouroche, J.M., et Saporta G., 1980. L'analyse des données. 4ième Ed. collect. Que Sais-je ? Presse Universitaire de France.

Brahimi, M.,2016 : Influence de l'urbanisme sur la dynamique de la ressource en sol dans les plaines de Chélif. P 15.

Campbel, F.B., et Bauder, H., 1940. A rating-curve methode for determining silt-discharge of stream, EOS Trans. Am. Geophys. Union, 21, 603-607.

Cheggour, A., 2008. Mesures de l'érosion hydrique à différentes échelles spatiales dans un bassin versant montagneux semi-aride et spatialisation par des S.I.G. : Application au bassin versant de la Rhéraya, Haut Atlas, Maroc. Thèse de Doctorat, Université Cadi Ayyad. MARRAKECH.

Chibbani, R., Belaidi, S., 1997. Étude de la dynamique du ravinement sur deux couples de ravines expérimentales près de Tlemcen. *Bull Réseau Erosion* 1997 ; 17 : pp 152-60.

Chibbani, R., Djilli, K., Roose ,E., 1999. Étude à différentes échelles des risques d'érosion dans le bassin versant de l'Isser. *Bull. ORSTOM, Rés. Eros.*, 19, 85-95.

Couvert, B., Lefort, Ph, Peiry, J.L., Belleudy, Ph, 1994.La gestion des rivières-transport solide et atterrissements. Guide méthodologique, les études des Agences de l'Eau, n°65.

Crawford,C.G.,1991. Estimatin of suspended –sediment rating curves and mean suspendedsediment load, journal of hydrology, 129, 331-348.

D S A.2007. Direction des services agricoles d'Ain-Defla. (2007b). Statistiques agricoles de la Wilaya de Ain-Defla année 2007. Séries statistiques. P 28.

Demmak,A., (1982) : Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides en Algérie septentrionale, Thèse Doct. Ing, Paris, 323p.

Demmak.A., (1982). Contribution à l'étude de l'érosion et transports solides en Algérie Septentrionale, Thèse dz Docteur Ingénieur, Université Pierre et Marie-Curie, Paris, p19- 22.

Dinehart, R.,1992. Sediment data for streams near Mount St. Helens, water years 1984-1987.US Geol. Survey Open File Report 91-219, vol.3.

Dutil, 1984. Erosion en grand culture, revue technique des agriculteurs dynamiques. P169, France.

Essien, O. E. et Okon, E. G., (2011) : Rainfall characteristics, runoff rate and traffic flow on gully morphometric parameter growth and soil loss in sand-mined peri-urban, Uyo, Nigeria. *Journal of Geology and Mining Research* Vol. 3(7), pp. 180-187, July 2011.

Etchanchu, D., et Probst J.L., 1986. Érosion et transport de matières en suspension dans un bassin versant en région agricole. Méthode de mesure du ruissellement superficiel, de sa charge et des

deux composantes du transport solide dans un cours d'eau. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 302, série II, n° 17,1063 1067.

FAO, (1983). Garder la terre en vie : L'érosion des sols, ses causes et ses remèdes. Bulletin pédologique, vol. 50-62p.

Graf, W ; 2000. Hydraulique Fluviale. Presse Polytechnique Romande

Graf, W.H.,1971 : Hydraulics of Sediment Transport : McGraw Hill, New York.

Graf, W., Pazis, A., 1977. Les phénomènes de déposition et d'érosion dans un canal alluvionnaire. *Journal of hydraulic research*. Vol 15 N° 2.

Hadidi, A ,2008. Une nouvelle approche de la détermination de taux d'envasement des barrages, Mémoire de Magister en Hydraulique, Université Aboubeker Belkaid Tlemcen, P. 13-29.

Hattab.M.1998 : étude qualitative des eaux du haut Cheliff. Mémoire de fin d'étude promotion 1998.CU Khemis Miliana.

Heusch, B., (1970) : L'érosion du Préif occidental : une étude quantitative de l'érosion hydrique dans les collines marneuses du Préif occidental. *Annales de la Recherches Forestières du Maroc*, Tome 12, Rabat, p. 9-176.

Hjulstrom, F., 1935. Studies of the morphological activity of rivers as illustrated by the River Fyris : Upsala. Sweden, Geological Institute of Upsala Bulletin. vol. XXV.

Hufty. 2001. Introduction à la climatologie. Edition de Boek. 2001.P42-58.

Ikhlef.S.,2005 : étude de la pollution de la nappe alluviale du haut cheliff par les nitrates. Mémoire magister.

INA., 2008. Institut national agronomie.

Kane, b. et julien, P.Y., (2007) : Specific degradation of watersheds. *International Journal of Sediment Research*, Vol 22, N°2, 2007, pp. 114-119.

Kattan, Z.,Gac,J.Y.,and Probst,J.L.,1987.Suspended sediment load and mechanical erosion in the Senegal basin.*J.Hydrol.*92,59-76.

Laouina, A., 1998. L'érosion en milieu méditerranéen : une crise environnementale ? Mise au point sur l'érosion des sols à travers l'exemple des versants des collines et des montagnes du nord du Maroc. Actes du 2ème Cong. Géogr. Africains. Rabat- Agadir, pp. 191-219.

Meddi, M., khaldi, A. et meddi, H., (1998) : Contribution à l'étude du transport solide en Algérie du Nord. Pub. AHS Pub. No 249. Pp 393 - 398.

Meyer, L. D., 1965. Mathematical relationships governing soil erosion by water. Journal of soil and water conservation 20 : 149-50.

Mohammadi, I. Mayou, O., 2015. Evolution du transport solide et la qualité des eaux cas de bassin versant de l'oued Harraza dans willaya Ain Defla. Mémoire de fin d'étude (2014-2015). Université de Khemis Milana.

Mokhtari el Hadj., 2009. Contribution à l'étude du transport solide en suspension bassin del'oued Cheliff-Ghrib. Thèse de magister université Badji Mokhtar –Annaba, 2008/2009.

Monnier, G., Boiffine., 1960 : Effect of the agricultural use of soils on water erosion : The case of cropping systems in Western Europe. In : soil erosion in the European Community (G Chisci. RPC MORGAN.Eds) Balkema Ltd. Rotterdam. (DK). P210.

Mostephaoui T., Merdas S., Sakaa B., Hanafi M. T. et Benazzouz M.T., (2013) Cartographie des risques d'érosion hydrique par application de l'équation universelle de pertes en sol à l'aide d'un système d'information géographique dans le bassin versant d'El Hamel (Boussaada) Algérie. Journal Algérien des Régions Arides. N° Spécial 201. Pp 131-146

Mussy, A., 2002. Cours d'hydrologie générale. EPF Lausanne.

Nefidsa, K., (2012) : « Evolution géochimique des eaux souterraines et leurs impacts sur la qualité des sols irrigués de la plaine du Haut Chélif ». Université Hassiba Ben Bouali- Chlef. Mémoire de Magister. Faculté des Sciences. 103p.

ONID-2012 : Office national de l'Irrigation et du drainage. (2003.) Carte d'occupation des sols du Périmètre du Haut-Cheliff.

OPIC.2003 : étude du projet d'aménagement du périmètre du Cheliff et handasah. Juin.

Poessen, J., 1984. Surface sealing as influenced by slope angle and position of simulated stones in the top layer of loose sediments. Earth surf. Processes.

RAB/80/011/PNUD.

Ramper, 1987. Sédimentation et barrage : Erosion et transport : les dépôts dans les barrages, CEMAGREF Groupement d'Antony. Division de Mécanique des sols et génie.

Remy, C., Le bisonnais, Y., 1998. Comparaison des phénomènes d'érosion entre le nord et le sud de l'Europe : ampleur des problèmes et nature des mécanismes. Bulletin réseau érosion 18, 15-32.

Ray, H., H. et Yusuf, M. B., (2011) : The Incidence of Soil Erosion in Zing Local Government Area of Taraba State, Nigeria. Ethiopian Journal of Environmental Studies and Management Vol. 4 No.2. 2011.

Remini, B., 1997. Envasement des retenues de barrages : mécanisme et moyens de lutte par la technique du soutirage. Th. Doct. Etat, Ecole Nationale polytechnique d'Alge, 342p.

Remini, W., Remini, B., 2003 : La sédimentation dans les barrages de l'Afrique de nord. Larhyss journal ISSN1112-3680, n°02, juin 2003, pp45-54.

Roose.E., (1980) - Erosion et ruissellement en Afrique de l'ouest, vingt années de mesures en petites parcelles expérimentales. Travaux et doc. De l'ORSTOM n° 78.

Rosse, E., (1977). Erosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest, Travaux et documentation de L'OSTORM78, p 108.

Sahraoui.N.,2014 : « ÉTUDE de la cohérence entre la vulnérabilité a la pollution et la qualité des eaux souterraines : Plaine de Khemis-Miliana ». Mémoire de Master. Université Djilali Bounâama. Faculté des sciences de la nature de la vie et des sciences de la terre.Pp.14-94.

Sogreah, (1984). Erosion et transport solide au Maghreb. Analyse bibliographique. Rap. Proj. 76-77-78-81.

Teberbi, B., Bensmaili, H.,2016 : Analyse da relation puissance débit solide-débit liquide à l'échelle du bassin versant haut Cheliff. Mémoire fine d'étude (20016-2017). Université Djilali Bounaama.p 21.

Terfous, A., Megnounif, A., Bouanani A., 2001. Étude du transport solide en suspension dans L'Oued Mouilah (Nord-Ouest Algérien). Rev. Sci. Eau, 14, 175-185.

Tixeront.J. (1960) : le début solids des cours d'eaus d'Algérie et de Tunisie, secrétariat Agricole Etude hydrologiques série II. Tunis. In : IAHS Publ., 53 : pp 26-42.

Touaibia.B., Aidaoui. A., Gomer.D. et Achite.M. (2001) : Quantification et Variabilité temporelles de l'écoulement solide en zone semi-aride, de l'Algérie du Nord, Hydrological Sciences Journal, 46 :1, 41-53, DOI : 10.1080/02626660109492799

Touaibia., B,2000. Erosion –transport solide-ensablement des barrages. Cas du bassin versant de l'oued mina, thèse de doctorat, Ina. Algérie.

Touhari.f., (2015) : « Etude de la Qualité des Eaux de la vallée du Haut Cheliff ». Thèse de Doctorat Es-Science. Ecole nationale Supérieure Hydraulique. 204p.

Walling, D.E., Webb, W., 1981.The reliability of suspended sediment load data érosion and sediment transport measurement, Proceedings of the Florence (Symposium, june 1981) IAHS Publ. No. 133.

Wischmeier, W.H., Smith, D.D., 1978. Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning .US Department of Agriculture. Handbook N° 24, pp219-231.

Wischmeier, W.H., (1960) : Erosion rates and contributing factors in semi-arid regions. International seminar on water and soil utilisation, Brookings, South Dakota, July 18 - August 10, 1968.

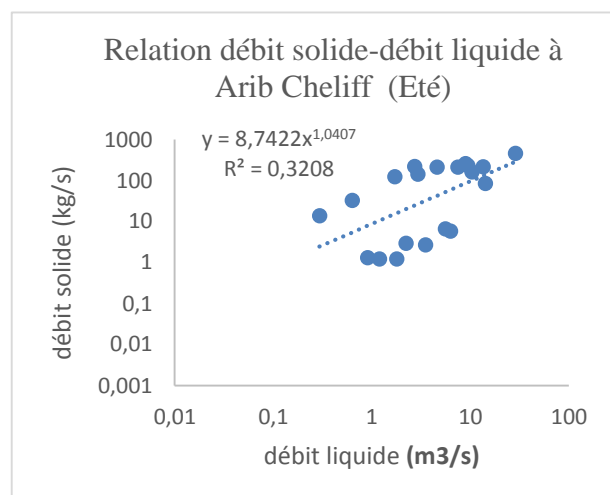
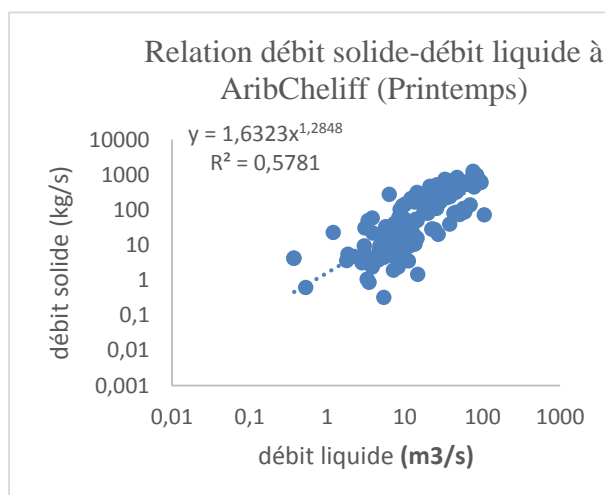
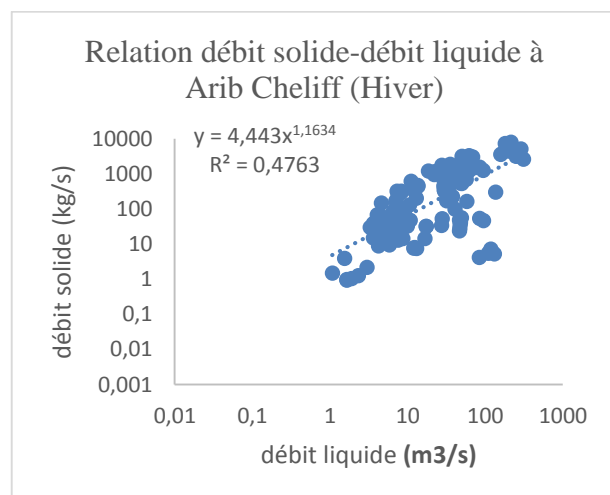
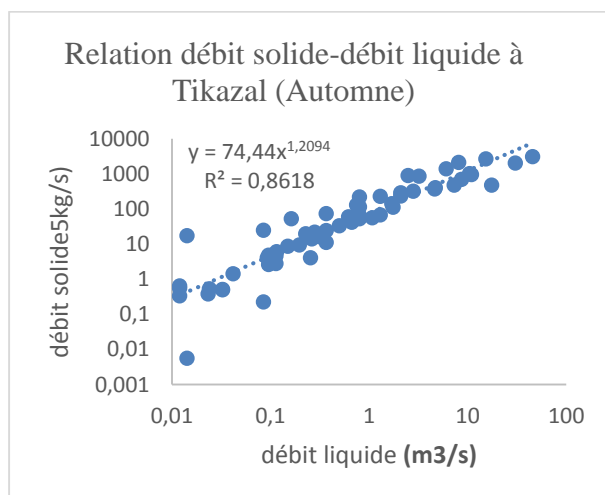
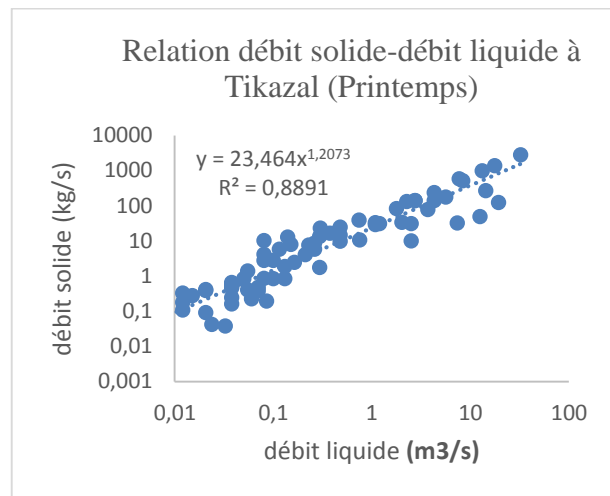
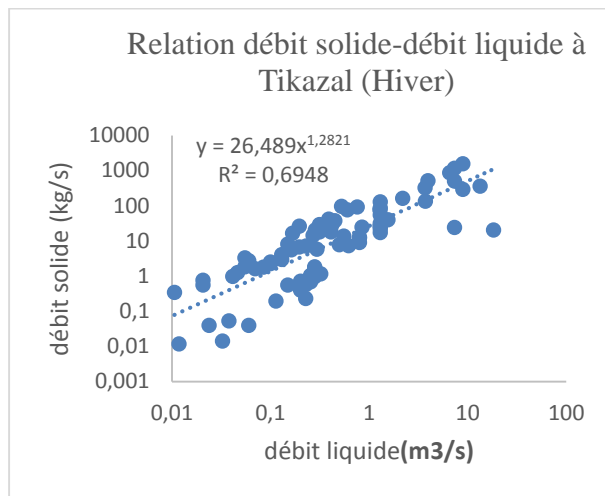
Wood, P.A., 1977. Controls of variation in suspended sediment concentration in river Rother, West Sussex, England. Sedimentology 24 : 437-445.

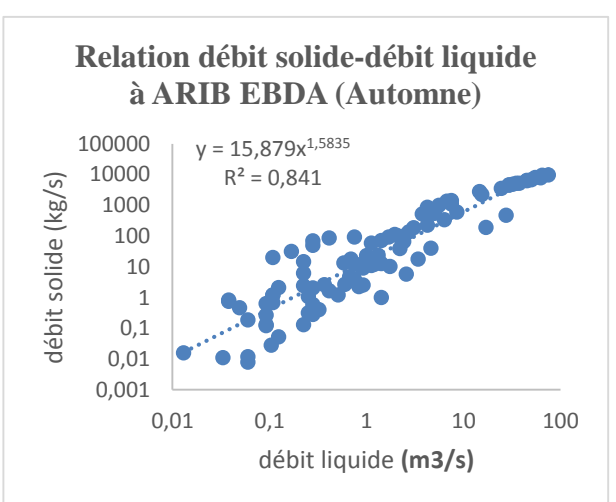
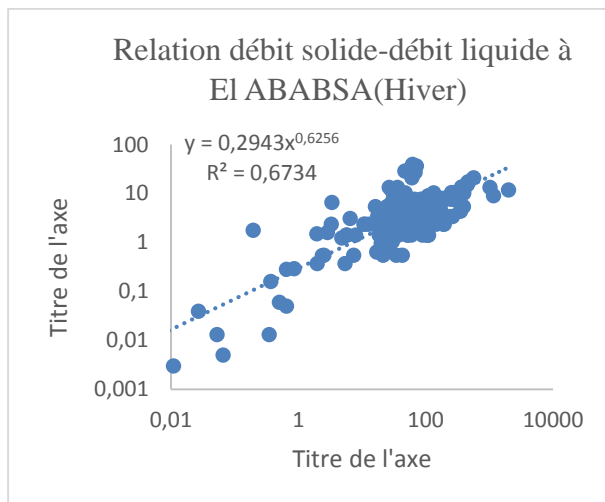
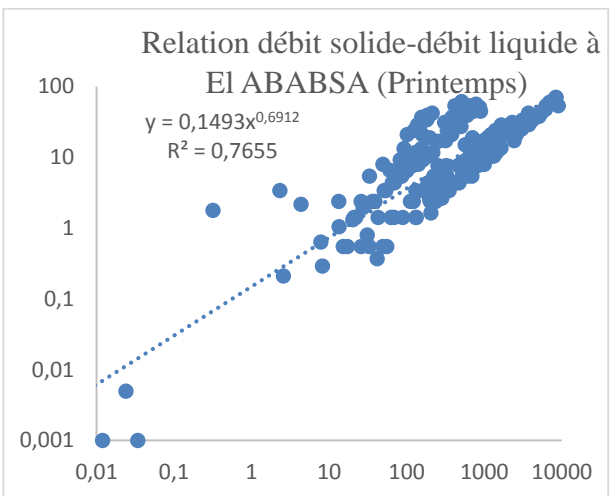
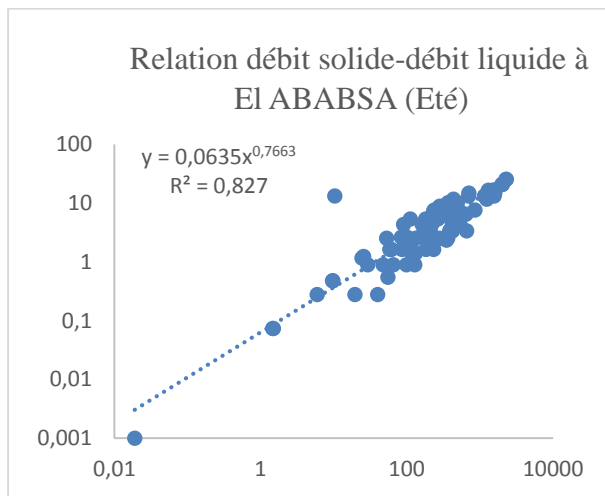
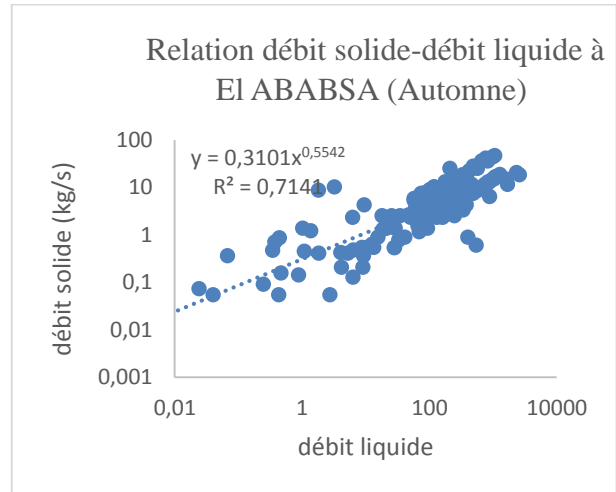
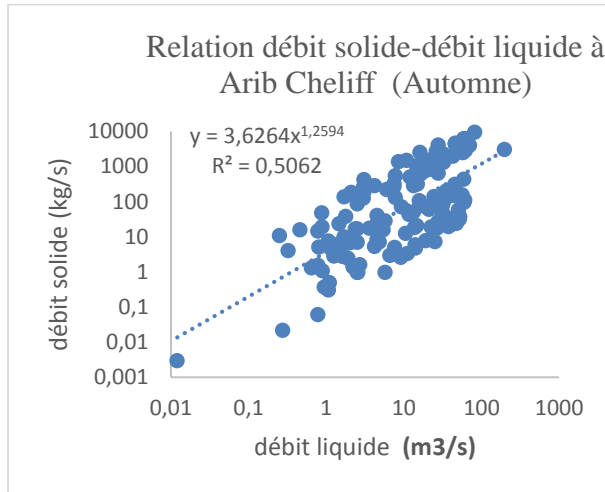
Zekai, S. (2014) : Sediment yield estimation formulations for arid regions. Arab J Geosci (2014) 7 :1627–1636.

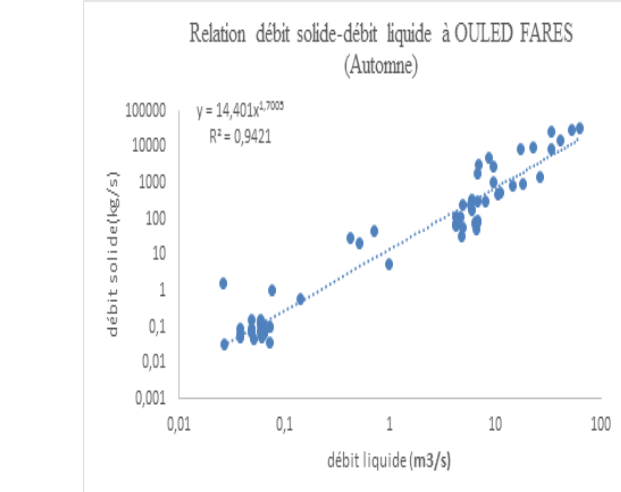
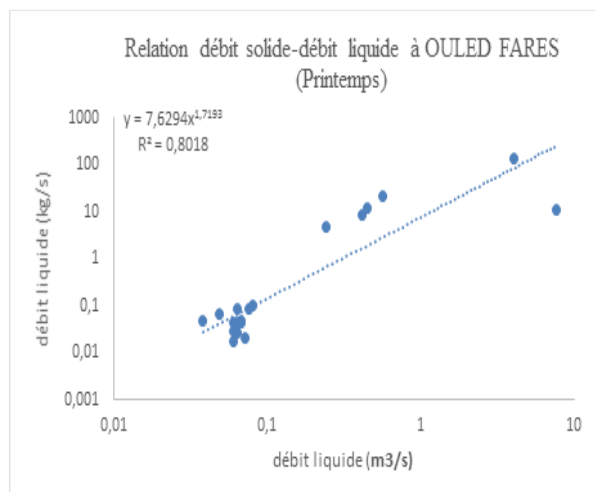
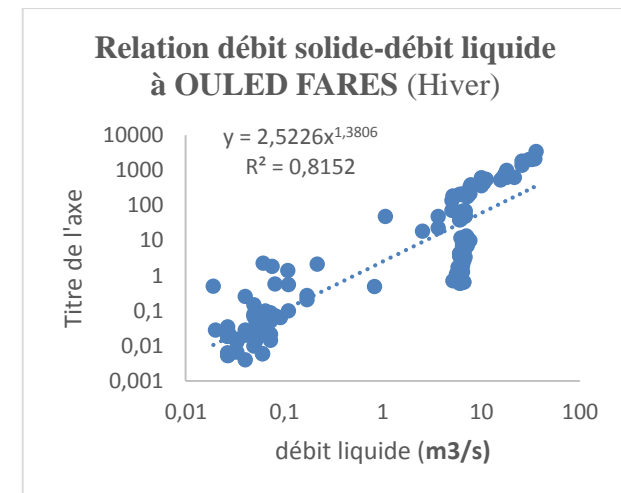
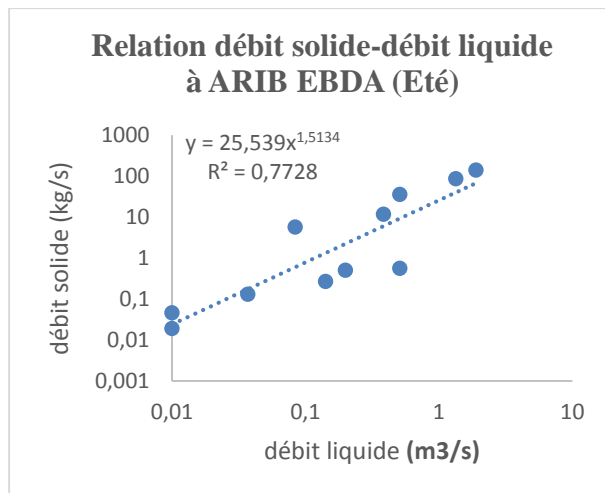
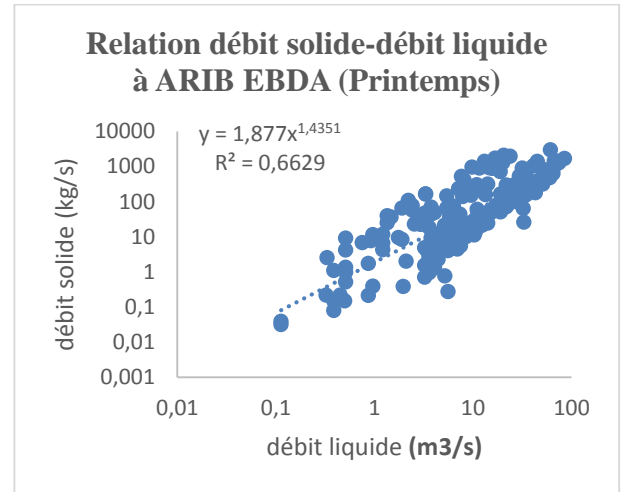
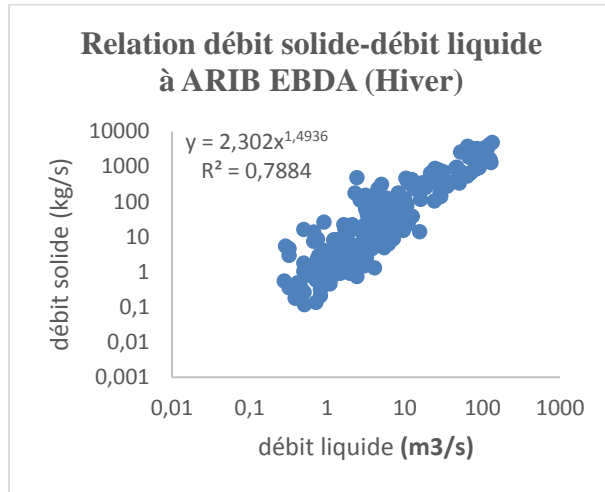
Zhang, J.C. et SHI Z.-G (2004) : Relation between precipitation in Dabie mountain watershed and sediment transport in Dasha river valley. Conserving Soil and Water for Society : Sharing Solutions 13th International Soil Conservation Organization Conference – Brisbane, July 2004.

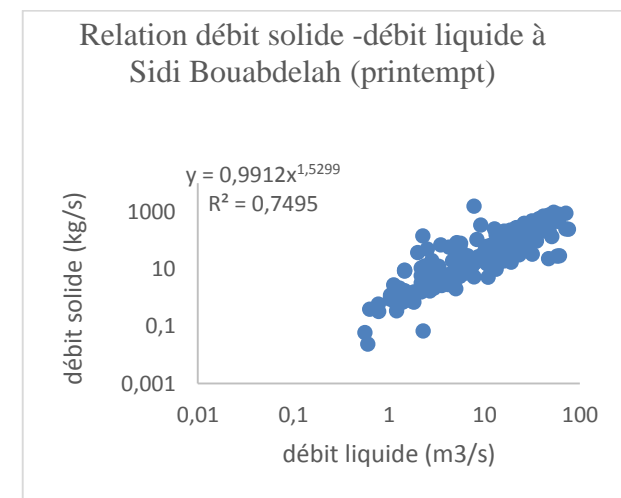
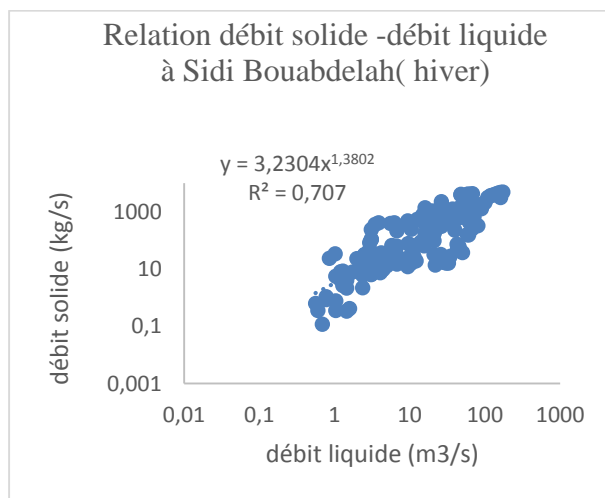
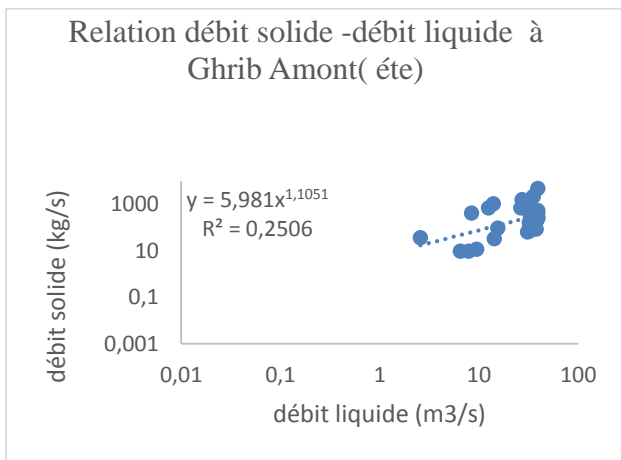
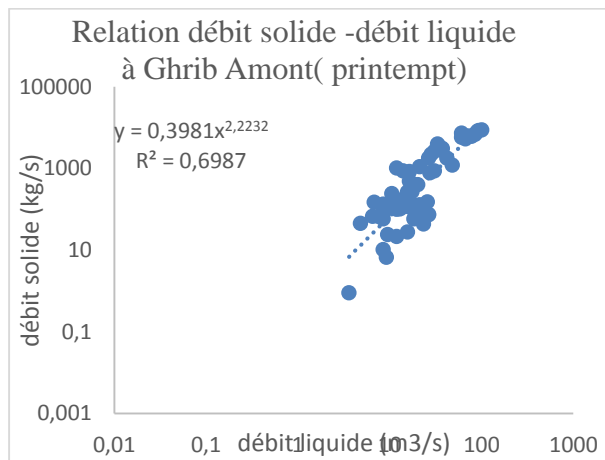
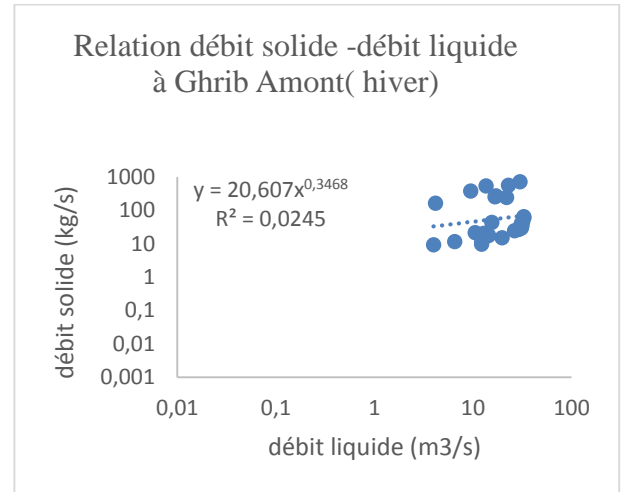
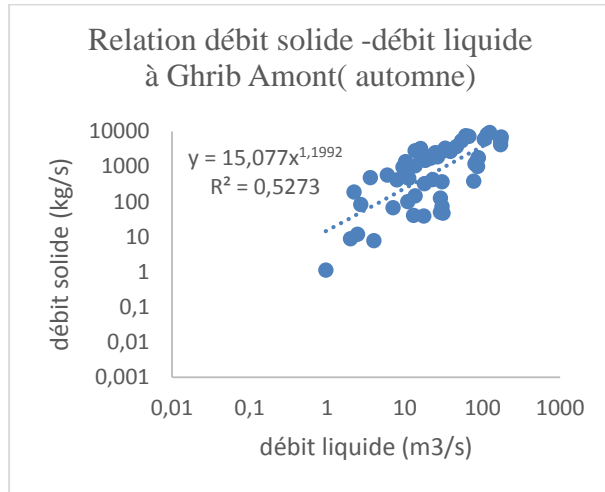
Annexes

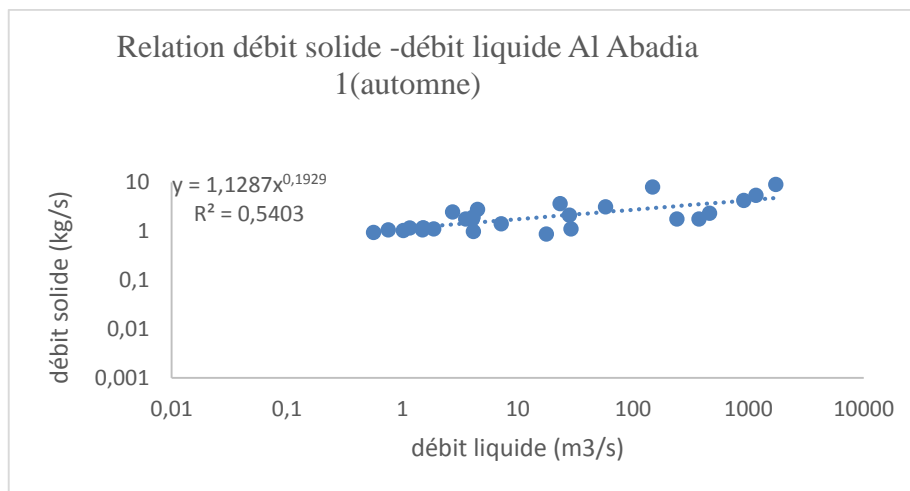
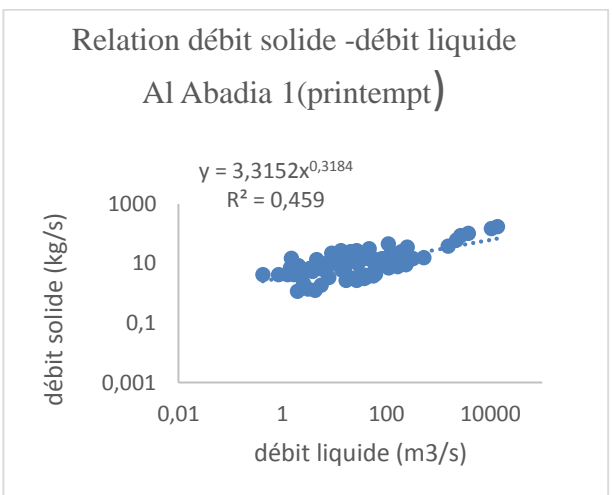
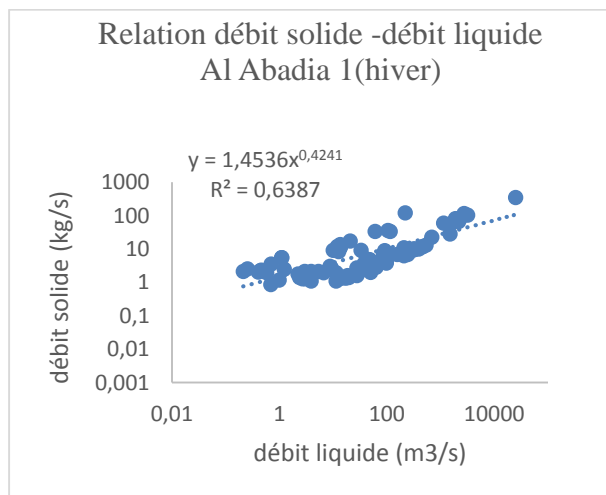
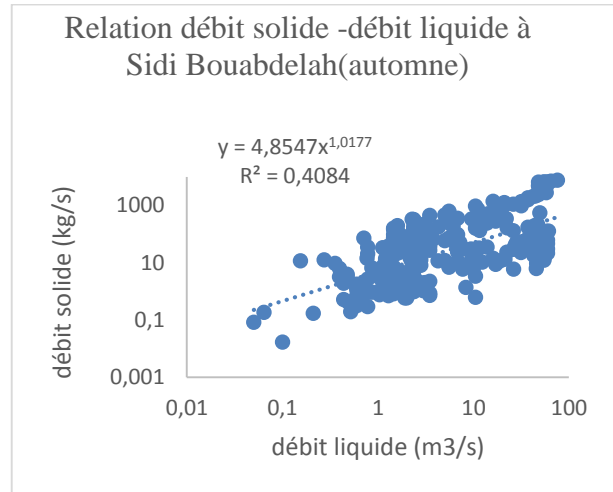
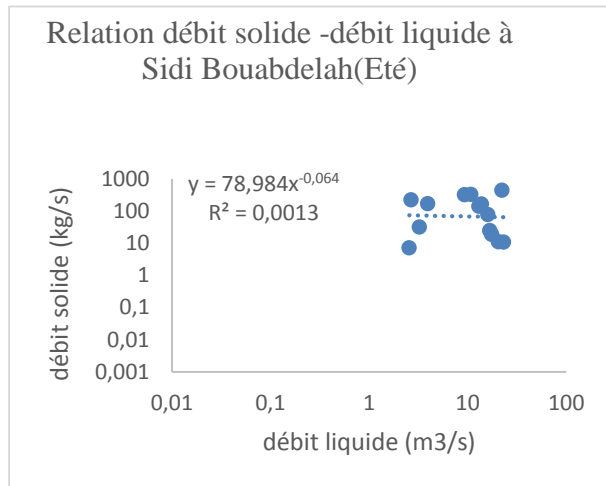
Relation débit solide-débit liquide à l'échelle saisonnière



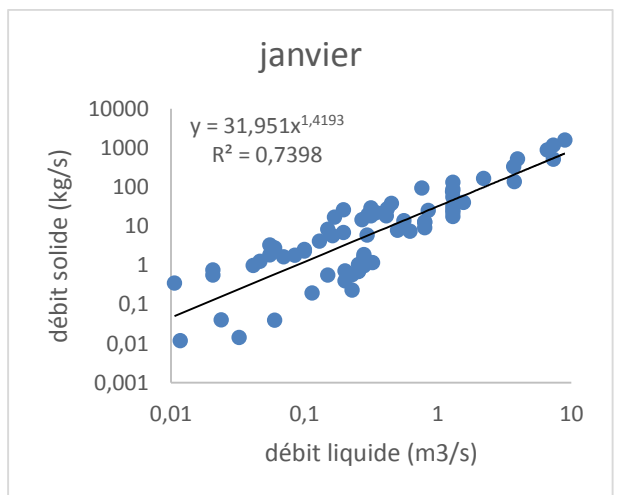
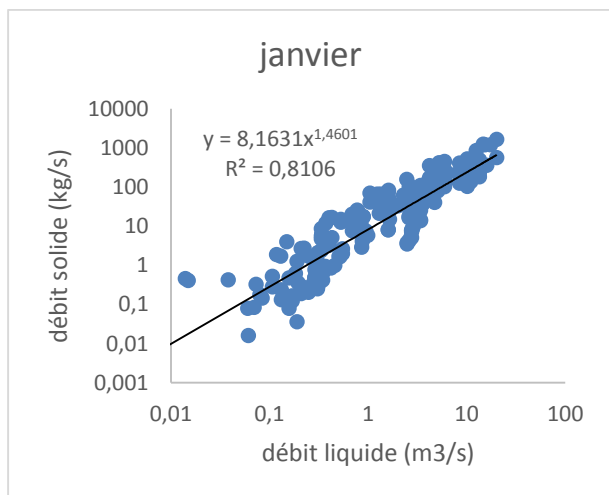
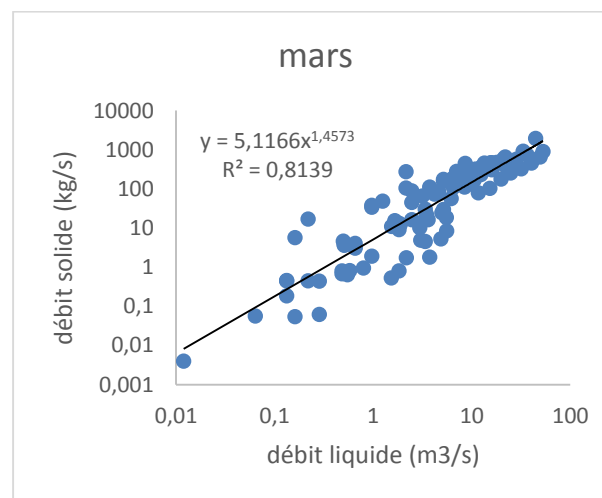
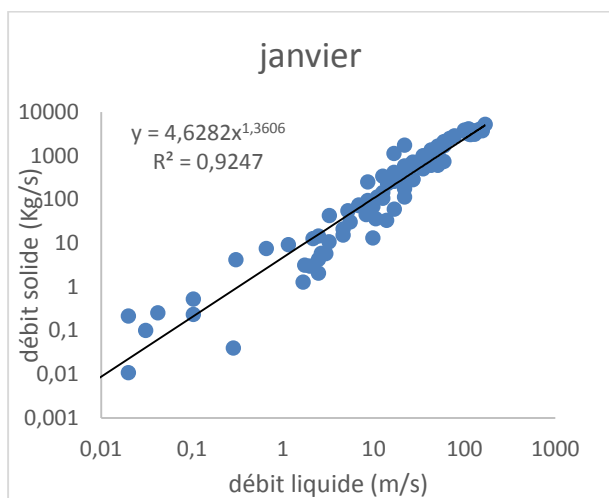
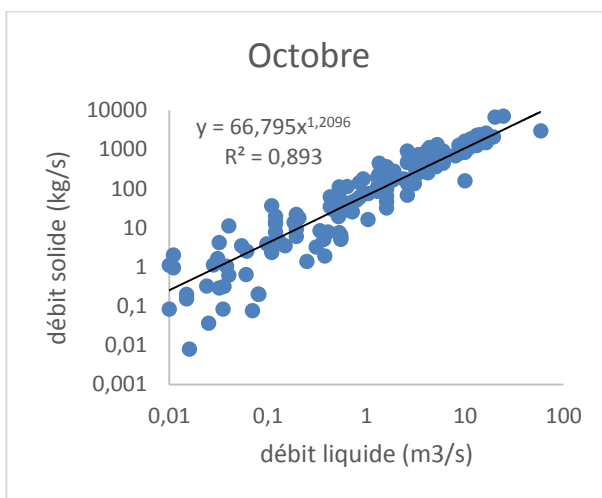
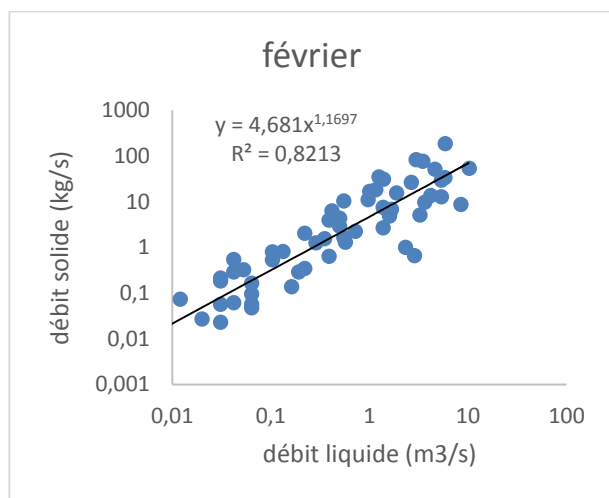


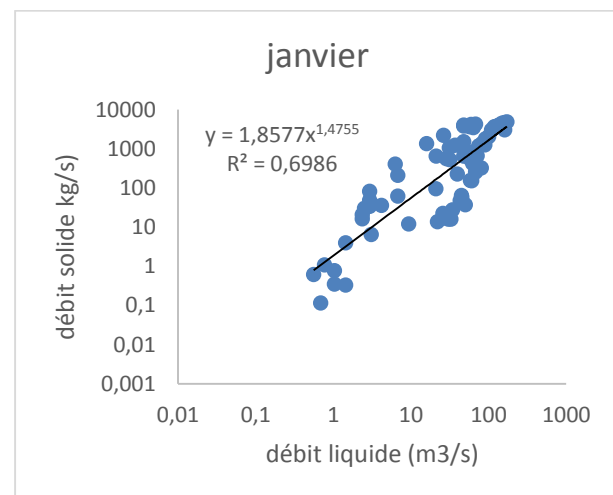
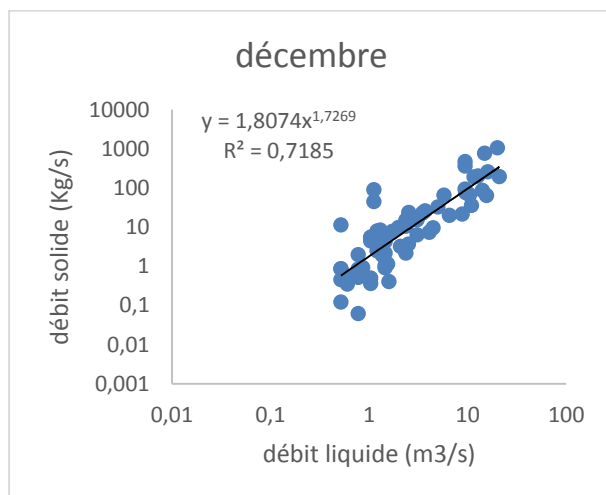
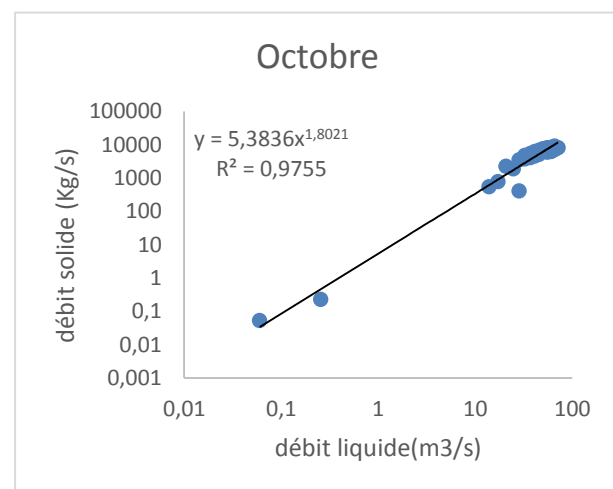
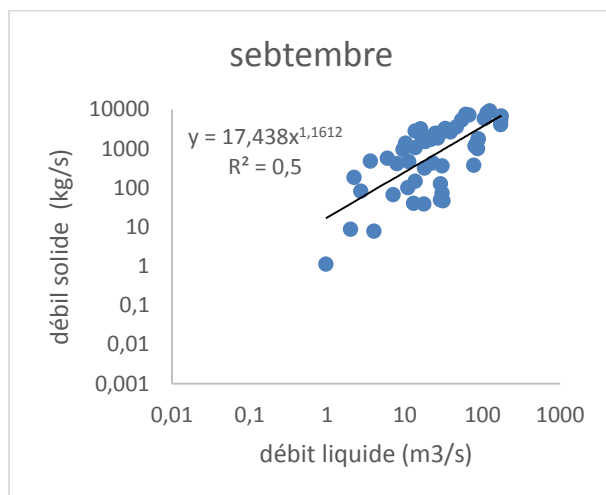
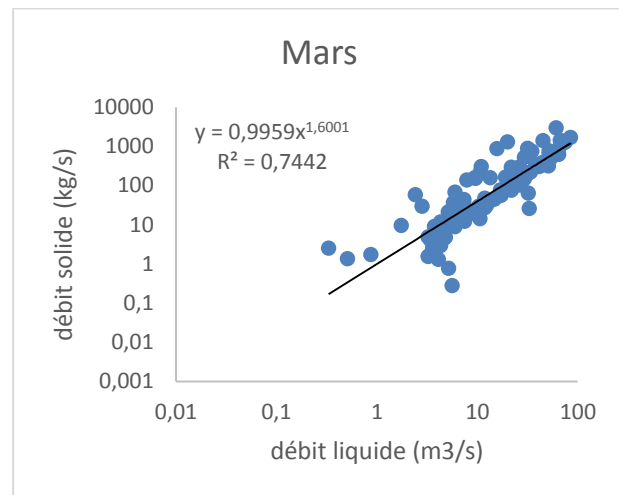
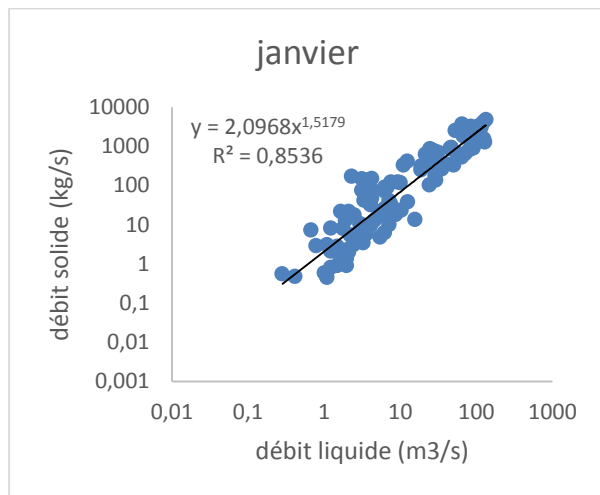


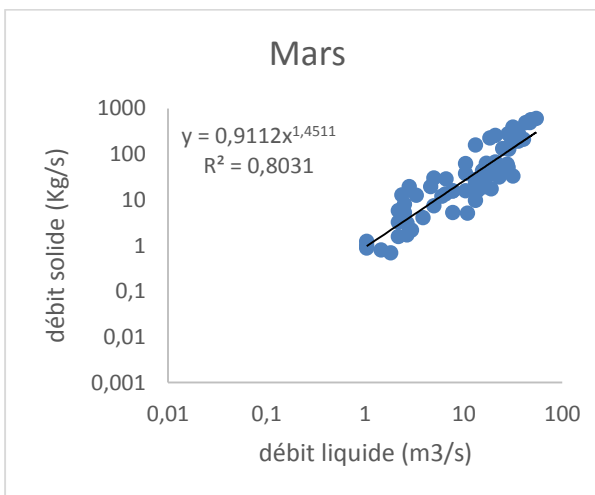
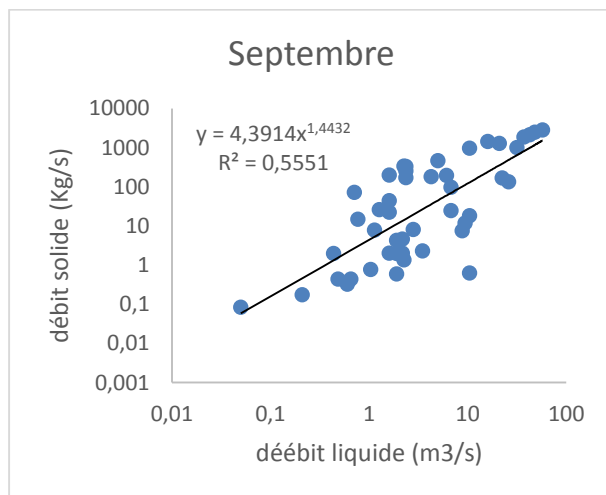
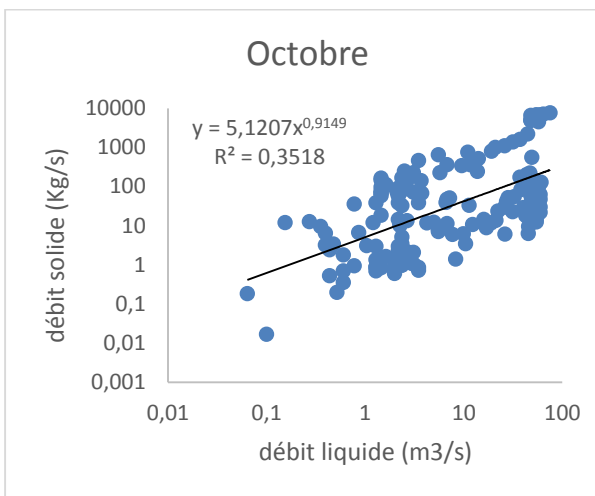
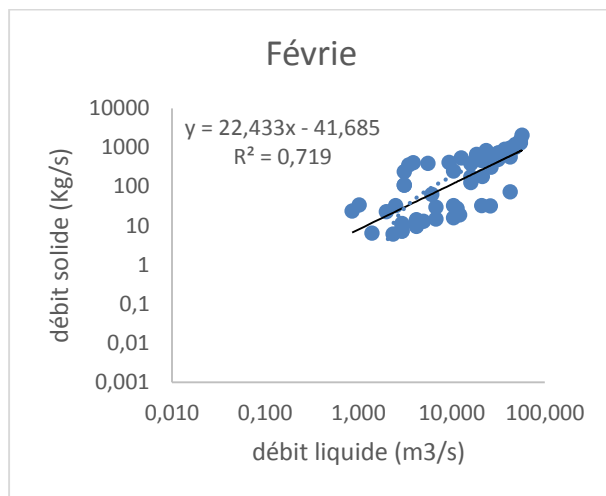


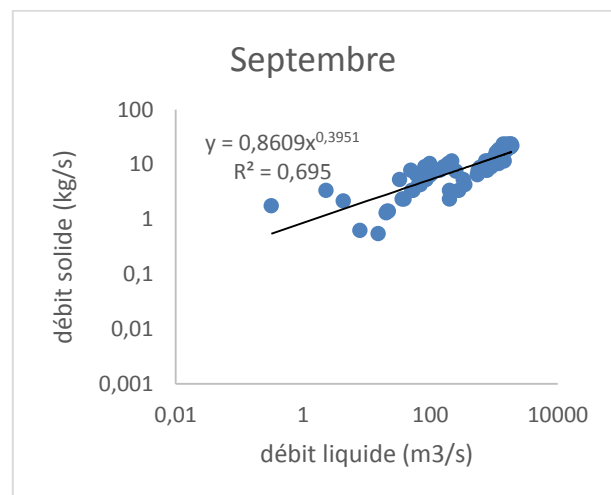
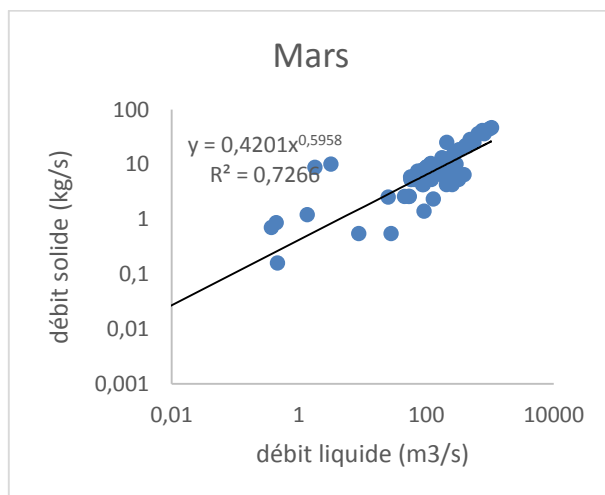
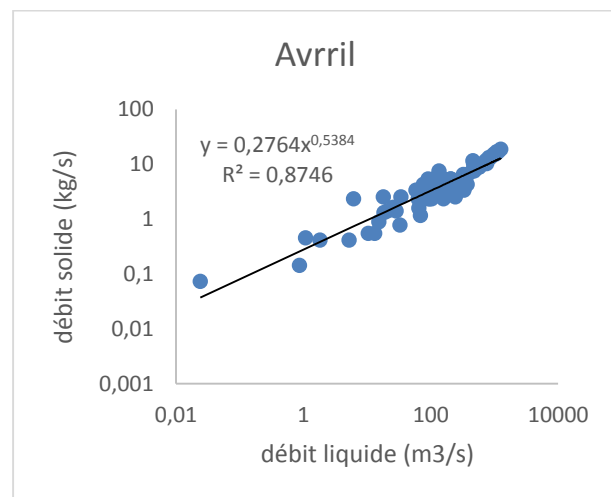
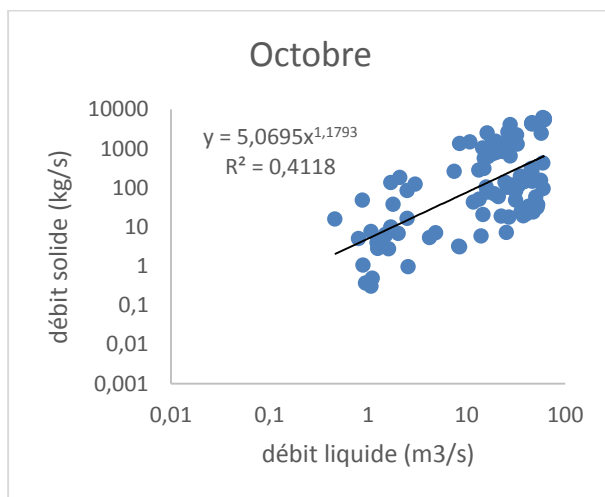
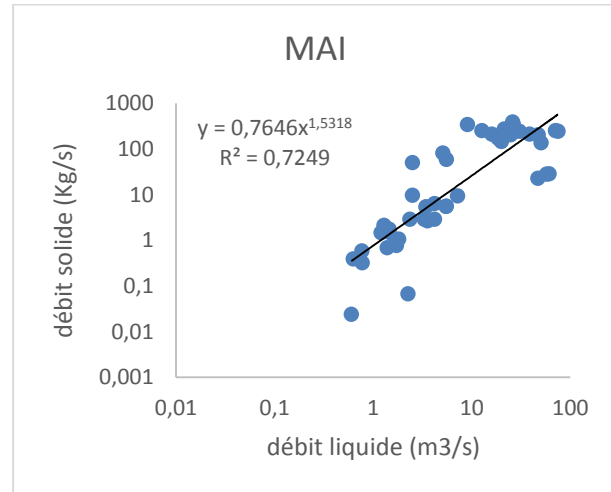
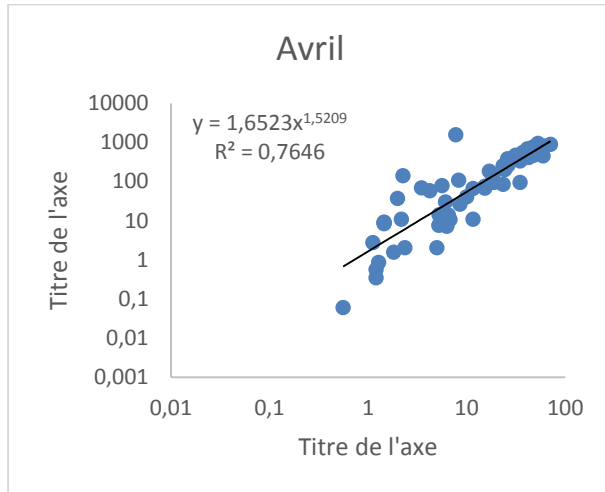


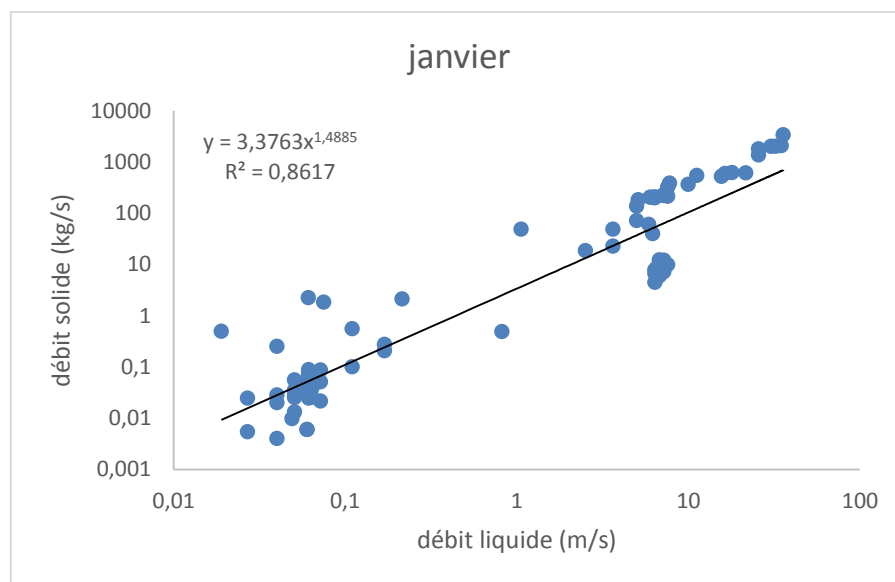
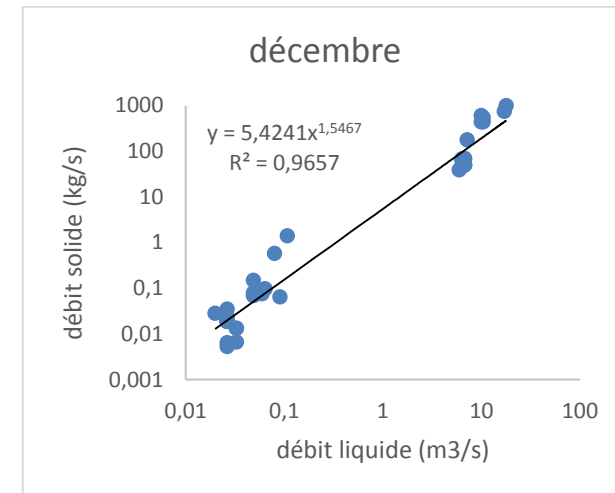
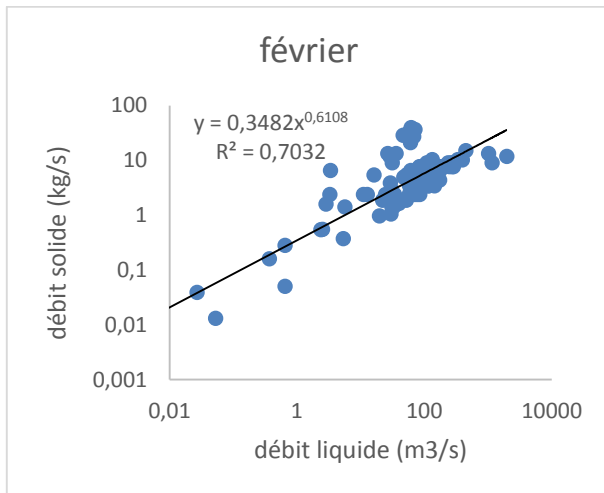
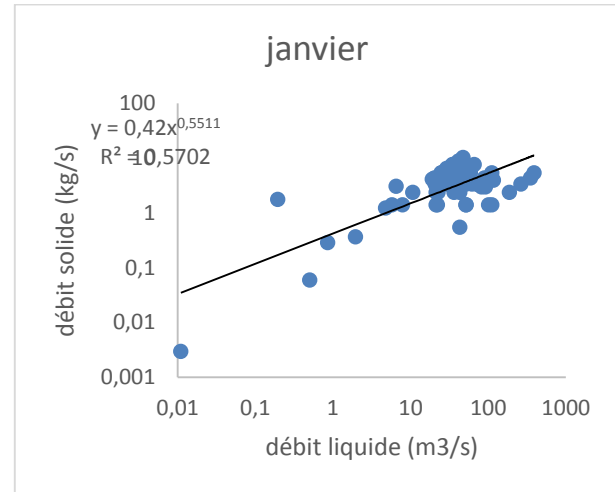
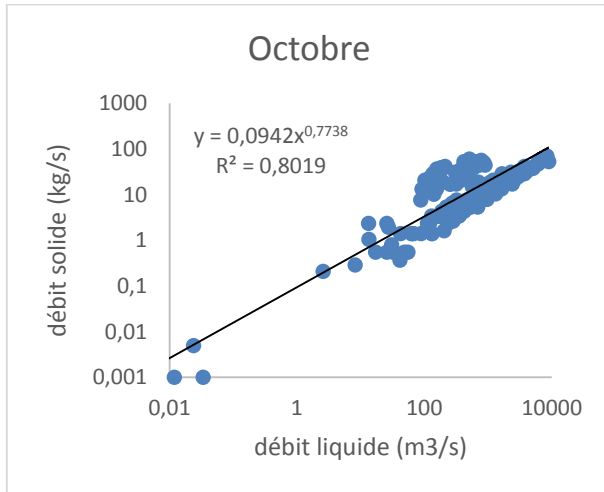
Relation entre débit solide mesuré et le débit liquide à l'échelle mensuelle :

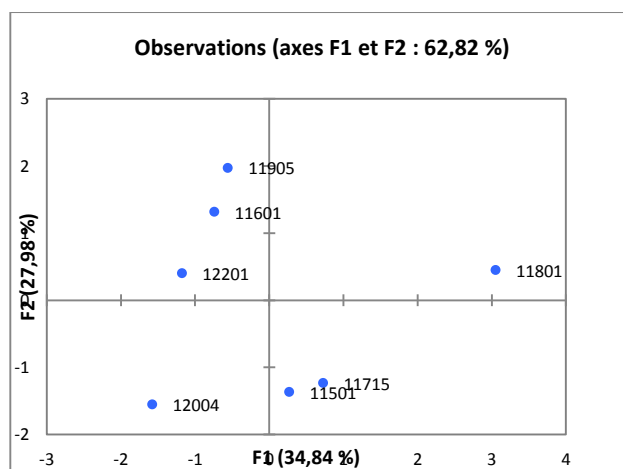
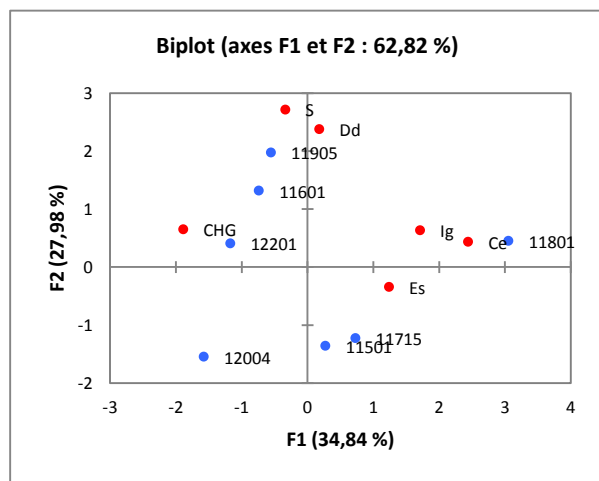
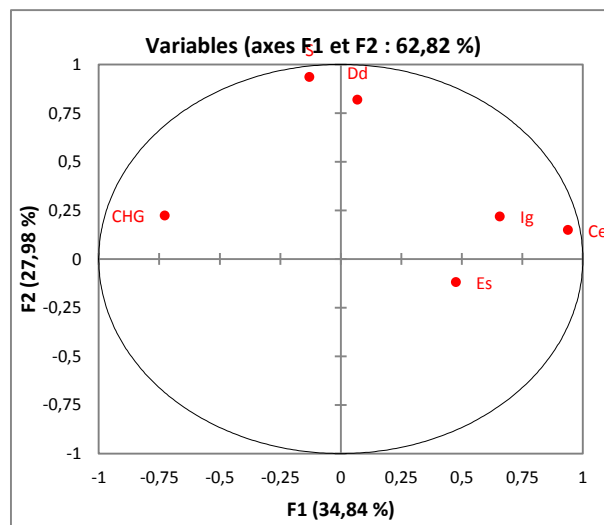
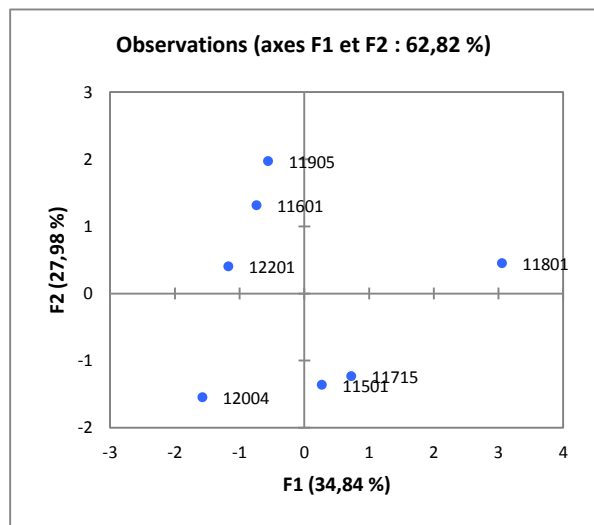












stat	Es	lg	Dd	Ce	CHG	S
11407	157,7	17,67	0,57	25,2	9	1898
11501	2356,55	15,01	0,52	12,4	1	157
11514	81,31	4,29	0,42	8,8	9	22580
11601	918,02	19,41	0,59	14,8	5	500
11702	291,11	23,87	0,48	15,1	9	2452
11715	5278	23,87	0,48	13,9	5	102
11801	3785,04	23,73	0,69	45,5	1	270
11905	1864,4	21,38	0,84	8,3	5	435
12001	165,41	18,08	0,93	15,9	9	26414
12004	382,71	15,75	0,4	4	5	130
12201	4593,16	11,31	0,81	4,2	5	262

Tableau IV.10 : valeurs des paramètres utilisées pour l'application de l'ACP