



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 زيان عاشور-الجللفة -

Université Ziane Achour – Djelfa

كلية العلوم الطبيعية والحياة

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département des Sciences Agronomiques et Vétérinaires

Mémoire de fin d'études

En Vue de l'Obtention du Diplôme de Master en Sciences Agronomiques

Spécialité : Eau et Environnement

Thème :

Évolution des Concentrations des Sédiments en Suspension et des Débits Liquides
dans le Bassin Versant Semi-Aride. Cas de L'Oued EL Hachem (Tipaza)

Présenté par : M^{elle}. Ben Ali Saadia

Dr . Elahcene Omar

Pr

Université de Djelfa

Promoteur

Les membres du jury :

Dr . BOUTELDJAOUI F.

MCB

Université de Djelfa

Président

Dr . KHADRI S.

MCB

Université de Djelfa

Examinatrice

M . KHALDI A. Y .

MAA

Université de Djelfa

Examineur

Année Universitaire : 2020/2021



قال تعالى: { من يشكر فإنما يشكر لنفسه } { لقمان 12 }

وقال رسوله الكريم صلى الله عليه وسلم : (من لم يشكر الناس ، لم يشكر الله عز وجل)

أحمد الله تعالى حمدا كثيرا طيبا مباركا ملئ السموات والارض على ما أكرمني به من إتمام هذا البحث العلمي و التي أرجو أن تنال رضاه .

ثم أتوجه بجزيل الشكر وعظيم الإمتنان والتقدير الى أستاذي الدكتور المشرف " إحسن عمار " على كل ما قدمه لي من توجيهات ومعلومات قيمة ساهمت في إثراء موضوع دراستي في جوانبها المختلفة ومن هذا المنبر أعرب عن خالص احترامي لك استاذي الفاضل واشكرك على ثقتك الدائمة في أدامك الله وأطال في عمرك ذخرا للعلم والمتعلمين ، كما أتوجه بجزيل الشكر لأعضاء لجنة المناقشة الموقرة للإشراف على تقييم بحثي المتواضع هذا .

ويوجب علي الإعتراف بالفضل أن أشكر جميع أساتذة كلية العلوم الطبيعة والحياة الذين أحسنو تدريسي .

شكرا قسم ماء وبيئة دفعة 2020 / 2021 لكل لحظة جعلتموها ذكري طيبة أتذركم بها .



Dédicace



Dédicace



أهدي عملي هذا المتواضع بكل فخر وحب من أجل :

صاحب السيرة العطرة، والفكر المستنير ، فلقد كان له الفضل الأول في بلوغي التعليم العالي (والدي الحبيب) ، أطال الله في عمره.

من وضع المولى – سبحانه وتعالى – الجنة تحت قدميها، وقرّها في كتابه العزيز(أمي الحبيبة).

جدتي الغالية أطال الله في عمرها وأدامها المولى شمعة تنير حياتنا .

من أعتمد عليهم إخوتي و أخواتي : أحمد صلاح، محمد، إسماعيل، صهيب، موسى، أمال، زينب، حبيبيتي آية .

أعزائي زوجتا أخويي (أحلام ، هاجر) .

من بهجوا حياتنا بوجودهم حفيدي عائلتي الكريمة لؤي عبد النور ، ألاء ريتاج.

أحبابي الذين أحبهم وأحترمهم وأشتاق اليهم : كريمة ، السعدية ، حياة ، المداني ، جميلة.

Ben Ali Saadia



Résumé

Résumé

La relation entre la concentration des sédiments en suspension, C (g/L), et le débit liquide, Q_L (m^3/s), d'un cours d'eau est une relation fondamentale dans le domaine du transport solide en rivière. Les types de relation $C-Q_L$, dans leur ensemble restent mal connus. Cette relation est étudiée de manière qualitative. Le présent travail a pour objectif de s'intéresser à trouver une relation étroite entre ces deux grandeurs (C et Q_L) dans le bassin versant de l'Oued El-Hachem (station Bordj Ghobrini). La présente étude se base sur les données de prélèvements effectués par l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH, Algérie) entre 1974 et 1988. Les résultats obtenus montrent qu'il n'y a pas une relation entre la concentration des sédiments en suspension et le débit liquide et même résultat trouvé par le regroupement en classe. Il existe une relation entre Q_s et Q_L représentant la dynamique sédimentaire de l'Oued El-Hachem. Ceci, peut s'expliquer par l'effectivité de la relation en puissance, c'est-à-dire que le débit solide est lié au débit liquide par la relation $Q_s = C \times Q_L$. On peut conclure que, la relation débit solide-débit liquide est respectée et elle permet de quantifier et évaluer le transport solide en suspension dans l'Oued El-Hachem.

Mots clés : concentrations, suspension, débit solide, débit liquide, Oued El-Hachem, zone semi-aride, Algérie

Abstract

Abstract

The relationship between the concentration of suspended sediment, C (g / L), and the liquid flow, Q_L (m^3 / s), of a stream is a fundamental relationship in the field of solid transport in rivers. The types of C - Q_L relationship, as a whole, remain poorly understood. This relationship is studied qualitatively. The objective of this work is to be interested in finding a close relationship between these two quantities (C and Q_L) in the watershed of Oued El-Hachem (Bordj Ghobrini station). The present study is based on data from samples taken by the National Water Resources Agency (ANRH, Algeria) between 1974 and 1988. The results obtained show that there is no relationship between the concentration of suspended sediments. and the liquid flow and same result found by grouping in class. There is a relationship between Q_s and Q_L representing the sedimentary dynamics of Oued El-Hachem. This can be explained by the effectiveness of the power relation, i.e. the solid flow is related to the liquid flow by the relation $Q_s = C \times Q_L$. It can be concluded that the solid flow-liquid flow relationship is respected and it allows to quantify and evaluate the solid transport in suspension in the Oued El-Hachem.

Key words: *concentrations, suspension, solid flow, liquid flow, Oued El-Hachem, semi-arid zone, Algeria*

الملخص

العلاقة بين تركيز الرواسب المعلقة، C (كغ/لتر) ، وتدفق السائل، Q_L (م³/ث) ، للتيار هي علاقة أساسية في مجال النقل الصلب في الأنهار . لا تزال أنواع علاقة $C-Q_L$ ، ككل ، غير مفهومة جيدا . هذه العلاقة تدرس نوعيا . الهدف من هذا العمل هو الاهتمام بإيجاد علاقة وثيقة بين هاتين الكميتين (C و Q_L) في مستجمع واد الهاشم (محطة برج غبريني) . تعتمد الدراسة الحالية على بيانات من عينات مأخوذة من الوكالة الوطنية للموارد المائية (ANRH ، الجزائر) بين عامي 1974 و 1988 . و أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أنه لا توجد علاقة بين تركيز الرواسب العالقة وتدفق السائل و نفس النتيجة التي تم الوصول إليها . من خلال التجميع في الفصل . هناك علاقة بين Q_L و Q_S تمثل الديناميكيات الرسوبية لواد الهاشم . يمكن تفسير ذلك من خلال فعالية علاقة القوة ، أي يرتبط التدفق الصلب بتدفق السائل من خلال العلاقة $Q_S = C \times Q_L$. يمكن استنتاج أن علاقة التدفق الصلب - التدفق السائل يتم احترامها وتسمح بتحديد وتقييم نقل المواد الصلبة في المعلق في واد الهاشم .

الكلمات المفتاحية : التركيزات ، المعلق ، التدفق الصلب ، التدفق السائل ، وادي الهاشم ، المنطقة شبه القاحلة ، الجزائر .

Liste des figures

Liste des Figures

N° de figure	Titre de la figure	Page
I. 1	Erosion en nappe	07
I. 2	Erosion en rigole	07
I. 3	Erosion linéaire	08
II. 1	Situation géographique du bassin versant de l'Oued El Hachem (Fareh 2006 modifié).	22
II. 2	Couvert végétale de bassin versant de l'Oued El Hachem (Fareh 2006 modifié).	27
II. 3	Réseau hydrographique du bassin versant de l'Oued El Hachem (Fareh 2006 modifié).	29
II. 4	Carte géologique du sous bassin versant de l'Oued El-Hachem (extraie de la carte géo 1/50.000 cherchell).	30
II. 5	Log stratigraphique des formations de la vallée d'Oued El Hachem et leur caractéristique hydrogéologique.(ANRH Blida,2004)	33
II. 6	Coupes géophysiques C.G.G 1966	35
III. 1	Relations concentrations-débits liquides par le modèle polynomial dans le bassin versant de l'Oued El-Hachem, Tipaza (1974-1988),	43

III. 2	Relations concentrations-débits liquides par le modèle linéaire dans le bassin versant de l'Oued El-Hachem, Tipaza (1974-1988),	44
III. 3	Relations concentrations-débits liquides par le modèle logarithmique dans le bassin versant de l'Oued El-Hachem, Tipaza (1974-1988),	45
III. 4	Relations concentrations-débits liquides par le modèle exponentiel dans le bassin versant de l'Oued El-Hachem, Tipaza (1974-1988),	46
III. 5	Relations concentrations-débits liquides par le modèle puissance dans le bassin versant de l'Oued El-Hachem, Tipaza (1974-1988),	47
III.6	Relations concentrations en fonction des débits liquides par regroupement en classes pour le modèle puissance (N=2 à N=20) dans le bassin versant de l'Oued El-Hachem, Tipaza (1974-1988)	54
III.7	Relation débits solides-débits liquides dans le bassin versant de l'Oued El-Hachem Tipaza (1974-1988).	57

Liste des tableaux

Liste des Tableaux

N° de figure	Titre de la figure	Page
I. 1	Valeurs de α pour différentes perméabilités	16
II. 1	Caractéristiques géomorphologiques du bassin versant de l'Oued El- Hachem(ANRH,Blida,2004)	25
II. 2	Principales caractéristiques d'un profil type de chaque sol présent dans le bassin versant(ANRH,Blida,2004)	38
III.1	Relations concentration-débit liquide pour chaque échelle de temps de 1974 à1988,	48
III.2	Relations concentration-débit liquide par regroupement en classes pour chaque échelle de temps de 1974 à 2007	55

SOMMAIRE

Table des matières

N° de figure	Titre de matière	Page
	Introduction	01
	Chapitre I Recherche bibliographique	
	Introduction	04
I. 1	Definition L' Erosion	04
I. 1.1	Erosion Hydrique	04
I. 2	Processus de l'érosion hydrique	05
I.2.1	Le détachement	05
I. 2.2	Le transport	05
I. 2.3	La sédimentation	05
I. 3	Formes de l'érosion hydrique	06
I.3.1	L'érosion aréolaire (diffuse ou de surface) "sheet erosion"	06
I. 3.1.a	Erosion en nappe	06
I. 3.1.b	Erosion en Rigoles	07
I. 3.2	L'érosion linéaire ou concentrée "Rill Erosion"	08
I. 4	Les Facteurs de l'érosion	09
I.4.a	La pente de terrain (topographie)	09
I.4.b	Les précipitations	09

I. 4.c	La texture des sols	10
I. 4.d	La faible teneur en matière organique du sol	10
I. 4.e	Le climat	10
I. 4.f	L'absence de couvert végétal (Défrichement)	11
I. 4.g	L'action de l'homme(pratique agricoles,urbanisation)	11
I. 5	Quantification de l'érosion hydrique	11
I.5.1	Formule de Wischmeier et Smith(1959)	11
I. 5.2	Formule de Tixeront (1960)	12
I. 5.3	Formule de Fournier (1960)	14
I.5.4	Formule de Sogreah(1967)	15
I. 5.5	Formule de L' A.N.R.H (1970)	16
I. 5.6	Formule de poliakov	17
I. 5.7	Formule de Henin (1950)	17
I.5.8	Formule de Gavrilovic(1960)	18
I. 6	Conséquences de l'érosion hydrique en zones de dépôts	19

CHAPITRE II PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

	Introduction	21
II. 1	Situation géographique de l'oued EL-Hachem	21
II. 2	Caractéristiques géomorphologiques	
II. 2.1	Forme du bassin versant	23
II. 2.2	Rectangle équivalent	24
II. 3	Couverture végétale	26

II.4	Hydrographie	28
II.5	Cadre géologique	29
II.5.1	Description lithostratigraphique de la région d'étude	30
II.6	Aperçu hydrogéologique	34
II.7	Aperçu géophysique	34
II.8	Pédologie	36
II.9	Aperçu climatique	38
CHAPITRE III CONCENTRATIONS DES SEDIMENTS EN SUSPENSION ET DEBITS LIQUIDES DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUED EL-HACHEM		
	INTRODUCTION	40
III. 1	RELATION DES CONCENTRATIONS DES SEDIMENTS EN SUSPENSION ET DES DEBITS LIQUIDES	41
III. 1.1	DONNEES ET ETHODOLOGIE	41
III. 1.2	ANALYSE DES RESULTATS	50
III. 2	RELATION DES DEBITS SOLIDES EN FONCTION DES DEBITS LIQUIDES	56
III.2.1	DONNEES ET METHODOLOGIE	56
III.2.2	ANALYSE DES RESULTATS	57
	CONCLUSION	59
	REFERENCES BIBLIOGRQPHIAUE	81

INTRODUCTION



INTRODUCTION

INTRODUCTION

La relation entre la concentration des sédiments en suspension, C , et le débit liquide, Q_L , d'un cours d'eau est une relation fondamentale dans le domaine du transport solide en rivière. Les types de relation C - Q_L , dans leur ensemble restent mal connus (**Benkhaled et Remini, 2003**).

Le transport solide constitue par son importance, un problème majeur en Algérie (dégradation des sols agricoles, alluvionnement des retenues). L'estimation du taux de sédimentation des barrages et de leur durée de vie nécessite une bonne connaissance des apports solides. Ces derniers dépendent aussi bien des contraintes topographiques et granulométriques imposées au fond des vallées que de la nature et du volume des apports liquides et solides fournis au réseau d'écoulement. En plus de cette complexité, le manque de données constitue un handicap majeur dans l'évaluation et la prévision de l'envasement des barrages. Cet état de fait a conduit de nombreux chercheurs à proposer des modèles de prévision générale (pour un ensemble de bassins) et des modèles particuliers (propres à un bassin donné). Ces derniers ont été largement utilisés en Algérie pour développer des modèles propres aux bassins étudiés afin d'évaluer le transport solide à leur exutoire (**Elahcene, 2013**).

Pour tenter d'atténuer l'ampleur de ces phénomènes (érosion et transport solide) et essayer d'agir d'une façon efficace pour sauvegarder le milieu physique, il est nécessaire de connaître et de maîtriser les processus élémentaires. Une fois cette connaissance acquise, il est alors possible de générer un modèle, qui quantifie la quantité de sédiments transportée dans les oueds. Ainsi, il est nécessaire de préciser autant qu'il est possible les relations entre les différents phénomènes se manifestant dans les cours d'eau. L'une des plus importantes est certainement la relation entre le débit liquide et le débit solide. S'il est difficile d'établir une formule reliant les différentes variables, du moins pouvait-on, en utilisant les méthodes de corrélation, espérer établir une expression mathématique qui permettrait de comparer ces phénomènes pour différents types de rivières.

INTRODUCTION

Notre travail a pour objectif de trouver une relation fiable entre les concentrations des sédiments en suspension et les débits liquides dans le bassin versant de l'Oued El-Hachem.

Notre étude s'articulera sur trois chapitres :

- Une revue bibliographique qui traite l'érosion et le transport solide.
- Le second chapitre, intitulé caractérisation du bassin versant de l'Oued El-Hachem.
- Dans un troisième chapitre, nous tenterons d'établir les relations entre les concentrations des sédiments en suspension et les débits liquides dans le bassin versant de l'Oued El-hachem.

Enfin, nous terminerons ce mémoire par une conclusion.

Chapitre I

Recherche Bibliographique



Introduction

L'érosion des sols est un problème social et économique important et un facteur essentiel pour évaluer la santé et le fonctionnement des écosystèmes. L'érosion des sols est l'un des problèmes naturels des sols et affectera toutes les formes de relief. L'érosion des sols peut également se produire par des forces associées aux activités agricoles telles que le travail du sol. La terre végétale, riche en matière organique, en haute fertilité et en vie du sol, est déplacée ailleurs «sur place» où elle s'accumule avec le temps ou est transportée «hors site» où elle se remplit dans les canaux de drainage. L'érosion des sols réduit la productivité des terres cultivées et l'érosion des sols contribue à la pollution des cours d'eau, des zones humides et des lacs adjacents.(A. Balasubramanian, February 2017)

I. 1 Définition L' Erosion

L'érosion se produit sur des zones naturellement arides et semi-arides, mais également sur toute zone sur laquelle les activités humaines ont conduit à faire disparaître le couvert végétal. On distingue deux types d'érosion, hydrique et éolienne..(Elahcene et Remini, 2013)

L'érosion est un phénomène naturel qui affecte l'ensemble de la couverture terrestre géopédologique et c'est l'un des facteurs important de formation et l'évolution des milieux naturels (Dutil, 1984).

I.1.1 Erosion Hydrique:

L'érosion des sols peut être définie comme un processus d'altération de la surface du sol impliquant successivement le détachement le transport et la sédimentation des particules du sol sous l'effet de la pluie, lorsque le sol est incapable d'infiltrer l'eau.

I. 2 Processus de l'érosion hydrique

I. 2.1 Le détachement

L'éclatement et la désagrégation mécanique d'agrégats du sol sous l'impact des gouttes de pluie « effet splash ».et les particules détachées sont généralement des micro-agrégats ou des particules élémentaires < 100 mm.

I. 2. 2 Le transport

Le transport des particules du sol détachées est assuré par les eaux de ruissellement qui coulent sur la surface en emportant les particules de terre. Avec les ruissellements apparaissent lorsque l'intensité des pluies est supérieure à l'infiltrabilité du sol.

I. 2.3 La sédimentation

Les particules arrachées du sol se déposent en l'aval de la pente en fonction de leur dimension et leur densité , la capacité de transport du ruissellement.

Les particules se déposent dans l'ordre , sable , sable fin, limon et argiles.

I.3 Formes de l'érosion hydrique

I.3.1 L'érosion aréolaire (diffuse ou de surface) "sheet erosion"

Il s'agit d'un décapage uniforme de la couche superficielle de terre. Il se produit sur la totalité d'un versant. Elle est la réponse de mécanismes complexes où les facteurs de production et de transfert sont intimement liés. Elle dépend des caractéristiques du sol (granulométrie, humidité initiale, teneur en matières organiques) et des caractéristiques de la surface (inclinaison, longueur et forme de la pente, rugosité, couverture végétale); elle est donc difficile à mesurer globalement. L'érosion aréolaire regroupe l'érosion en nappe et l'érosion en rigoles.

I.3.1.a Erosion en nappe

Première phase de l'érosion aréolaire, pendant laquelle les particules arrachées sous l'impact des gouttes de pluie sont transportées par les ruissellements de surface. C'est le stade initial de la dégradation du sol par érosion, du fait de l'impact des gouttes de pluie sur le sol et le transport des éléments détachés par le ruissellement en nappe (**Roose, 1984**). Cette forme d'érosion, sous l'influence du travail du sol par les outils aratoires, engendre la remontée des cailloux à la surface du sol (**Roose, 1973**). En Afrique, l'érosion en nappe dépend de la hauteur, de l'intensité, de l'énergie cinétique et de la répartition des pluies (**Roose et De Noni, 2004**) (voir figure 1).



Figure I .1 Erosion en nappe

I.3.1.b Erosion en Rigoles

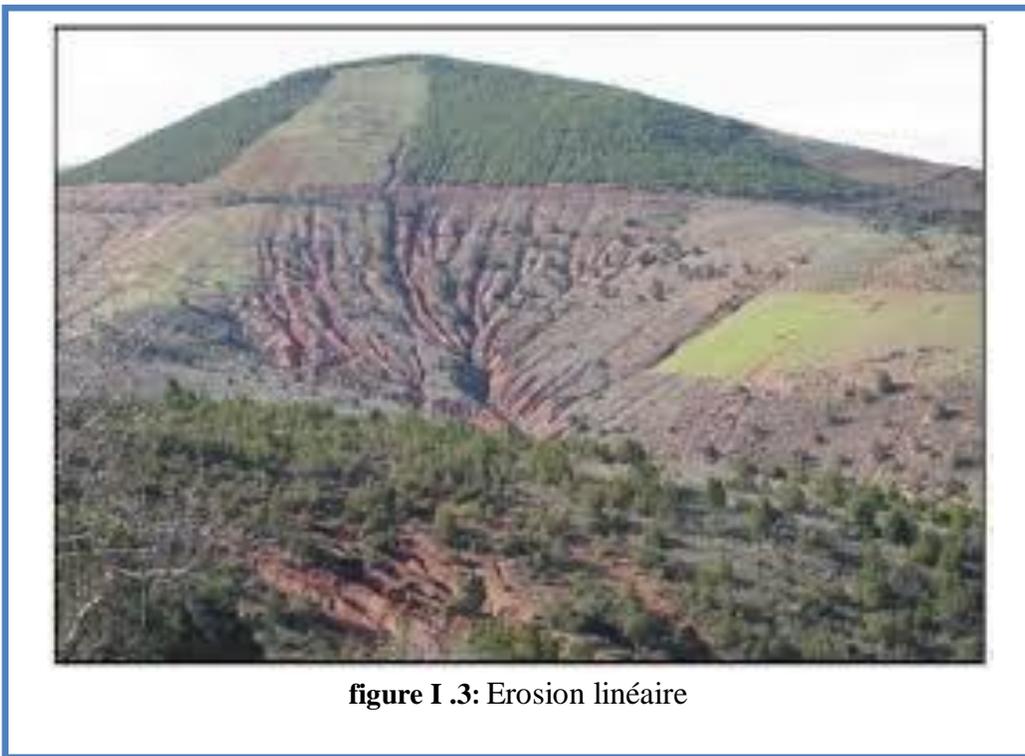
Deuxième phase de l'érosion aréolaire. Elle se produit lorsque l'écoulement d'eau se concentre et choisit son passage. Dès qu'une griffe s'établit, l'eau de ruissellement tend à se réunir, et plus elle se creuse plus il y a appel d'eau dans la rigole. Ainsi. On parle d'érosion en rigoles lorsque les petits canaux présentent des profondeurs supérieures à 10 cm (**Roose, 1984 ; Al-kaisi et al., 2009**) (figure I.2).



figure I . 2 : Erosion en rigole

I. 3.2 L'érosion linéaire ou concentrée "Rill Erosion"

Lorsque les eaux de ruissellement se concentrent, elles peuvent former des creusements de diverses formes et dimensions (griffes, rigoles, ravines, etc.). L'érosion linéaire est un indice que le ruissellement s'est organisé, qu'il a pris de la vitesse et acquis une énergie cinétique capable d'entailler le sol et d'emporter des particules de plus en plus grosses. (Elahcene et Remini, 2013) .. figure I .3.



I. 4 Les Facteurs de l'érosion

I. 4.a La pente de terrain (topographie)

La pente joue un rôle important sur la vitesse du ruissellement ,plus cette pente est élevée, plus l'arrachement des particules est important. Et le type de sol selon, Les risques d'érosion en fonction sont:

entre 0 et 1% : ruissellement des eaux mais sans érosion

entre 1 et 3% : érosion diffuse et formation de rigoles

entre 3 et 5% : érosion forte avec ravinement

plus de 5% : érosion très forte avec ravinement profond.

I. 4.b Les précipitations

Les précipitations s'expriment en mm. C'est surtout l'intensité des précipitations qui compte, plutôt que la quantité totale tombée, plus les pluies sont intenses (orages), plus elles sont «érosives» et favorisent l'arrachement des particules de sol,et plus le diamètre des gouttes de pluie est plus grand ; plus leur vitesse de chute est plus élevée et développent une plus forte énergie (cinétique) de frappe.

I. 4.c La texture des sols

Les sols limoneux sont les plus favorables à l'érosion (phénomène de battance). En effet, sous l'impact des gouttes de pluie, les mottes de terre éclatent et se désagrègent en fines particules : c'est l'effet splash. Ces particules très fines ont tendance à se compacter à la surface du sol pour former une croûte de battance qui réduit l'infiltration de l'eau et favorise le ruissellement.

Elle a également l'inconvénient d'empêcher la bonne germination, et la levée des graines.

I. 4.d La faible teneur en matière organique du sol

La matière organique améliore la structure du sol, et de ce fait diminue l'effet splash des gouttes de pluie et freine la formation d'une croûte de battance.

I. 4.e Le climat

Il constitue la cause et la source de l'énergie érosive. Ce sont les gouttes de pluie et les eaux de ruissellements sur les terrains en pentes et les vents violents qui détachent et entraînent les particules terreuses. (**Difi, 2020**)

I. 4.f L'absence de couvert végétal (Défrichement)

Le couvert végétal constitue un écran protecteur pour le sol pendant les périodes les plus pluvieuses. Par son système racinaire, et son recouvrement Il permet la protection, la stabilité du sol et le ralentissement des ruissellements.

L'occupation des terres est 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 (**Said, 2014**).

I. 4.g L'action de l'homme (pratiques agricoles, urbanisation)

Les défrichements que l'homme opère sur les forêts et les parcours naturelles, le surpâturage, les labours mécaniques facilitent le ruissellement et par conséquent l'érosion. (**Abir et Oumellal ,2014**)

I. 5 Quantification de l'érosion hydrique

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

I. 5.1 Formule de Wischmeier et Smith (1959)

Le modèle empirique de perte en terre de Wischmeier et Smith (USLE), a été élaboré a partir des essais d'érosion en parcelles dans une dizaine d'Etats d'Amérique du Nord, ou un grand nombre de données sur l'érosion a été accumulé. Il s'écrit :

$$P_s = E_p \cdot E_s \cdot F_{1p} \cdot F_p \cdot F_{am} \cdot F_v$$

Avec,

P_s : pertes annuelles de sol [t/ha/an] ;

E_p : érosivité des précipitations [N/h] ;

F_{1p} : facteur de longueur de pente [sans dimension] ;

F_p : facteur de pente [sans dimension] ;

F_{am} : facteur d'aménagement [sans dimension] ;

F_v : facteur de conservation des sols pratiqués [sans dimension].

Ils ont prouvé que sur des parcelles soumises aux pluies naturelles durant 17 ans et de la pente de 3 à 18 %, une équation du second degré s'ajuste mieux que les fonctions logarithmiques en réalité très voisines proposées par les autres chercheurs. Cette équation est de la forme :

Avec

E : l'érosion [t/ha],

$$E = \frac{L^{0.5}}{100*(0.76+0.53*S+0.076*S^2)}$$

S : en %

L : en pieds.

I. 5.2 Formule de Tixeront (1960) : Il s'écrit comme :

$$T_a = a * R^{0.15}$$

Chapitre I Recherche Bibliographique

Avec,

T_a: taux d'abrasion [t/km²/an]

a : coefficient empirique qui varie en fonction de la perméabilité du terrain, il varie de 3,5 à 3200:

- **3,5 < a < 74** pour le bassin à perméabilité élevé ;
- **75 < a < 349** pour le bassin à perméabilité moyennement élevé ;
- **350 < a < 1399** pour le bassin à perméabilité faible à moyenne ;
- **1400 < a < 3199** pour le bassin à perméabilité faible ;
- **a > 3200** pour le bassin imperméable

R : lame d'eau ruisselée [mm/an], d'où

$$R = P_o - D_m$$

Où,

P_o : la pluviométrie moyenne annuelle [mm] ;

D_m : le déficit annuel de l'écoulement [mm], d'où

$$D_m = \frac{P_o}{\sqrt{0,9 + \left(\frac{P_o^2}{r}\right)}} \text{ et,}$$

Avec ,

$$L = 300 + 25 * t + 0,05 * t^2$$

t : la température moyenne [°C].

I. 5.3 Formule de Fournier (1960) : Il s'écrit on :

Avec ;

$$E_s = F * \left(\frac{P^2}{P_o}\right)$$

E_s : taux d'érosion [t/Km²/an] ;

$\left(\frac{P^2}{P_o}\right)$: coefficient climatique,

P : pluviométrie mensuelle maximale [mm] et P_o : pluviométrie annuelle [mm] ;

F : coefficient tient compte le mode de répartition des précipitations de l'année et leur abondance.

→ Selon le coefficient de relief $H * \text{tg } \alpha$ et le coefficient climatique $\frac{P^2}{P_o}$, Fournier à estimer le taux d'érosion :

_ pour le milieu à relief peu accentué $H * \text{tg } \alpha < 6$ et ,

$$\text{Si : } 8,1 < \frac{P^2}{P_o} < 20 : E_s = 6,14 * \frac{P^2}{P_o} - 49,78$$

$$\text{Si : } \frac{P^2}{P_o} > 20 : E_s = 27,12 * \frac{P^2}{P_o} - 475,4$$

_ pour le milieu à relief peu accentué $H * \text{tg } \alpha > 6$ et ,

$$\text{Si : } \frac{P^2}{P_o} > 9,7 : E_s = 52,49 * \frac{P^2}{P_o} - 513,21$$

$$\text{Si : } \frac{P^2}{P_o} > 8 \text{ et la région est semi-aride : } E_s = 91,78 * \frac{P^2}{P_o} - 737,62$$

→ Il existe une autre relation de Fournier, elle est de la forme :

$$Q_s = \frac{1}{36} * \left(\frac{P}{P_o}\right)^2 * 2,65 * \left(\frac{h}{s}\right)^2 * 0,46$$

Avec,

Q_s : l'apport solide annuel moyen [t/km²/an] ;

h : la dénivelée moyenne d'après la courbe hypsométrique (45% de **h max – h min**)

s : superficie du bassin versant [km²].

I. 5.4 Formule de Sogreah 1967 : Il a forme ;

$$T_s = \alpha. A^{0,15}$$

Avec;

T_s : apport solide spécifique (t/Km²/an)

α : coefficient dépendant de la perméabilité du sol

A : écoulement annuel (mm).

Les valeurs, de **α** sont données dans le **tableau I, 1** :

I. 1 Tableau : Valeurs de α pour différentes perméabilités

Perméabilité	A
Forte	8.5
Moyenne	75
Moyenne à Faible	350
Perméabilité et Faible	1400
Imperméabilité	3200

I.5.5 Formule de L' A.N.R.H (1970) : Il s'écrit ;

$$T_{ss}=26.62 I_e+5.071 I_p+9.77 C_t - 593.59$$

Avec ;

T_{ss} : transport solide spécifique moyen annuel (T/Km2.an)

I_e : indice lithologique (%).

I_p : indice des précipitations (%).

C_t : Coefficient de torrentialité :

$$C_t = D_d \cdot F_1$$

ET ,

$$D_d = \frac{\sum_{i=1}^N L_i}{A}$$

Avec ;

D_a : densité de drainage

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

F₁ = nombre de talweg/ surface fréquence des talwegs élémentaires

Cette formule est applicable dans les conditions suivantes : **I_e > 10%**

I_p > 300

I.5.6 Formule de Poliakov : S'écrit à partir de la forme :

$$Es = A \cdot K \cdot Q \cdot L^{1/2}$$

Avec ;

Q : Débit de ruissellement de surface.

K = 10⁴ : proportionnalité.

I = 0.16 : la pente moyenne du bassin versant

A = 0,5-10 : Coefficient d'érosion variant en fonction des types de sol.

On prend : **A = 2**.

I.5.7 Formule de Henin (1950) : Il s'écrit se forme :

$$Es = \frac{I_p I}{KV_e}$$

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

Avec :

I_p : Intensité des précipitations.

I : Pente du bassin versant.

S : Susceptibilité des sols.

K : Perméabilité du sol.

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.

I.5.8 Formule de Gavrilovic 1960

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

Où **E_s** : érosion spécifique dans le bassin versant (T/km².an)

$$E_s = 3,14 \cdot T \cdot P_0 \sqrt{Z^3} \text{ et ,}$$

Avec ; **T** : coefficient de température

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

t₀ : température moyenne annuelle en °c.

P₀ : pluie annuelle en (mm).

Z : coefficient d'érosion.

$$Z = y \cdot x \cdot a \cdot \delta + \sqrt{I_{\text{moy}}}$$

Avec :

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 varie entre 0,05 et 1 ,0.

[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

δ : Coefficient qui exprime le type et degré des processus visibles d'érosion dans le bassin versant

I_{moy} : indice de pente moyenne du bassin versant. (Ben Aicha,2011)

I.6 Conséquences de l'érosion hydrique en zones de dépôts

La conséquences de l'érosion hydrique en zones de dépôts est L'envasement accéléré des barrages, des canaux d'irrigation et des réservoirs et la destruction de routes, chemins et ponts ,la réduction de la capacité des lits de rivières et un risque d'inondation des terres voisines et le transfert et la répartition spatiale des polluants (pesticides, métaux lourds et nutriments en excès) dans l'environnement (Difi ,2020)

Chapitre II

Caractérisation du la Zone d'étude



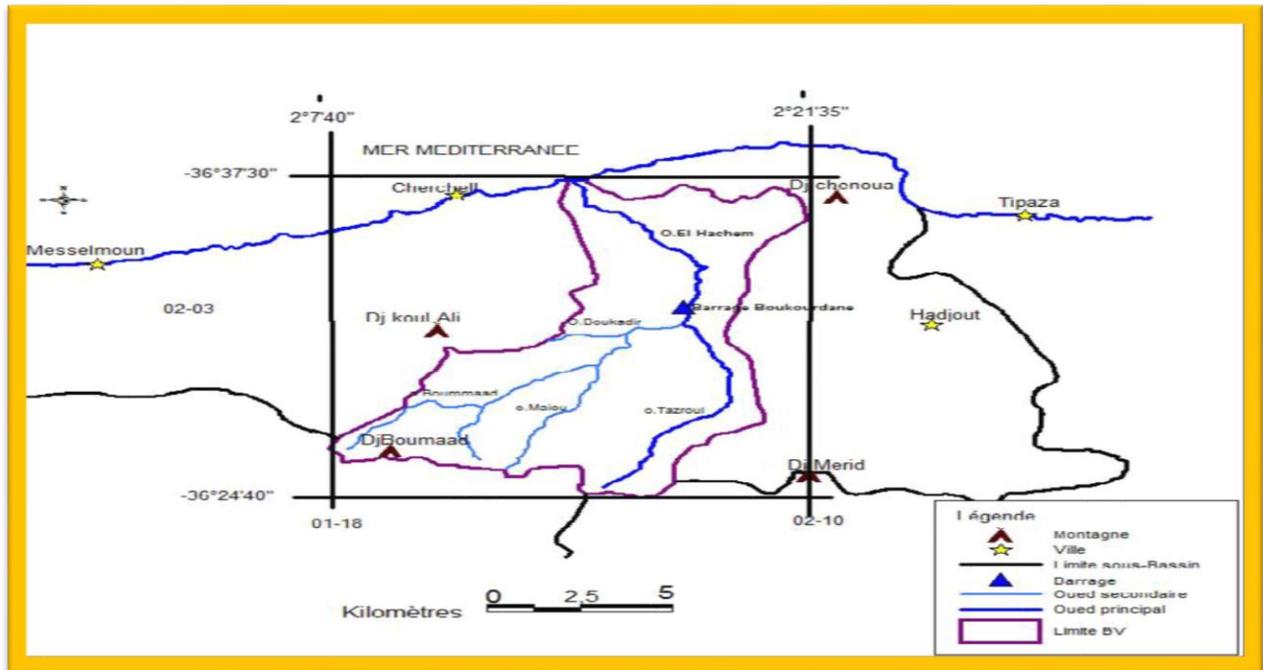
Introduction

Le réseau hydrographique de l'Algérie est drainé par plusieurs grands oueds répartis en dix-sept bassins versants du pays. Les ressources renouvelables en eaux superficielles totalisent environ 9,8 km³/an pour l'ensemble du pays dont le Sahara, le bassin le plus grand, ne renferme que 0.6 km³/an. Les ressources en eau souterraine renouvelables contenues dans les nappes du nord du pays sont estimées à près de 1.5 km³/an. Le bassin sur lequel se concentre notre travail est l'Oued El-Hachem (**Bousmaha Ahmed, 2020**). Dans cette partie, nous donnons un aperçu général sur la situation géographique de la zone d'étude, les caractéristiques générales du bassin versant, l'aspect climatologique et géomorphologique de la région et un aperçu sur la géologie et l'hydrogéologie de la zone d'étude.

II.1 Situation géographique de l'Oued El-Hachem

Le bassin versant de l'Oued El-Hachem est situé dans la wilaya (division administrative) de Tipasa au Nord de l'Algérie, fait partie de l'Atlas tellien-littoral (**Figure II.1**). Comme le montre la figure 1, ce dernier prend naissance suite à la confluence des quatre principaux affluents : l'Oued Boukadir en provenance de l'Ouest, l'oued Tegdza en provenance du Sud et les Oueds Nachef et Fedjena venant de l'Est (**Fareh, 2006**). La vallée de l'Oued El-Hachem est située dans le sous bassin versant du Côtier Cherchell (0203), appartenant au bassin versant du Côtiers Algérois (02a), dans la wilaya de Tipaza. Il est limité, au Nord par la mer méditerranéenne, à l'Est par le djebel Chenoua, à l'ouest par le djebel Chem. Beida, et Cap Blanc et au Sud par les collines de Menacer.

L'altitude du bassin versant de l'Oued El-Hachem varie entre 100 et 1 417 m avec une moyenne de 387 m. La densité de drainage est de 3,10 km.km⁻², la longueur de son talweg principal est de 34 km (**Nassima Tadrict, 2013**).



Les pentes supérieures à 35 % occupent une superficie de 78,68 km² de l'amont du bassin versant, tandis que les pentes entre 6 et 35 % occupent une superficie de 68,51 km² des zones collinaires de la partie centrale du bassin versant. Les faibles pentes, de 0 à 6 %, se localisent principalement dans la vallée et occupent une superficie de 10,87 km² dans la partie aval du bassin versant (Nassima Tadrist, 2013).

II.2 Caractéristiques géomorphologiques

La variation des paramètres physiques et géomorphologiques au sein d'un bassin versant influe sur son comportement hydrologique. Le bassin versant de l'Oued El-Hachem dont le code est 02-03, occupe une superficie de 230,5 Km² et un périmètre de 85Km. Il présente une forme rectangulaire allongée d'orientation Sud -Nord, suggérant à priori le ruissellement des eaux superficielles aux dépens de l'infiltration, ceci est montré visiblement par la valeur de K_c et les dimensions du rectangle équivalent (L, l). Les altitudes extrêmes du bassin versant sont comprises entre 0 m à l'embouchure et 1417m sur les bordures Sud-Ouest du Djebel Boumâad et l'altitude moyenne du bassin versant est de 410 (Fareh, 2006).

II.2.1 Forme du bassin versant

La forme du bassin joue un rôle important sur les modalités des écoulements superficiels. Un bassin allongé ne réagira pas de la même manière qu'un bassin ramassé. En effet le temps de concentration des eaux sera plus long dans le cas du bassin allongé car la distance entre le point le plus éloigné et l'exutoire est plus important, ce qui favorise l'infiltration aux dépens du ruissellement (Roche, 1963). La forme du bassin est caractérisée par l'indice de compacité de Gravélius (K_c) défini par la formule suivante :

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{3,14 \times A}} = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Où,

P : Périmètre du bassin versant (Km) ;

A : Surface du bassin versant (Km²), d'où :

$$K_c = 0,28 \times \frac{85}{\sqrt{290,5}} = 1,57$$

Chapitre II Caractérisation du la zone d'étude

La valeur de K_c permet de conclure que le bassin versant de l'Oued El-Hachem présente une forme allongée, indiquant plus le ruissellement des eaux superficielles que l'infiltration.

II.2.2 Rectangle équivalent

La méthode consiste à déterminer les dimensions d'un bassin fictif de forme rectangulaire ayant même superficie, même périmètre et même indice de compacité que ceux du bassin versant initial. Les dimensions du rectangle équivalent (longueur et largeur) sont :

$$L = \frac{K_c \sqrt{A}}{1,12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K_c} \right)^2} \right] = 36,17 \text{ Km}$$

et

$$l = \frac{K_c \sqrt{A}}{1,12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K_c} \right)^2} \right] = 6,38 \text{ Km}$$

Avec,

A : Surface du bassin versant en Km^2 ;

K_c : Indice de compacité de Gravélius ;

L : Longueur du rectangle en Km ;

l : Largeur du rectangle en Km.

On constate que la largeur du rectangle équivalent est approximativement quatre fois plus petite que la longueur, indiquant ainsi une pente moyenne. Les caractéristiques du bassin versant de l'Oued El-Hachem sont portées dans le tableau II,1,

Tableau II.1 Caractéristiques géomorphologiques du bassin versant de l'Oued El-Hachem (ANRH Blida, 2004)

PARAMETRES GEOMORPHOLOGIQUES	VALEURS
Altitude maximum (m)	1417
Altitude minimum (m)	0
Altitude de fréquence 50 % (m)	420
Altitude moyenne (m)	410
Surface (Km ²)	230,5
Périmètre (Km)	85
Longueur du rectangle équivalent (Km)	36,17
Largeur du rectangle équivalent (Km)	6,38
Indice de compacité (K _c)	1,57
Indice de pente globale (%)	2,43
Densité de drainage (Dd) (Km/Km ²)	3,42
Coefficient de torrentialité (1/ Km ³)	25,48
Longueur (Km)	34

II.3 Couvert végétal

La végétation joue un rôle essentiel dans la protection du sol. Elle exerce une protection mécanique directe sur l'écoulement fluviale, en diminuant la force vive des eaux et en favorisant leur infiltration. Cette résistance à l'écoulement est d'autant plus grande que le couvert végétal est plus dense. Elle fournit une quantité appréciable d'humus qui joue le rôle de ciment et maintient la structure en grumeaux. Les formations végétales protègent donc le sol, mais n'empêchent pas totalement contre l'érosion. Elle est toujours très faible. L'absence du couvert végétal dans certaines zones a favorisé un ruissellement violent ce qui se répercute négativement sur l'apparition de l'érosion (**Haoues, 2007**).

Le couvert végétal de la région de l'Oued El-Hachem (voir **figure II,2**) est dominé par des forêts constituées de chêne liège (*Quercus suber*), de chêne vert (*Quercus ilex*), pins (*Pinus sp.*), cyprès (*Cupressus sp.*), genévriers (*Juniperus sp.*), peupliers (*Populus sp.*), de formations arbustives et de maquis. Dans les zones agricoles, on rencontre des terrains en friche ou labourés, des parcelles de céréales, de pomme de terre, du maraichage, de l'arboriculture fruitière, des oliviers et des vignes (**Fareh, 2006**).

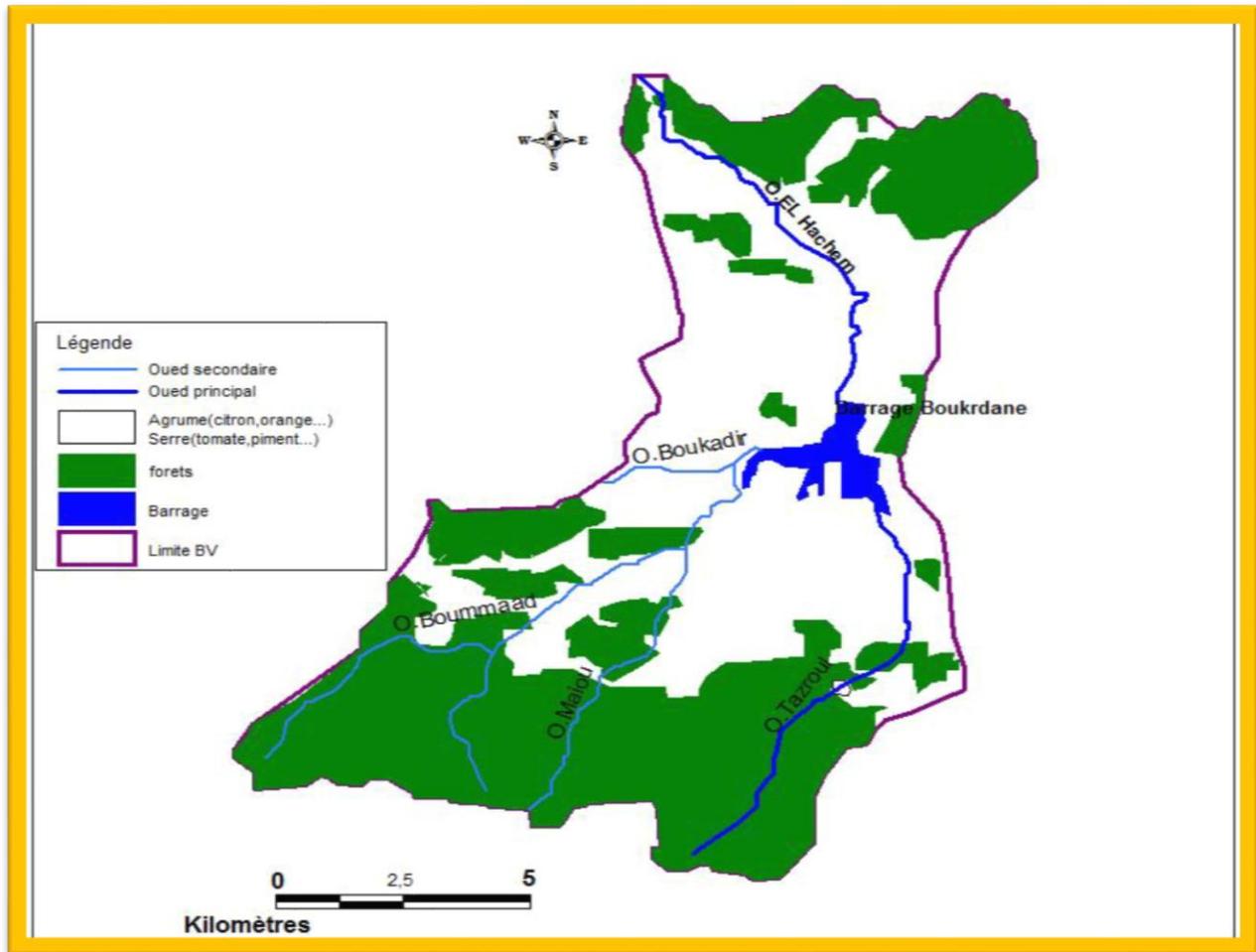


Figure II.2 Couvert végétal du bassin versant de l'Oued El-Hachem (Fareh, 2006, modifié).

II.4 Hydrographie

L'Oued El-Hachem est issu à l'amont de Sidi-Amar de la conjonction de deux Oueds : l'Oued Fadjana de direction Nord-Sud et l'Oued Boukadir de direction Ouest-Est en provenance de Menacer. Le réseau hydrographique du bassin versant de l'Oued El-Hachem (**figure II.3**) est particulièrement dense à l'amont comme le confirme la valeur de la densité de drainage $D_d = 3,42$ Km/Km² présentant une longueur de 34 Km .Le bassin versant très limité de l'Oued Fadjana ne fournit pas d'apport pérenne. Seul le bassin versant de l'Oued El-Hachem, amputé des bassins versants des Oueds Fadjana et Boukadir possède quelques influences sur les débits d'étiages. La lithologie du versant rive droite de l'Oued El Hachem est formé par des marnes et d'un flysch, donc de terrains imperméables (**Fareh, 2006**).

Le versant rive gauche est constitué par des calcaires profondément entaillés par les Oueds Malou et Boummaad recueillant les eaux de ruissellement de Djebel Tabarande. Ces calcaires peuvent cependant former un réservoir important susceptible d'alimenter les alluvions de la plaine de l'Oued El-Hachem et assurant un débit pérenne au seuil de Bordj-Ghobrini (**Fareh, 2006**).

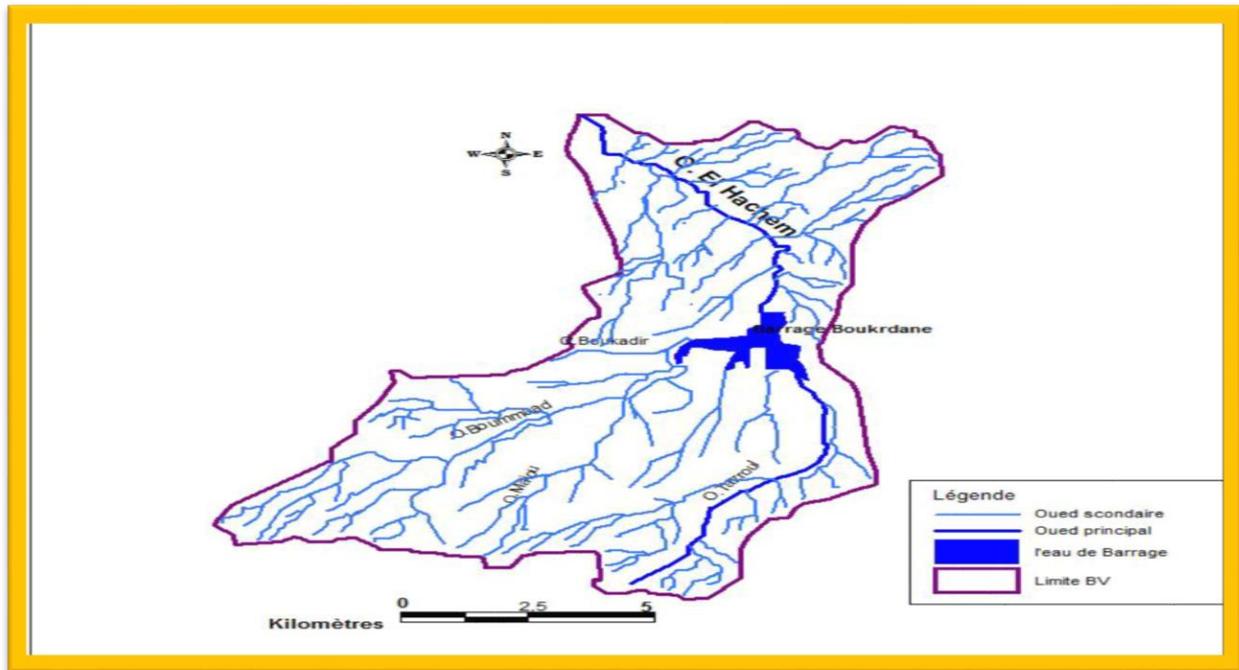


Figure II.3 Réseau hydrographique du bassin versant de l'Oued El-Hachem (Fareh, 2006 : modifié).

II.5 Cadre géologique

Selon **L. GLANGEAUD (1932)**, la région de Cherchell appartient au Tell septentrional domaine interne des maghrébines, qui déterminent plusieurs régions naturelles correspondant à des zones stratigraphiques et tectoniques différenciées à la suite des plissements nummulitiques. On distingue du Nord au Sud, la terminaison de la zone des massifs anciens des Kabylie (Chenoua), la zone du flysch albo-aptien qui sépare la région des massifs primaires du pays crétacé, le pays crétacé, le Néogène transgressif, la terrasse de 15 à 20 m et les vallées larges, à fond plats, remblayées par des alluvions récentes des Oueds côtiers.

II.5.1 Description lithostratigraphique de la région d'étude

Une description lithostratigraphique du bassin versant de l'Oued El-hachem est présentée dans la figure II,4 qui a été réalisée par Glangeaud en 1932.

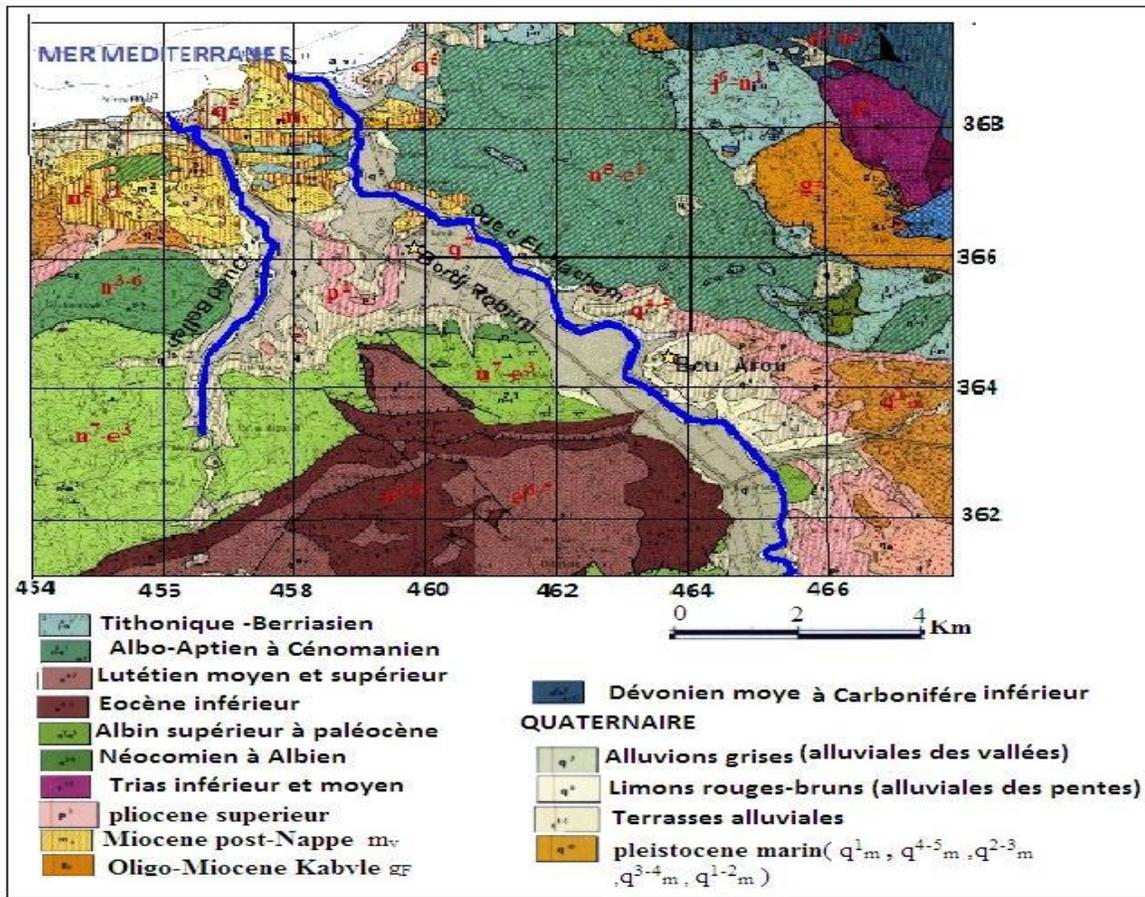


Figure II.4 Carte géologique du bassin versant de l'Oued El-Hachem (extrait de la carte géo 1/50.000 Cherchell) (Fareh, 2006 modifié).

La lithostratigraphie du bassin versant de l'Oued El-Hachem (figure II,5) fait apparaître les formations primaires, telles que les roches cristallophylliennes, elles sont constituées par des grès micacés, des marnes et des poudingues, elles sont attribuées au Permien par Ficher.

Les Formations secondaires, parmi le trias, il est représenté par des brèches dolomitiques et gypseuses, ce complexe triasique présent deux faciès différents, cargneules, dolomies jaunes formant un ensemble de faible épaisseur dans le Chenoua et les gypses, cargneules, dolomies moins fétides, argiles arrisées et brèche mylonitique gypseuse avec des roches exogènes. Dans le bassin de Menacer, le Trias est formé de gypse, de marnes bariolées et de fragments de roches éruptives. Les jurassiques (J) sont présentés par des calcaires massifs du Lias qui courent le Chenoua.

Ils présentent dans leur partie supérieure quelques gros bancs bien stratifiés et à leur base des brèches plus au moins dolomitiques.

Dans la partie inférieure on rencontre des calcaires compacts et des calcaires en petits bancs n'offrant qu'un petit affleurement dans la région de Cherchell d'âge Lias supérieur.

Dans le bassin de Menacer, le lias affleure dans le massif du Zaccar formé par des Lambeaux de calcaires.

Le crétacé (C) débute dans le bassin de Menacer par le néocomien, représenté par des schistes durs très siliceux avec quelques bancs de quartzites, atteignant 1000 m d'épaisseur dans le massif de Boumâad, le barrémien, représenté par des schistes et des calcaires avec quelques lames de quartzites et l'aptien, présentant deux niveaux : la partie inférieure avec des marnes et calcaires en bancs et la partie supérieure avec des calcaires. Au niveau de la région de Cherchell, le Crétacé débute par : albien, vraconien, cénonanien, sénonien.

Chapitre II Caractérisation du la zone d'étude

Parmi les formations tertiaires, on trouve dans la région d'étude, l'éocène, l'oligocène, le miocène et le pliocène (inférieur et supérieur).

Comme, on trouve les formations quaternaires, représentées par des faciès marins et alluviaux déposés au fond des vallées larges à fond plats et de plusieurs terrasses souvent de petites dimensions.

Chapitre II Caractérisation de la zone d'étude

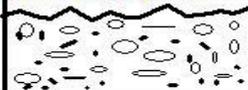
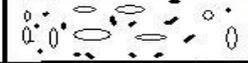
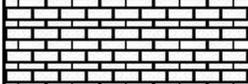
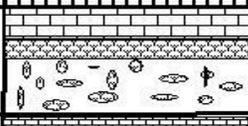
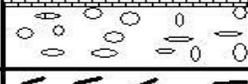
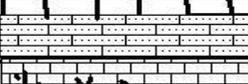
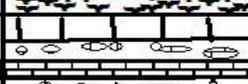
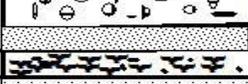
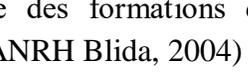
Ere	Système	Etage et sous etage	Log lithostratigraphique	Lithologie	Caractéristique hydrogéologique
Quaternaire	Quaternaire	Quaternaire (q,m,qm)		plage actuelle Terrasses marines Terrasses Alluviales	permeable
		Pliocène	pliocène-sup (villafranchien) pa		cailloutis cone de jection
Cénozoïque	Pliocène		pliocène-inf (pa);(pb)		marnes sableuses molasses sable :grès ;argiles sableuses et molasses
		Miocène	vindobonien		couches à lignites marnes grises
	burdigalien			marnes poudingues et calcaires grès marnes poudingues rouges	impermeables à perméables
	Oligocènes	Oligocènes		grès micacés marnes à plantes	impermeables à perméables
	Eocènes	Luteriens		poudings rouges calcaires bechiques	perméables
Mésozoïque	Crétacé-sup	Sénoniens c c		marnes et calcaires calcaires calescbistes et brèches marnes micro-brèches et poudingues lentilles de calcaires	impermeables
			Crétacé-moyen	Cénomaniens C	
	Albien			quartzites à inter lits de marnes calcaires et schistes schistes et quartzites	impermeables à peu perméables
	Aptien			calcaires marnes et calcaires en banc	impermeables
	Barrémien			schistes et calcaires avec lames de quartzites	perméables à peu perméables
	Crétacé-inf	Néocomien		schistes siliceux et bancs de quartzites	peu perméables
	Jurassique	Lias I		calcaires à gros bancs brèches dolomitiques calcaires compactes	permeables en grand
	Paleozoïque	Primaire	Trias		brèches dolomitiques et gypseuses calcaires compactes
Permien				schistes avec quartzites grés micacés marnes et poudingues rouges	peu perméables perméables à impermeables

Figure II.5 Log stratigraphique des formations de la vallée d'Oued El-Hachem et leur caractéristique hydrogéologique (ANRH Blida, 2004)

II.6 Aperçu hydrogéologique

Le cours d'eau d'Oued El-Hachem est formé par des dépôts alluvionnaires. L'aquifère d'alluvions est d'une superficie de 13,1 km², la nappe est libre entre Bouaroua et Sidi Amar et captive au Nord. Les alluvions de cet aquifère sont formées de la base au sommet par les argiles rouges, les galets et graviers de 5 à 20 m constituent le réservoir aquifère et l'argile et le sable, avec intercalation de quelques lits de graviers. Le substratum est formé en majorité par des marnes du Crétacé, et de calcaire Eocène (**Chapman, 1996**).

II.7 Aperçu géophysique

L'étude géophysique de la **C.G.G. de 1966**, réalisée dans la vallée de l'Oued El-Hachem, met en évidence l'existence de plusieurs terrains électriquement distincts (**C.G.G, 1966**) :

II,7,1 Coupe 1, la coupe géophysique réalisée dans la partie amont de la nappe de l'Oued El-Hachem, qui comporte le sondage étalon SE 41 (**figure II,6**), montre les niveaux suivants :un substratum pliocène d'une résistivité de 10 à 25 ohm.m est d'une vitesse sismique de 2300 à 2600 m/s, un niveau de résistivité de 50 à 100 ohm.m et des vitesses sismiques de 1200 à 1800 m/s, indiquant un milieu aquifère et un niveau supérieur de faible épaisseur.

II.7.2 Coupe 2, l'examen de la coupe géophysique réalisée dans la partie aval captive de la nappe de l'Oued El Hachem, montre les niveaux suivants (**Figure II,6**) : un substratum pliocène d'une résistivité de 3 ohm.m, un niveau grossier de résistivité de 50 à 60 ohm.m et de 3 à 14 m d'épaisseur, représente le réservoir aquifère et un niveau supérieur de résistivité qui varie de 5 à 10 ohm.m indiquant un matériel plus fin d'une épaisseur de 17 m, avec des passages grossiers vers le centre de la plaine.

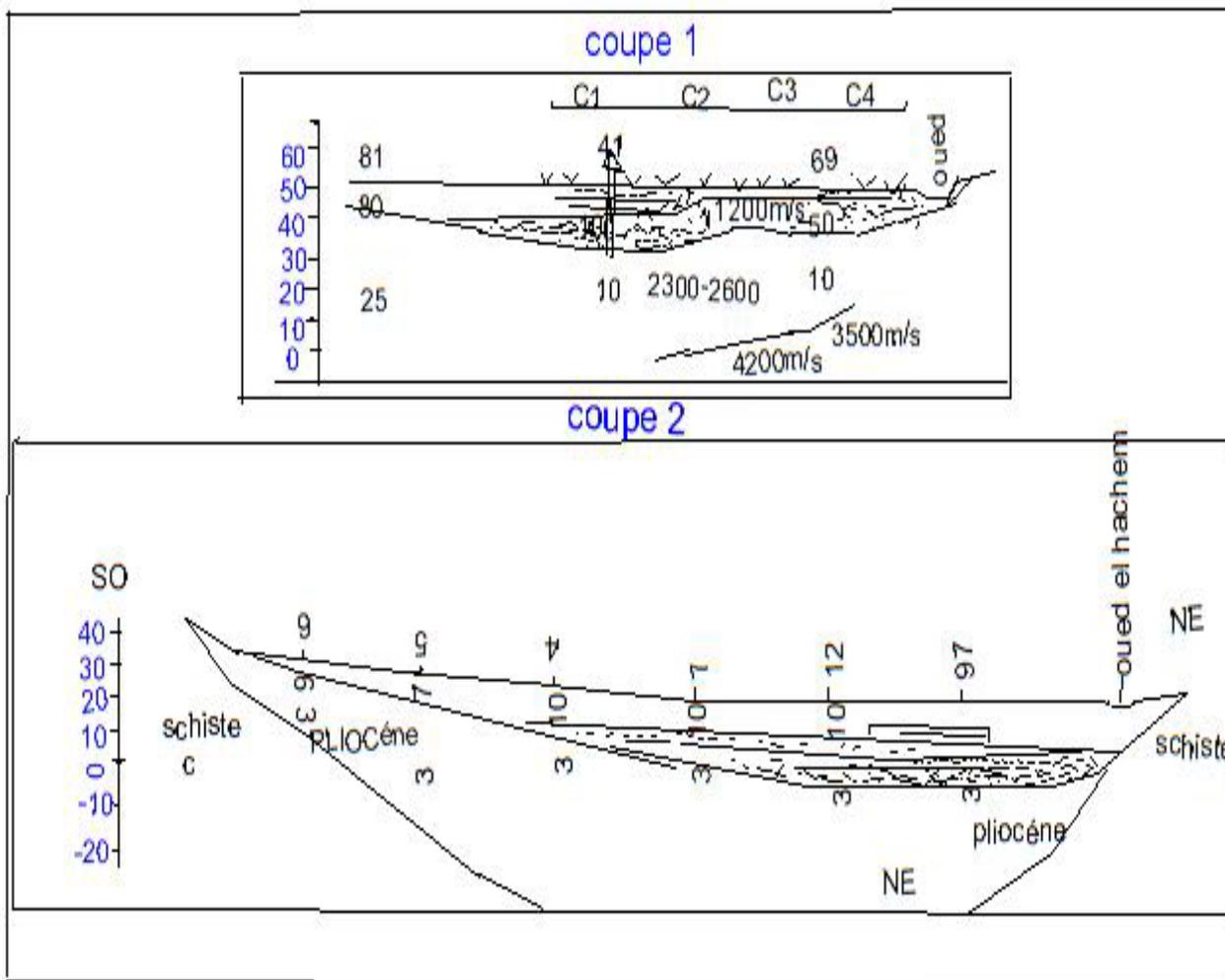


Figure II.6 Coupes géophysiques (C.G.G, 1966)

II.8 Pédologie

L'étude pédologique du bassin versant de l'Oued El-Hachem est réalisée sur 1624 ha, concerne six classes de sols : les sols minéraux d'érosion inaptes à toute mise en valeur (pente forte) situé en bordure de la plaine côtière et les sols peu évolués alluviaux de texture fine à dominance du groupe brunifié. Ces sols présentent une structure polyédrique subanguleuse moyenne nette, devenant anguleuse. En profondeur la structure devient cubique avec souvent de nombreuses faces de glissement (caractère verticale). Les vertisols de texture fine à très fine de structure polyédrique à grumeleuse en surface et cubique avec des phases de glissement bien développées en profondeur. Il se trouve bien concentrée dans la région de Menacer dans la basse vallée et dont on distingue les vertisols à drainage externe nul à réduit dans les zones sub-plane et les vertisols à drainage externe possible dans les zones à pente faible (**Fareh 2006**). Parmi les sols, on trouve :

- Les sols calcimagnésiques, sont les plus importants du point de vue superficielle. Ils se présentent sous deux formes : les sols bruns calcaires de texture fine à très fine et les sols bruns calciques. Ce sont des sols décarbonatés en surface, ont des caractères morphologiques semblables aux sols bruns calcaires modaux d'une épaisseur.
- Les sols fersiallitique, leur superficie est très limitée et ils sont caractérisés par une accumulation d'argile dans les horizons à moyenne profondeur.
- Les sols hydromorphes, situés dans la plaine alluviale de l'Oued El Hachem, dans d'anciens bras de l'Oued. Ce sont soit des sols à Gley (nappe subpermanente) soit des sols à pseudogley (nappe saisonnière). Ils sont de texture fine, de couleur grisâtre et/ou bariolée.

Les principaux types de sols identifiés dans le bassin versant de l'oued El-Hachem sont de types Leptosol lithique, Régosol calcaire et Cambisol (WRB). Le diagramme des textures américain montre une prédominance des granulométries très fine et fine qui correspondent aux textures argileuse à limoneuse, sur l'ensemble des 70 profils réalisés sur la zone d'étude dont 16 ont fait l'objet d'analyses en laboratoire. Le taux d'argile varie de 12,6 à 46 %. Les sols de type Leptosol lithique occupent les sommets des montagnes sur une superficie de 207 ha. Sur les glacis, les sols de type Calcisol sont caractérisés par la présence d'une croute calcaire à moins de 30 cm de profondeur. Les Calcisols occupent une superficie de 1977 ha. Ils sont présents dans la plaine et sont caractérisés par la présence d'un encrouement calcaire à différentes profondeurs. Les Régosols sont des sols caillouteux peu profonds et faiblement structurés. Ils sont présents près des sommets des montagnes, les zones de pentes fortes et occupent une surface de 3 522 ha. Les Cambisols couvrent une surface de 6 250 ha. Ils sont localisés sur les collines et basses collines. Ce sont des sols moyennement profonds assez riches en argile, mais présentant une structure faiblement évoluée surtout en profondeur, ainsi que des cailloux et colluvions (**Fareh 2006**).

Le **tableau II,2** reprend les principales caractéristiques des sols rencontrés sur le bassin versant. Les différentes formations géologiques fréquemment rencontrées sur la zone d'étude sont des roches sédimentaires très érodables, à l'origine de la grande sensibilité des sols de la région vis-à-vis du processus d'érosion. Il s'agit là essentiellement de schistes, marnes tendres et schisteuses et de calcaires.

Tableau II.2 Principales caractéristiques d'un profil type de chaque sol présent dans le bassin versant (ANRH 2004).

Type de sol	Teneur en argile (%)	Teneur en limon (%)	Teneur en sable (%)	Densité apparente (kg-dm ⁻³)	Matière organique (%)
Leptosol lithique					
Effectif	8	8	8	8	8
Moyenne	39	47	12	1,5	1,22
Écart-type	5,86	5,67	3,52	0,18	0,12
Régosol calcaire					
Effectif	5	5	5	5	5
Moyenne	28	40	31	1,43	1,14
Écart-type	3,75	3,56	3,85	0,23	0,08
Cambisol					
Effectif	3	3	3	3	3
Moyenne	43	45	13	1,76	2,57
Écart-type	4,22	3,85	4,11	0,15	0,18

II.9 Aperçu climatique

On signale, que le poste pluviométrique de Bellah est plus proche de la zoné d'étude. Le climat du bassin versant de l'oued El-Hachem est de type semi-aride, humide et froid en hiver et sec et chaud en été. Les mois les plus pluvieux sont novembre (85 mm) et décembre (89 mm). Le bassin reçoit entre 300 et 700 mm de pluie par an avec une moyenne inter-annuelle de 519 mm pour une période allant de 1974/1975 à 2006/2007 (Elahcene, 2013).

CHAPITRE III

CONCENTRATIONS DES SEDIMENTS

EN SUSPENSION ET DEBITS LIQUIDES

DANS LE BASSIN VERSANT DE

L'OUED EL-HACHEM



INTRODUCTION

Les premières mesures systématiques et standardisées de transport solide en suspension ont débuté en Algérie en 1946 à la station hydrométrique de la Traille qui contrôle le haut bassin de l'oued Isser (**Demmak, 1982**), La recherche de modèles reliant les paramètres hydroclimatiques (précipitations, écoulements et/ou transport de matériaux solides) a fait l'objet de nombreuses études **Wailling D, E, et al, (1981), Demmak A, (1982), Megnounif A, et al, (2007), Katlan Z, et al, (1987), Probst J, L, et al, (1992), Terfous A, et al, (1999, 2001, 2003), Ghenim A, (2007), Elahcene et al, (2009, 2013, 2021), ... etc**, L'objectif de ces auteurs est d'expliquer les phénomènes de l'écoulement et du transport solide et de mettre en évidence des relations susceptibles d'être appliquées à des régions ou des bassins versants où les mesures sont rares ou inexistantes,

Il est admis aujourd'hui que les fluctuations climatiques sont des phénomènes quasi-cycliques (**Kayzer N, et al, 1990 ; Tardy Y., 1994**), En effet, du siècle écoulé, le climat du monde a changé, La pluviosité sur les continents, le débit des cours d'eau, la température ont augmenté dans plusieurs régions du monde et diminuer dans d'autre (**Tardy Y, et al., 1992 et 1995**), Les caractéristiques morphométriques des bassins changent aussi au cours des années, on sait par exemple, que le couvert végétal se développe et se conserve ou non en fonction de la pluviosité, Tous ces paramètres font que 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),

III.1 RELATION DES CONCENTRATIONS DES SEDIMENTS EN SUSPENSION ET DES DEBITS LIQUIDES

La mobilisation des matériaux solides sur les versants et leur transport éventuel par les cours d'eau, représente 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 par le débit liquide moyen Q_L durant une période de temps donné: $Q_s = C \times Q_L$, Depuis longtemps, on a essayé de corrélérer les concentrations des sédiments en suspension aux débits liquides et de déterminer une relation qui permettait d'estimer les premiers à partir les seconds.

III. 1.1 DONNEES ET METHODOLOGIE

A la station hydrométrique de Bordj Ghobrini, nous disposons une série de mesure de 681 valeurs de hauteurs d'eau (H en cm), de débits liquides (Q_L en m^3/s) et de concentrations en matières en suspension (C en g/L) ont sélectionnées pour l'établissement du rapport entre le la concentration et le débit liquide, Ces données et utilisées pour la quantification du transport solide ont été analysées en vue d'en déterminer leurs fiabilité et validité c'est-à-dire une fois mesurées, les concentrations en MES sont corrélées aux débits liquides journaliers,

Les débits liquides sont obtenus de deux façons: sur la base de la courbe de tarage à partir des hauteurs d'eau lues sur une échelle limnimétrique d'une part, et par dépouillement des hauteurs d'eau enregistrées par un limnigraphe à flotteur, d'autre part,

La concentration est obtenue d'après le protocole suivant :

A chaque lecture de hauteur d'eau, on prélève un échantillon d'eau, chargée, sur la rive à la surface de l'oued au moyen d'un flacon de 50 cl, Les sédiments filtrés sur papier-filtre sont ensuite séchés à l'étuve pendant 30 min à une température de 105°C, Ramenée à l'unité de volume (1 litre), cette charge est attribuée à la concentration en suspension instantanée véhiculée par le cours d'eau en g/l, La cadence de prise des mesures varie selon l'ampleur de l'événement, En période de crue,

Les prises sont intensifiées jusqu'à des intervalles de temps d'une heure ou même de 30 min en fonction de la vitesse de l'augmentation des débits liquides, En période d'écoulement normal ou en période d'étiage, on se contente d'une prise quotidienne effectuée généralement à midi,

Le débit solide en suspension est alors calculé par la relation: $Q_s = C \times Q_L$ où Q_s représente le débit solide (en kg/s), C la concentration des sédiments en suspension (en g/l) et Q_L le débit liquide journalier (en m³/s), La relation entre les deux paramètres (C et Q_L) durant les crues est étudiée de manière qualitative, Le rapport C/Q_L a été soumis à des relations linéaire, logarithmique, polynomiale, puissance et exponentielle, Ils sont nécessaires à étudier pour quantifier le transport solide en suspension, Généralement, les meilleurs résultats sont obtenus par une équation de type: $C = a \times Q_L^b$ (Etchanchu et al., 1986 ; Walling et al., 1981 ; Wood P,A,, 1977) avec a et b: coefficients empiriques, La relation entre les concentrations et les débits liquides est illustrée dans les figures : **III.1, III.2, III.3, III.4 et III.5,**

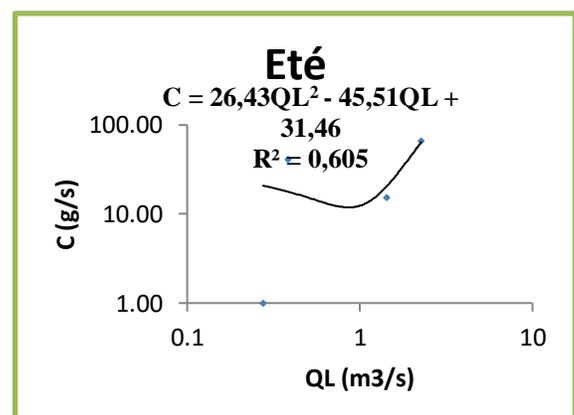
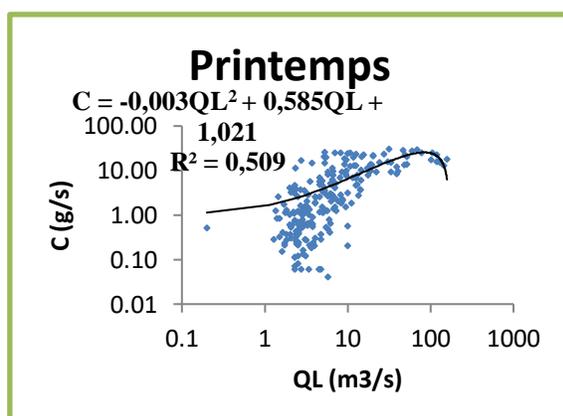
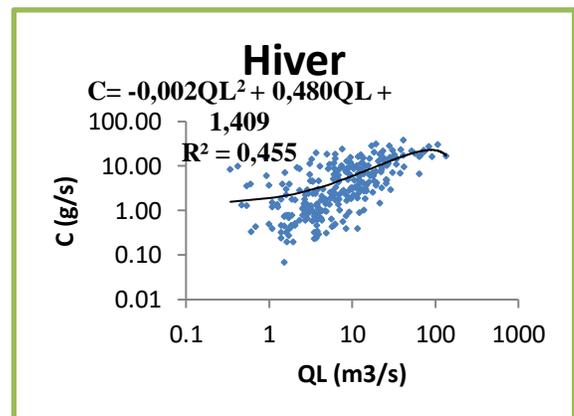
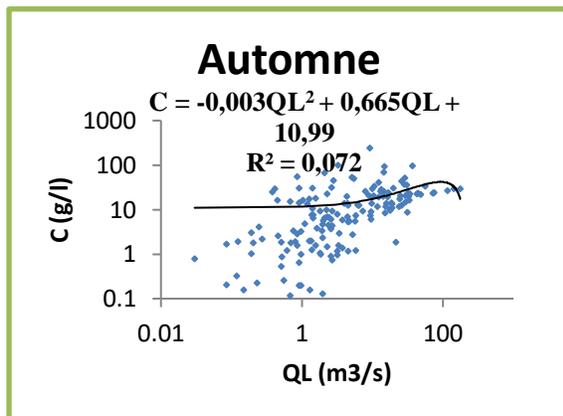
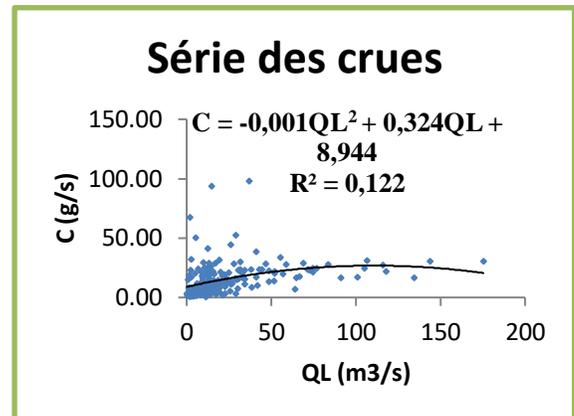
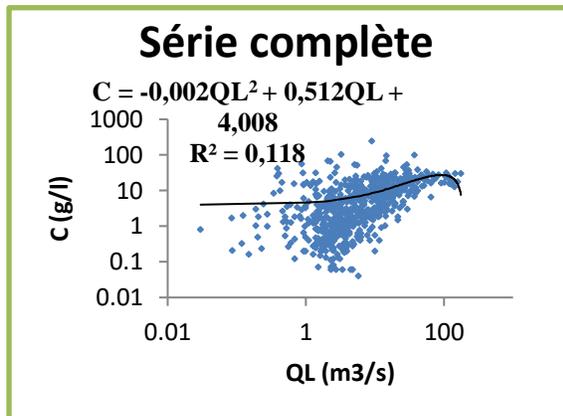


figure III.1 Relations concentrations-débits liquides par le modèle polynomial dans le bassin versant de l'Oued El-Hachem, Tipaza (1974-1988),

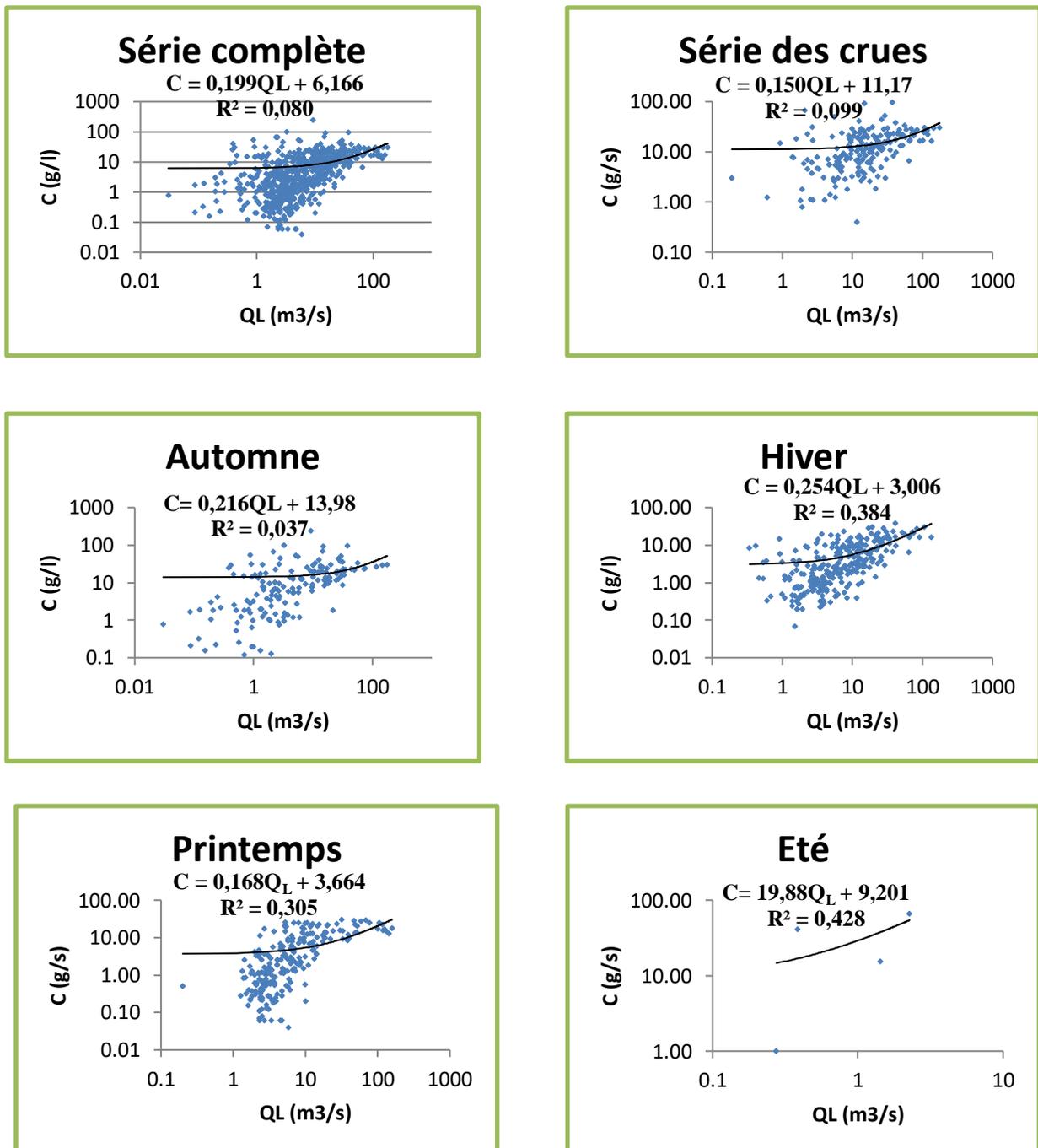


figure III,2 Relations concentrations-débits liquides par le modèle linéaire dans le bassin versant de l'Oued El-Hachem, Tipaza (1974-1988),

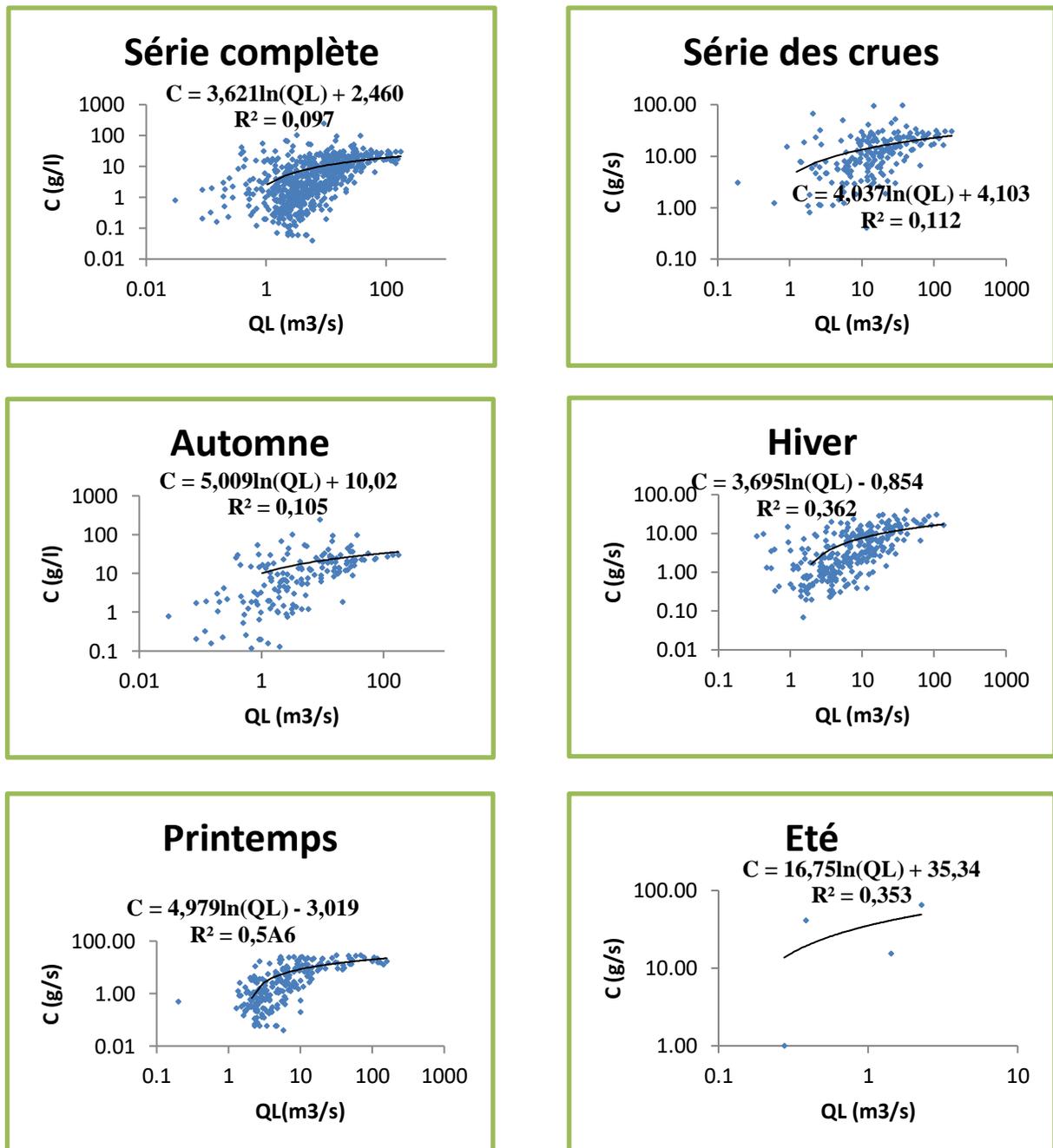


figure III,3 Relations concentrations-débits liquides par le modèle logarithmique dans le bassin versant de l'Oued El-Hachem, Tipaza (1974-1988),

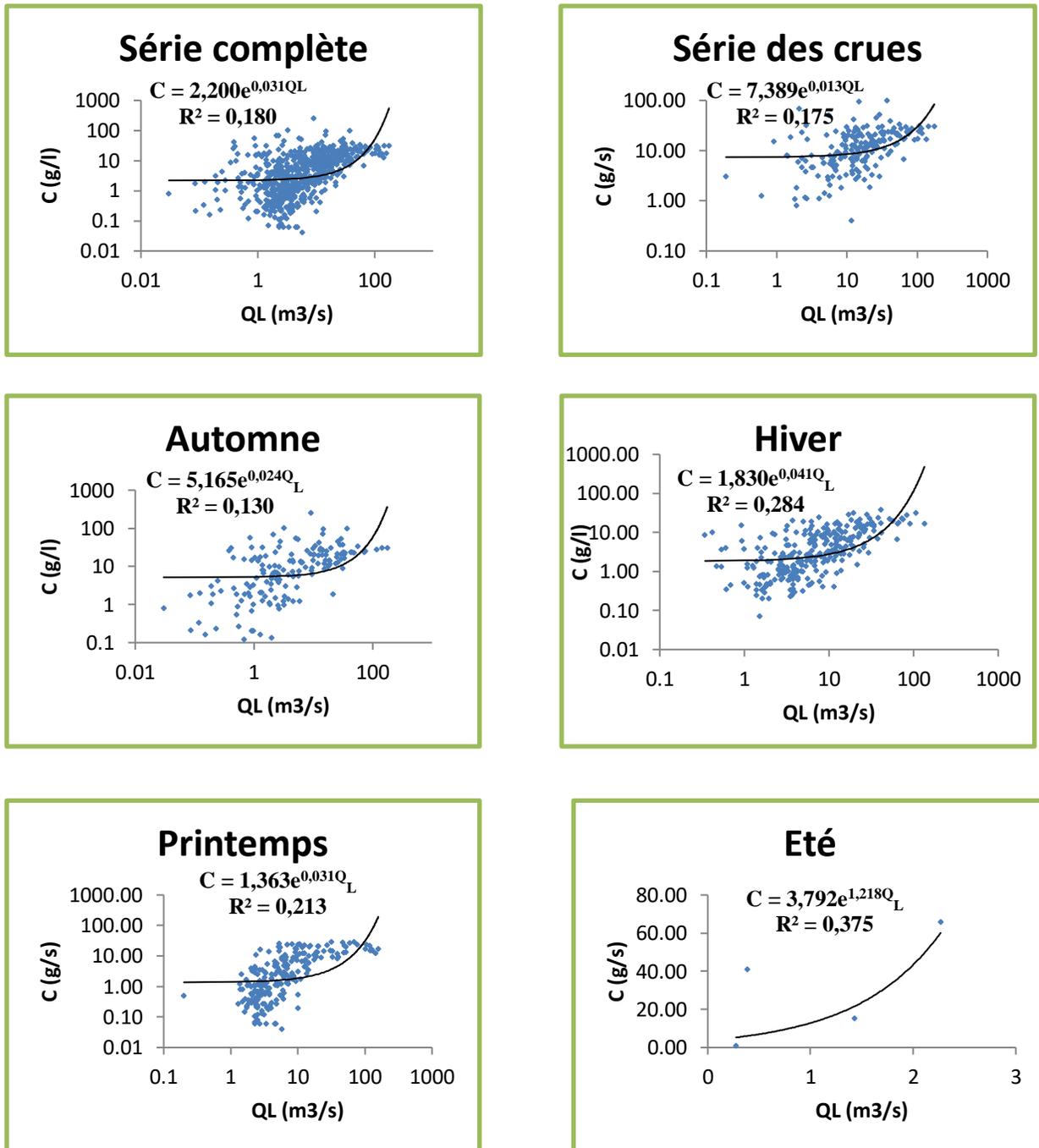


figure III,4 Relations concentrations-débits liquides par le modèle exponentiel dans le bassin versant de l'Oued El-Hachem, Tipaza (1974-1988),

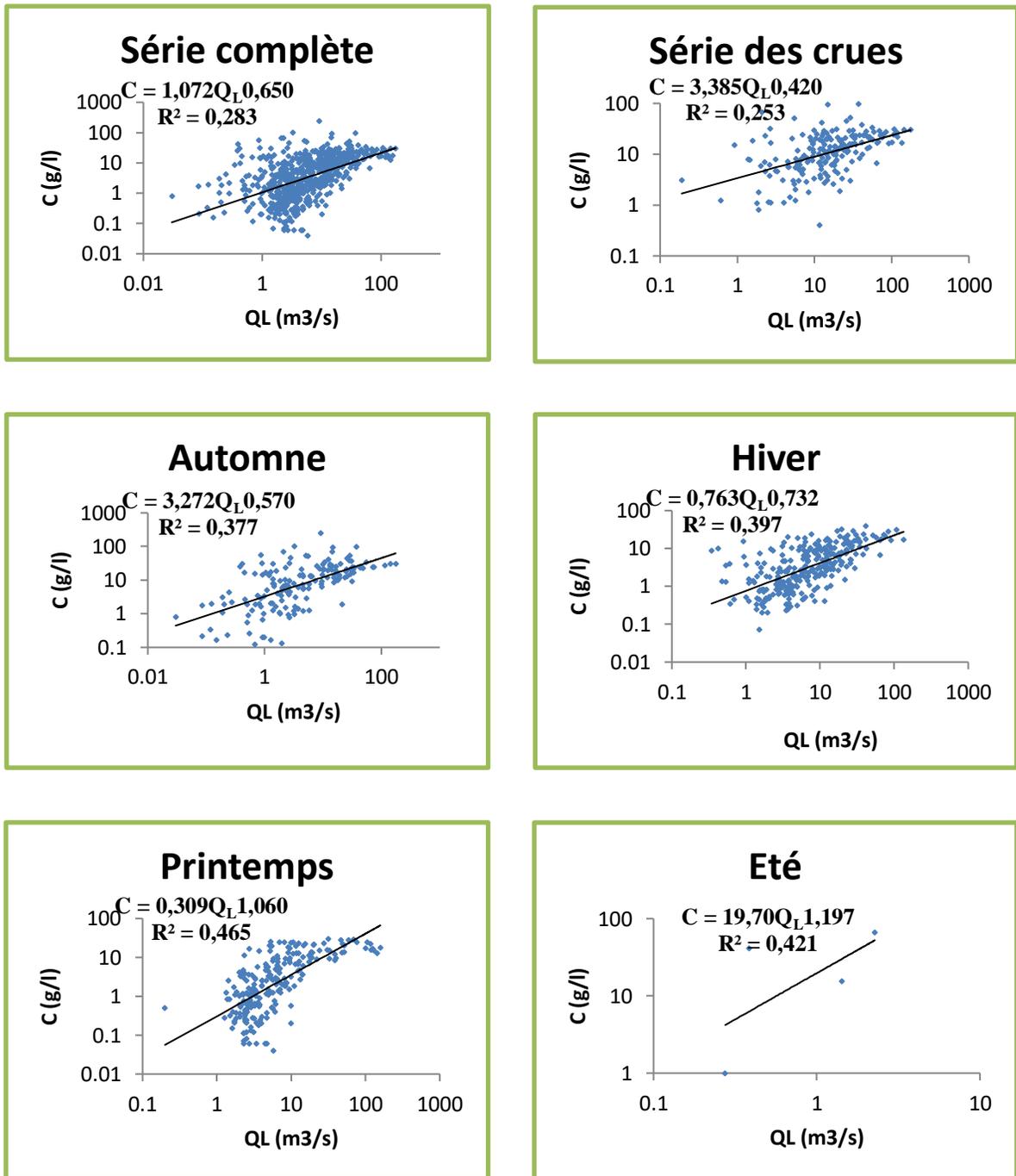


figure III,5 Relations concentrations-débits liquides par le modèle puissance dans le bassin versant de l'Oued El-Hachem, Tipaza (1974-1988),

III, 1, 2 ANALYSE DES RESULTATS

La mise en graphe des données de concentration des sédiments en suspension et du débit liquide dans le bassin versant de l'Oued El-Hachem pour la période 1974-1988 montre une dispersion considérable, L'ensemble de relations obtenues est donné dans le **tableau III,1**,

Tableau III,1 Relations concentration-débit liquide pour chaque échelle de temps de 1974 à 1988,

Echelle	Type de relation	Relations obtenues	Coefficient de corrélation (R)	Coefficient de détermination (R ²)
Série complète	Exponentiel	$C = 2,2075 \times e^{0,0315 \times Q_L}$	0,42	0,18
	Linéaire	$C = 0,1996 \times Q_L + 6,1745$	0,28	0,0806
	Polynomial	$C = -0,0028 \times Q_L^2 + 0,511 \times Q_L + 4,0268$	0,34	0,1184
	Logarithmique	$C = 3,621 \ln(Q_L) + 2,460$	0,31	0,097
	Puissance	$C = 1,072 \times Q_L^{0,650}$	0,53	0,283
	Exponentiel	$C = 5,1939 e^{0,0242 \times Q_L}$	0,36	0,1291
Automne	Linéaire	$C = 0,2174 \times Q_L + 13,954$	0,20	0,038
	Polynomial	$C = -0,0036 Q_L^2 + 0,666 Q_L + 10,987$	0,27	0,0724
	Logarithmique	$C = 5,009 \ln(Q_L) + 10,02$	0,32	0,105

Hiver	Puissance	$C = 3,272Q_L^{0,570}$	0,61	0,377
	Exponentiel	$C = 1,8303e^{0,0415QL}$	0,53	0,284
	Linéaire	$C = 0,2548Q_L + 3,0068$	0,62	0,3845
	Polynomial	$C = -0,0027Q_L^2 + 0,4809Q_L + 1,4097$	0,68	0,4557
	Logarithmique	$C = 3,6955\ln(Q_L) - 0,8549$	0,60	0,3627
	Printemps	Puissance	$C = 0,7632Q_L^{0,7322}$	0,55
Exponentiel		$C = 1,3634e^{0,0313QL}$	0,46	0,2134
Linéaire		$C = 0,1688Q_L + 3,6649$	0,55	0,3055
Polynomial		$C = -0,0035Q_L^2 + 0,5859Q_L + 1,021$	0,71	0,5099
Logarithmique		$C = 4,9791\ln(Q_L) - 3,0193$	0,71	0,5063
Eté		Puissance	$C = 0,3097Q_L^{1,0606}$	0,68
	Exponentiel	$C = 3,7929e^{1,2184QL}$	0,61	0,3755
	Linéaire	$C = 19,881Q_L + 9,2017$	0,65	0,4285
	Polynomial	$C = 26,431Q_L^2 - 45,51Q_L + 31,466$	0,78	0,6053
	Logarithmique	$C = 16,756\ln(Q_L) + 35,34$	0,59	0,3531
	Série des crues	Puissance	$C = 19,701Q_L^{1,1979}$	0,65
Exponentiel		$C = 7,389e^{0,013QL}$	0,42	0,175
Linéaire		$C = 0,150Q_L + 11,17$	0,31	0,099

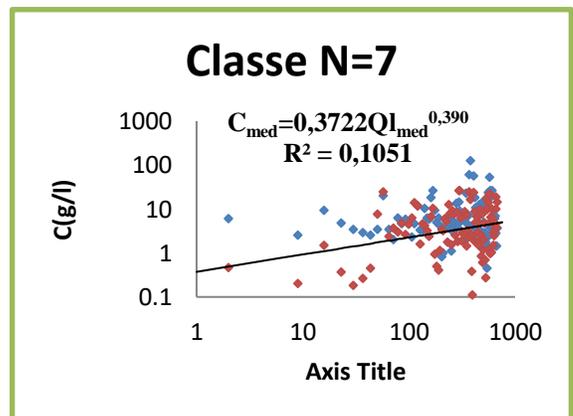
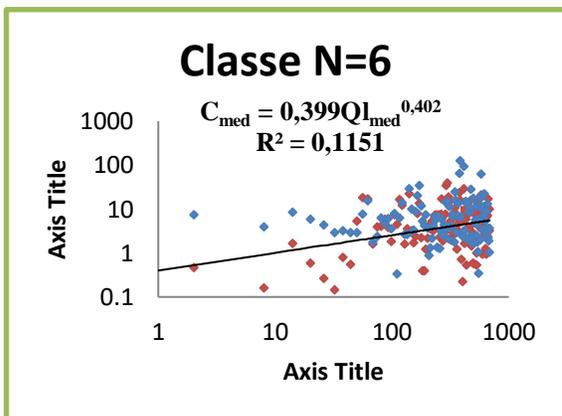
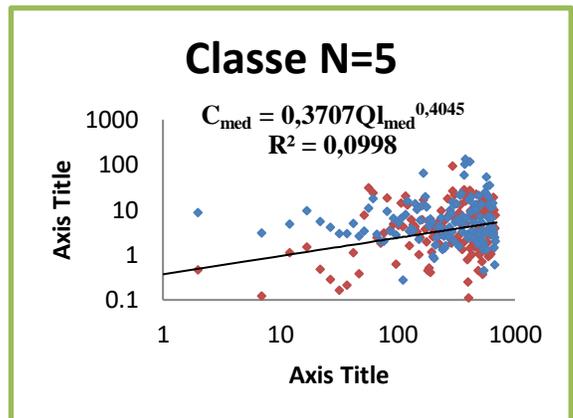
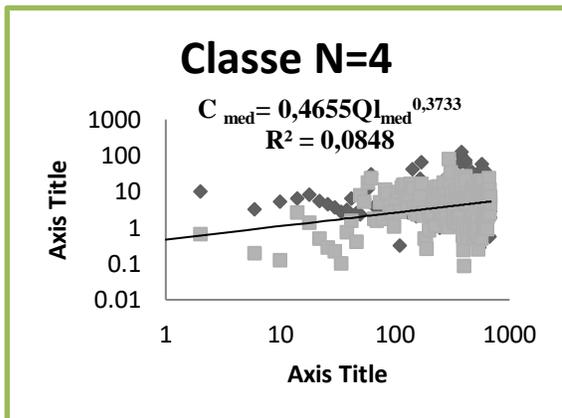
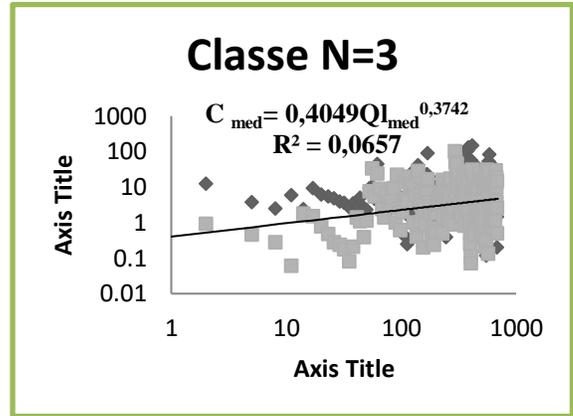
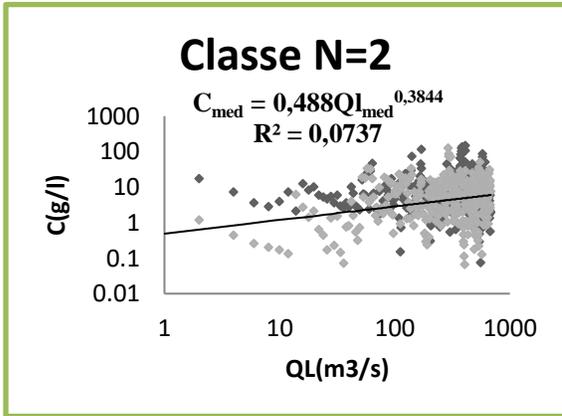
Polynomial	$C = -0,001Q_L^2 + 0,324Q_L + 8,944$	0,35	0,122
Logarithmique	$C = 4,037\ln(Q_L) + 4,103$	0,33	0,112
Puissance	$C = 3,385Q_L^{0,420}$	0,50	0,253

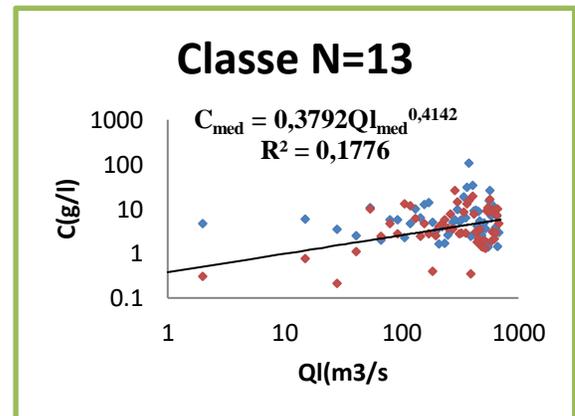
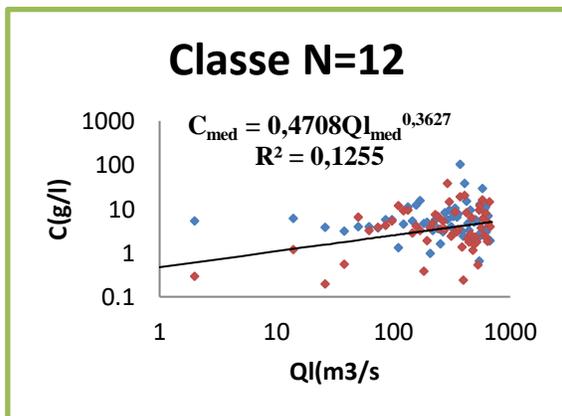
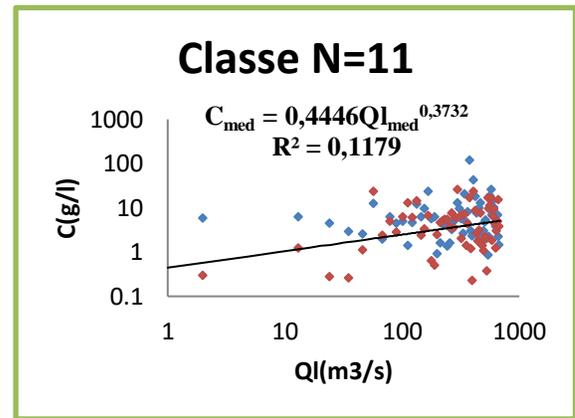
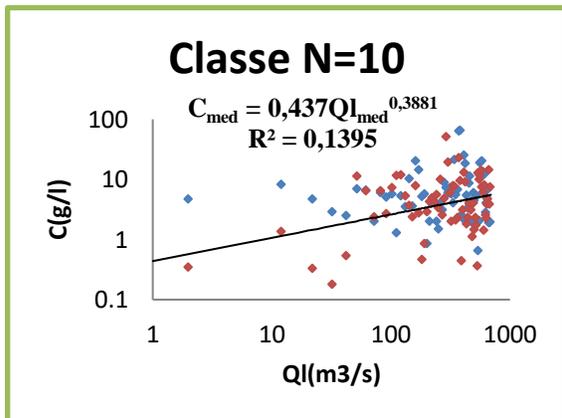
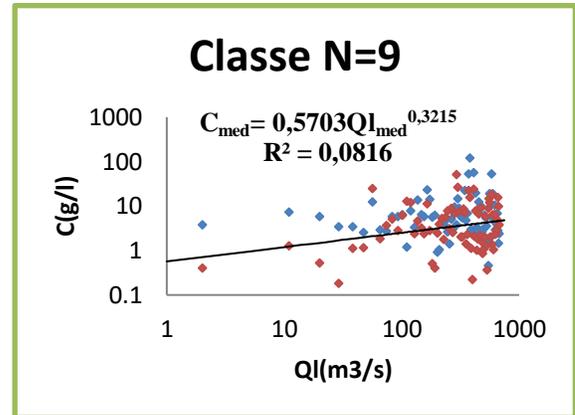
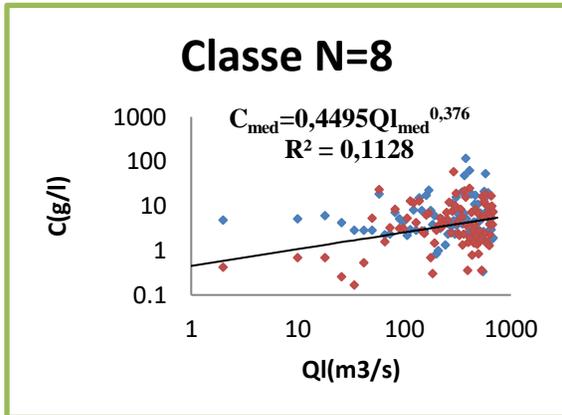
D'après le **tableau III.1**, on voit clairement qu'il y a des coefficients de corrélation qui sont acceptables, à titre exemple pour la saison du printemps et pour le modèle polynomial et logarithmique, ce coefficient vaut 71% en revanche il vaut 20% pour la saison automne et pour le modèle linéaire c'est-à-dire que ces relations ne sont pas respectées et ainsi la mesure de la concentration n'est pas fiable c'est-à-dire n'est plus représentatif, cela signifierait que la mesure des deux paramètres en période de basses eaux est difficile dans ce bassin, contrairement à ce que l'on pense et que dans ce cas, elles sont fortement entachées d'erreurs. La relation entre la concentration des sédiments en suspension et le débit liquide est obscurcie par les entrées soudaines de sédiments produites par les pluies occasionnelles dans des périodes plus sèches et par les premiers éclats. L'expression premiers éclats est typiquement appliqué aux écoulements d'averses qui se produisent au début de la saison des pluies après une longue période d'étiage, A ce moment là, les concentrations des sédiments en suspension sont plus élevées que celles mesurées à des débits identiques plus tard dans la saison des pluies, Irrégulièrement, des concentrations élevées à des débits faibles sont également mesurées pendant les pluies sporadiques tardivement au printemps et en été.

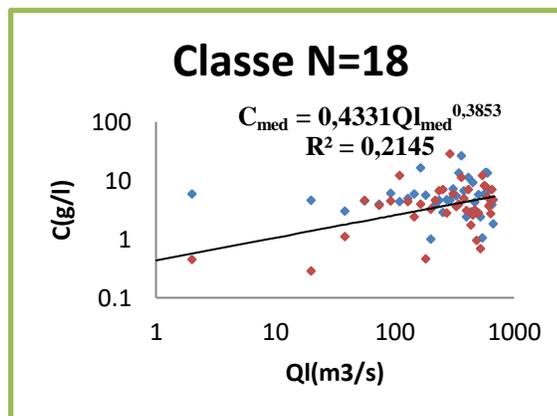
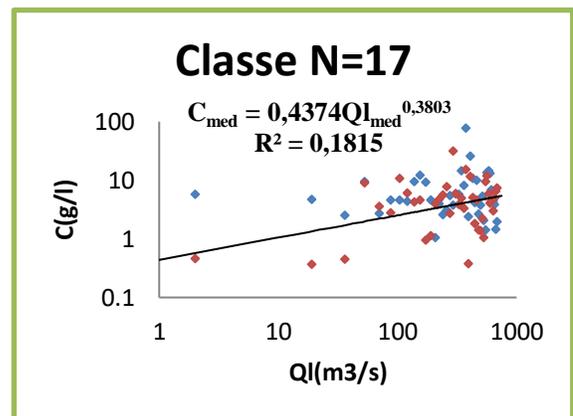
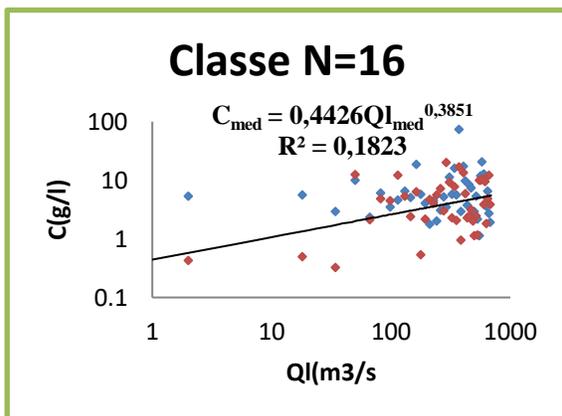
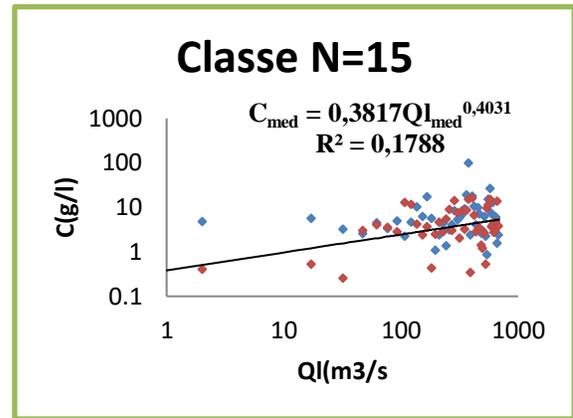
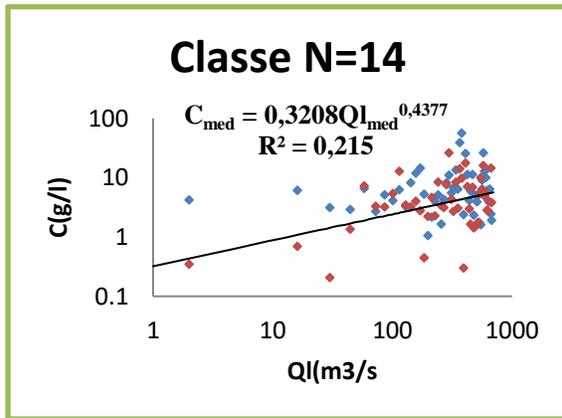
D'après nos connaissances, on sait qu'il existe une relation entre la concentration des sédiments en suspension et le débit liquide, Et, il faut la prouver?

Pour cela, et après nos recherches, on a regroupé les débits par classes suivant les mois et l'année, et calculons la concentration médiane de chaque classe. On trace les graphiques

$C_{\text{méd}} = f(Q_{L\text{méd}})$, Les résultats sont illustrés dans la **figure III,6**.







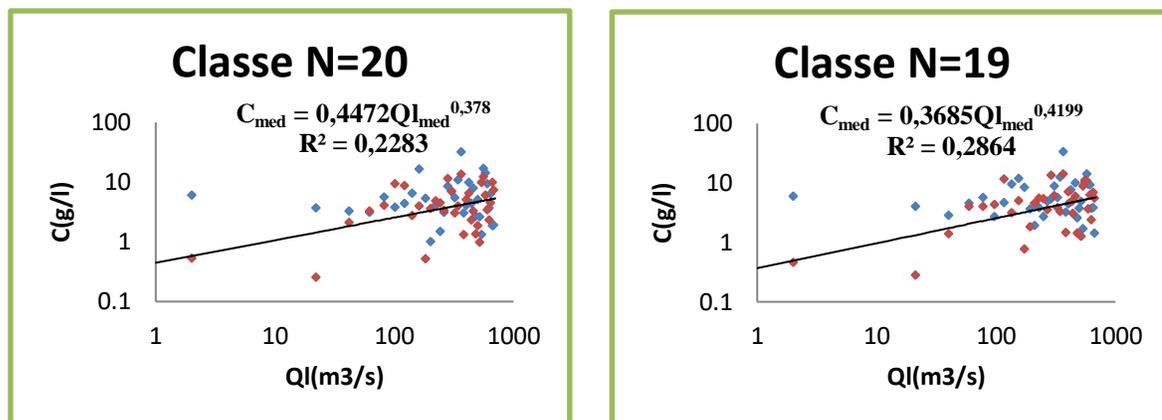


figure III,6 Relations concentrations en fonction des débits liquides par regroupement en classes pour le modèle puissance (N=2 à N=20) dans le bassin versant de l'Oued El-Hachem, Tipaza (1974-1988)

Et, l'ensemble de relations obtenues est donné dans le **tableau III.2.**

CHAPITRE III CONCENTRATIONS DES SEDIMENTS EN SUSPENSION ET DEBITS LIQUIDES DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUED EL-HACHEM

Tableau III .2 Relations concentration-débit liquide par regroupement en classes pour chaque échelle de temps de 1974 à 1988

Classes	Type de relation	Relation obtenue	Coefficient de corrélation (R)	Coefficient de détermination (R ²)
N = 2		$C_{med} = 0,488Q_{lmed}^{0,3844}$	0,2714	0,0737
N = 3		$C_{med} = 0,4049Q_{lmed}^{0,3742}$	0,2563	0,0657
N = 4		$C_{med} = 0,4655Q_{lmed}^{0,3733}$	0,291	0,0848
N = 5		$C_{med} = 0,3707Q_{lmed}^{0,4045}$	0,316	0,0998
N = 6		$C_{med} = 0,399Q_{lmed}^{0,402}$	0,339	0,1151
N = 7		$C_{med} = 0,3722Q_{lmed}^{0,3909}$	0,324	0,1051
N = 8	Puissance	$C_{med} = 0,4495Q_{lmed}^{0,3767}$	0,336	0,1128
N = 9		$C_{med} = 0,5703Q_{lmed}^{0,3215}$	0,286	0,0816
N = 10		$C_{med} = 0,437Q_{lmed}^{0,3881}$	0,373	0,1395
N = 11		$C_{med} = 0,4446Q_{lmed}^{0,3732}$	0,343	0,1179
N = 12		$C_{med} = 0,4708Q_{lmed}^{0,3627}$	0,354	0,1255
N = 13		$C_{med} = 0,3792Q_{lmed}^{0,4142}$	0,421	0,1776
N = 14		$C_{med} = 0,3208Q_{lmed}^{0,4377}$	0,463	0,215

N = 15	$C_{med} = 0,3817Q_{lmed}^{0,4031}$	0,423	0,1788
N = 16	$C_{med} = 0,4426Q_{lmed}^{0,3851}$	0,427	0,1823
N = 17	$C_{med} = 0,4374Q_{lmed}^{0,3803}$	0,426	0,1815
N = 18	$C_{med} = 0,4331Q_{lmed}^{0,3853}$	0,463	0,2145
N = 19	$C_{med} = 0,3685Q_{lmed}^{0,4199}$	0,5351	0,2864
N = 20	$C_{med} = 0,4472Q_{lmed}^{0,378}$	0,4778	0,2283

On remarque que les coefficients de corrélation ne sont pas acceptables lorsqu'on regroupe les débits par classe et on calcule la concentration médiane. On peut conclure que la méthode appliquée n'est pas valable pour ce bassin. On notera cependant que la relation n'est valable que pour le cours d'eau sur lequel elle a été établie et sur la gamme des débits liquides sur laquelle les mesures ont été effectuées. On retiendra également que bien que significative, les relations sont parfois difficilement applicables aux débits les plus élevés.

III. 2 RELATION DES DEBITS SOLIDES EN FONCTION DES DEBITS LIQUIDES

Corréler les débits solides aux débits liquides c'est pour déterminer une relation qui permettait d'estimer les premiers à partir des seconds.

III. 2. 1 DONNEES ET METHODOLOGIE

L'étude est réalisée à partir des données collectées au niveau du bassin versant de l'Oued Bordj Ghobrini (1974-1988). L'utilisation du programme **A.N.R.H.** «Concentre/Bashyd», nous a permis d'obtenir le débit solide en kg/s, pour chaque hauteur prélevée sur la base des matières en suspension observées, par la relation suivante: $Q_s = C \times Q_L$.

Pour ce travail, on a utilisé un fichier comportant la date, l'heure, la hauteur d'eau en cm, le débit liquide en m³/s, la concentration en matière en suspension en g/L et le débit solide en kg/s de chacun des prélèvements effectués. 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 hydropluviométrique du bassin. Le résultat obtenus (**figure III,7**) montre qu'il existe une relation étroite entre le débit solide et le débit liquide caractérisant l'Oued El-Hachem. Cette relation est représentée par une loi en puissance de la forme $Q_s = a \times Q_L^b$.

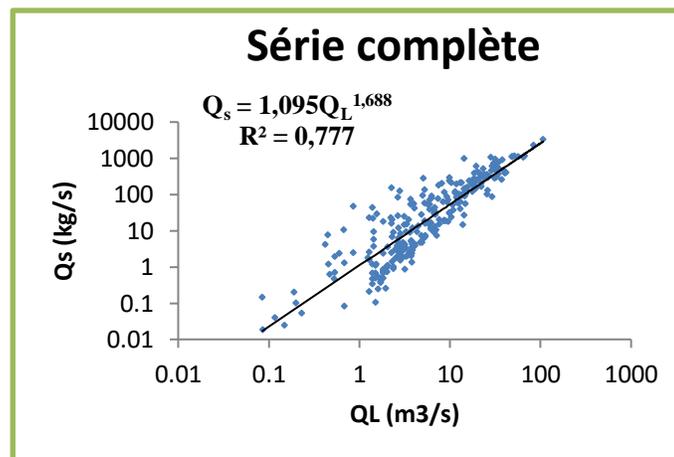


figure III,7 Relation débits solides-débits liquides dans le bassin versant de l'Oued El-Hachem, Tipaza (1974-1988).

III. 2.2 ANALYSE DES RESULTATS

Les résultats obtenus montrent qu'il existe une bonne corrélation entre ces deux grandeurs représentant la dynamique sédimentaire de l'oued El-Hachem. Ceci, peut s'expliquer par l'effectivité de la relation en puissance, c'est-à-dire que le débit solide est lié au débit liquide par la relation $Q_s = C \times Q_L$. On peut conclure que, la relation débit solide-débit liquide est respectée et elle permet de quantifier et évaluer le transport solide en suspension dans l'Oued El-Hachem.

CONCLUSION



CONCLUSION

CONCLUSION

Ce travail de recherche se voulait comme outil de base pour une approche qualitative du transport solide en suspension dont l'intérêt est de constituer une base de données fiable susceptible de servir à l'étude de ce genre d'étude.

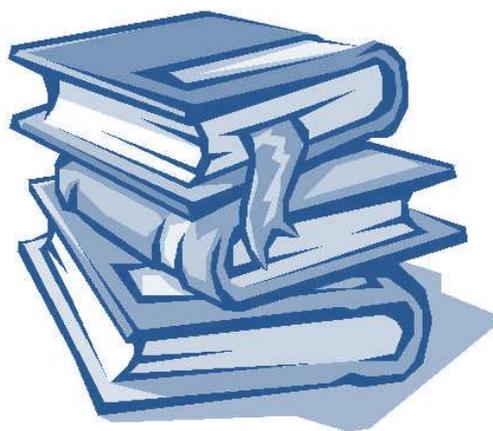
L'objectif de l'étude est de trouver une corrélation entre les grandeurs du transport solide [concentrations des sédiments en suspension C (g/L) et débits liquides Q_L (m^3/s)]. Le travail est basé sur les données observées durant une période allant de 1974 à 1988. Il a été conduit sur le bassin versant de l'Oued El-Hachem (station hydrométrique : Bordj Ghobrini).

Nous concluons, à l'issue de travail, que :

- Dans la majorité des cas, il y a une mauvaise corrélation entre les concentrations des sédiments en suspension (g/l) et les débits liquides (m^3/s). Cela signifierait que la mesure des deux paramètres en période de basses eaux est difficile dans ce bassin, contrairement à ce que l'on pense et que dans ce cas, elles sont fortement entachées d'erreurs. Cette technique reste toujours limitée car elle ne permet pas une mesure intégrale de la concentration en tout point de la section de mesure ;
- Les coefficients de corrélation sont acceptables parfois et la concentration en matières en suspension croit suivant la forme $C = a \times Q_L^b$;
- Une relation, très significative, met en rapport le débit solide et le débit liquide. Elle est de la forme : $Q_s = 1,095 \times Q_L^{1,688}$ avec $R^2 = 0,777$ et sur la base de cette relation, nous pouvons quantifier le transport solide en suspension.

REFERENCES

BIBLIOGRAPHIQUES



REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

A.N.R.H (2004), Annuaire hydrogéologique de la nappe alluviale de l'Oued El Hachem

Abir D et Oumellal, 2014, Cartographie des risques d'érosion et évaluation du transport solide du bassin versant haut et moyen Cheliff. Mémoire, Univ. Tizi ousou, Algérie, 102 p.

Al-Kaisi M., Hanna M., Licht M., (2009) , Soil Erosion and Water Quality. Resource Conservation Practies Agronomy 81, p 4.

Balasubramanian, February 2017, Soil Erosion – Causes and Effects By Prof. A. Balasubramanian Centre for Advanced Studies in Earth Science,University of ysore, Mysore

Ben Aicha Amar Cherif. , Mémoire de Magister en Hydraulique, **2011**, Etude des processus des transports solide et leur impact sur l'alluvionnement des barrages.

Ben Khaled A et Rimini B, 2003a. , "Analyse de la relation de Puissance : débit solide – débit liquide à l'échelle du bassin versant de l'oued Wahrane (Algérie) ". Rev. Sci. Eau 16/3(2003) 333-356.

Benkhaled et Remini, 2003)b. , Variabilité temporelle de la concentration en sédiments et phénomène d'hystérésis dans le bassin de l'Oued Wahrane (Algérie)". Hydrological Sciences Journal–des Sciences Hydrologiques, 48(2) avril 2003.

CGG 1966 , Rapport de prospection géophysique

Chapman, D. (1996), Water Quality Assessments: A Guide to the Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring. 2nd Edition, Chapman and Hall Ltd., London, 651.

DE MARTONNE.E (1950) , Traité de géographie physique-tome 1/3 notion générale :climat, hydro géographique, 8ème edition –paris, edition Armand colin .496p

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Demmak A, 1982 , Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides en Algérie septentrionale. Thèse de Doctorat, Univ. Pierre et Marie Curie, Paris, France, 323 p.

Difi Mohamed Lamine, Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention d'un diplôme de Master en Sciences Agronomiques, 2020. Etude des concentrations des sédiments en suspension en fonction des débits liquides dans un bassin semi-aride. Cas de l'Oued Zeddine, Ain Defla.

Dutil, P, 1984 , L'érosion en grande culture, revue technique des agriculteurs dynamique, N°169, France.

Elahcene et Remini ,2013), Etude du transport solide par charriage et en suspension dans le bassin versant de l'Oued Bellah (Tipaza).

Elahcene O, Remini B. 2009, Corrélation entre la concentration en matières en suspension et le débit liquide dans le bassin versant d'Oued Bellah (Algérie). European journal of scientific reseach

Elahcene O., Terfous A., Remini B., Ghenaim A et Poulet J.-B., 2013, Etude de la dynamique sédimentaire dans le bassin versant de l'Oued Bellah (Algérie). Hydrological Sciences Journal, 58-1, 1-13.

Elahcene, 2013, Etude du transport solide par charriage et en suspension dans le bassin versant de l'oued bellah (tipaza) doctorat en science agronomique école nationale supérieure agronomique el harrache (alger) . Faculté des Sciences et Techniques – Fès Master Sciences et Techniques

Etchanchu,D.,Probst,J.L.,1986, Érosion et transport de matières en suspension dans un bassin versant en région agricole. Méthode de mesure superficielle, de sa charge et de ses deux composantes du transport solide dans un cours d'eau. CR Acad Sci. Paris, 17, 1063-1067.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

FAREH.A (2006), Approche Méthodologique de la cartographie de la sensibilité des sols à l'érosion .cas du bassin versant de l'Oued El Hachem wilaya de Tipaza mémoire d'ingénieur institut national agromique. Alger .125 p.

Fournier, 1955 et 1960, Climat et érosion : La relation entre l'érosion du sol par l'eau et les précipitations atmosphériques.PUF, Paris, France.

Gavrilovic 1960 in BENAICHA A, 2010, Etude des processus des transports solide et leur impact sur l'alluvionnement des barrages. 116p.

Ghenim, A., Terfous, A., et Seddini, A., 2007, Etude du transport solide en suspension dans les régions semi-arides méditerranéenne: cas du bassin versant de l'Oued Sebdou (Nord-Ouest algériens). Sécheresse, 18 (1), 39–44.

Kattan Z., J.Y. Gac et J.L. Probst, 1987, Suspended sediment load and mechanical erosion in the Senegal basin, estimation of the runoff concentration and relative contributions of channel and slope erosion. J. Hydrol., 92, 59-76.

Megnounif A, et al, (2007), Megnounif, A., Terfous, A., Ghenaim, A. & Poulet, J. B., 2007, Key processes influencing erosion and sediment transport in a semi-arid Mediterranean area: the Upper Tafna catchment, Algeria. Hydrol. Sci. J. 52(6), 1271-1284.

Mohamed.,Haoues, (2007), Contribution à l'évaluation des performances de la sous-traitance sous contraintes de la maintenance et de la sureté de fonctionnement des systèmes de production complexes

Glangeaud Louis. (1932), Étude géologique de la région littorale de la province d'Alger. Français , 2e série.

Nassima., Tadrict, (2013), Le transport solide dans l'oued El-Hachem et ses effets sur la recharge de la nappe à partir des lachers du barrage de Boukourdane(Nord de l'Algerie).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Probst JL., Suchet A. (1992) : Fluvial suspended sediment transport and mechanical erosion in the Maghreb (North Africa). Hydrology Science Journal, 37, 621- 637.

ROCHE. M (1963) : Hydrologie de surface, Gauthier-Villars et ORTOM, Paris, France .150p

Roose E et De Noni G., 2004 : "Recherches sur l'érosion hydrique en Afrique ": revue et perspectives. Sécheresse 2004 ; 15 (1) : 121, p. 9.

Roose E., 1973 : "Dix-sept ans de mesures expérimentales de l'érosion et du ruissellement sur un sol ferrallitique sableux de Basse Côte d'Ivoire". ORSTOM, Abidjan, 12p. Thèse Doc. Ing. Fac. Sci. Abidjan, n° 20.

Roose E., 1984 : "Causes et facteurs de l'érosion hydrique sous climat tropical, conséquences pour les méthodes antiérosives". Machinisme Agric. Trop.87 : 4-18.

Sogreah 1967 : Etude générale des aires d'irrigation et d'assainissement agricole en Algérie .Dossier, Ministère de l'agriculture et de la réforme agraire, Algérie .

Terfous A., Bouanani A., Megnounif A. (1999) : Evaluation du transport solide dans le bassin de l'Isser (N-O Algérien), 2eme séminaire maghrébin sur l'eau. Tizi ouzou, 28-29 Juin 1999.

Terfous A., Megnounif A., Bouanani A., (2001) : Etude du transport solide en suspension dans l'oued Mouillah. Revue des sciences de l'eau, vol 14 n°2, pp 175-187.

THORNTHWAITE. C W(1948) : an approach toward a rational classification of climate.Geographical review, January. 55-94p.

Tixeront,J., (1960) : Débit solide des cours d'eau en Algérie et Tunisie .Tn : IAHS Publ . ,53 :26 -42.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Walling, D. E et Webb, D. W., 1981 : The reliability of suspended sediment load data. Erosion 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 loss.A guide to conservation planning.US Departement of agriculture. Handbook N°24 ,PP 219-231.

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