

UNIVERSITE SAAD DAHLAB DE BLIDA

Faculté des sciences de l'ingénieur

Département du Génie Rural

MEMOIRE DE MAGISTER

Spécialité : Génie Rural

**LE TRANSPORT SOLIDE DANS L'OUED EL- HACHEM ET
L'IMPACT DES LACHERS DU BARRAGE BOUKOURDANE SUR
L'HYDRAULIQUE DE L'OUED ET LA NAPPE**

Par

Nassima TADRIST

Devant le jury composé de :

L. ZELLA	Maître de Conférences ,U de Blida	Président
H.SAAD	Maître de Conférences , U de Chlef	Examineur
M. MEDDI	Maître de conférences ,C.U.K Miliana	Examineur
M. BESSENASSE	Chargé de Cours , U de Blida	Examineur
B. REMINI	Professeur , U. de Blida	Rapporteur

Blida , juillet 2004

ملخص

نظرا لمشكل إنجراف التربة و توحد السدود في الجزائر و التي تصل إلى حجم كبير قمنا بإجراء دراسة حول نقل مواد الصلبة من المواد العالقة و المواد المتقلة في واد الهاشم قبل و بعد إنشاء سد بوكوردان و ذلك للإبراز مدى خطورة هذه الظاهرة على إنفاص حجم المياه المستوعبة في هذا السد و على حالة جريان الواد بعد السد .

النتائج المحصل عليها تظهر أن نقل المواد الصلبة في واد الهاشم ضعيفة نسبياً و من ثم فإن سرعة الترسيب بطيئة على مستوى السد. وهذا يؤثر على كمية المواد الصلبة المصرفة عبر المواد السفلى للسد حيث أنها تبرز ضعيفة جداً وهذه الأخيرة ليس لها تأثير على إنسداد مسامات تربة الواد وقد أظهرت الدراسة التي أجريت حول إعادة ملئ المياه الجوفية على مستوى الجهة السفلى للسد على صحة النتائج المتحصل عليها.

الكلمات الأساسية : الجزائر , إنجراف , السد , واد الهاشم , نقل المواد الصلبة و العالقة , إعادة ملئ المياه الجوفية .

RESUME

Vu le problème de l'érosion hydrique et l'envasement des retenues des barrages en Algérie qui atteint des volumes élevés, nous avons entamé l'étude du transport solide (en suspension et par charriage) dans l'oued El-Hachem avant et après la réalisation du barrage de Boukourdane afin de mettre en évidence la gravité de ce processus sur la réduction du réservoir du barrage et sur l'hydraulique de l'oued à l'aval de l'ouvrage.

Les résultats obtenus, montrent que le transport solide dans l'oued El-Hachem est relativement faible ; par conséquent la vitesse de sédimentation est lente dans la retenue. Cela se répercute sur la concentration dans les lâchers d'eau qui opèrent périodiquement par la vanne de fond du barrage qui devient très faible. Cette dernière n'a pas donc d'effet sur le colmatage du fond alluvionnaire de l'oued. L'étude de la recharge de la nappe à l'aval du barrage par ces lâchers confirme ce résultat.

Mots clés : Algérie-Erosion-Barrage-Oued El-Hachem-Transport solide –Recharge-Nappe-Envasement.

ABSTRACT

Hydraulic erosion and the silting of ponds are the most serious problems encountered in Algerian dams. The work carried out here aims to contribute to the understanding the processes of the particles transport (by suspension and bads loads) in the river of "Oued El-Hachem" before and after the construction of "Boukourdane dam" .

Also the aims to show that the process can have serious effects on the holding capacity and the hydraulics of the river at its downstream .

The results of the investigation show that transport of the particles in" Oued El-Hachem "river in relatively weak and will show down the rate of the sedimentation and will affect the concentration of the particles en water when the bottongates of the dam are periodicly opened. The study of refilling of water layer by the water of the dam released downstream confirms this results.

Key words: Algeria, erosion, dam, "Oued El-Hachem ", transport of particles , water layer refilling.

REMERCIEMENTS

« Je remercie dieu tout puissant de m'avoir donné la force le courage et la santé pour accomplir ce modeste travail »

Il m'est très agréable de commencer ce mémoire en remerciant les personnes qui ont été proche de moi durant la réalisation de ce travail , tant sur le plan humain que scientifique.

Ma reconnaissance va plus particulièrement à :

Monsieur Remini-B qui a bien voulu suivre et diriger mon travail pour la réalisation de ce mémoire ; ses conseils et ses critiques.

Monsieur,Zella L pour l'honneur qu'il me fait en président ce jury.

Monsieurs, MEDDI M ;HAMMOUDI S ;BESENAISSE M d'avoir aussi accepter de faire partie de ce jury.

Qu'il me soit permis aussi de remercier monsieur Drioueche M du BNEDER pour sa disponibilité et son aide .

A ma très chère amie Bouchra pour son aide dans la collecte des données , et son suivie tout le long de mon travail.

Toutes les personnes du département de Génie-Rural , au personnes de l'ANRH de Blida,d'Alger de la Wilaya de Tipaza.

J'exprimerai, enfin, mes sincères reconnaissances à mon père et à ma mère en particulier, ainsi qu'à Rachid , Salah, Hamid, Abdelkader, Hocine , Mohamed, Fayçal ,Achour , Souad et Zahia ainsi tous les membres de ma famille .

A toutes personnes de prés ou de loin.

LISTE DES ILLUSTRATIONS, GRAPHIQUES ET TABLEAUX

Figure	1.1	Processus d'envasement d'une retenue	15
Figure	1.2	Les dégâts causés par la crue de Bab-El Oued	23
Figure	2.1	Situation Géographique de la Région d'étude	44
Figure	2.2	Réseau hydrographique avec sous bassins	46
Figure	2.3	Précipitations stations Menaceur	47
Figure	2.4	Carte de relief	55
Figure	2.5	Carte des pentes	59
Figure	2.6	Carte lithologique	62
Figure	2.7	La carte d'occupation du sol	68
Figure	2.8	La carte de sensibilité à l'érosion	72
Figure	3.1	carte de réseau hydrographique du bassin versant de l'oued El-Hachem	79
Figure	3.2	Ajustement à une loi Log-normale des pluies maximales journalières de la station de Boukourdane	80
Figure	3.3	Section de Mesure	83
Figure	3.4	Epure des débits solides élémentaires	84
Figure	3.5	Epure du débit solide sur toute la section de mesure	85
Figure	3.6	graphe $Q_s=f(Q_l)$ de la saison d'automne de la station de bordj-ghobrini	87
Figure	3.7	graphe $Q_s=f(Q_l)$ de la saison de printemps de station de bordj-Ghobrini	88
Figure	3.8	graphe $Q_s=f(Q_l)$ de la saison d'été de la station de bordj-Ghobrini	88

Figure 3.9	graphe $Q_s=f(Q_l)$ de la saison d'hiver de la station de bordj-ghobrini	89
Figure 3.10	graphe $Q_s=f(Q_l)$ de la saison d'automne de la station de mesdour	89
Figure 3.11	graphe $Q_s=f(Q_l)$ de la saison d'hiver de la station de mesdour	90
Figure 3.12	graphe $Q_s=f(Q_l)$ de la saison de printemps de la station mesdour	90
Figure 3.13	corrélation débit liquide débit charrié de la saison d'automne de la station de bordj-ghobrini	96
Figure 3.14	corrélation débit liquide débit charrié de la saison d'automne de la station de mesdour	97
Figure 3.15	corrélation débit liquide débit charrié de la saison d'hiver de la station de mesdour	97
Figure 3.16	corrélation débit liquide débit charrié de la saison de printemps de la station de mesdou	98
Figure 4.1	Variation saisonnière des transports solide	107
Figure 4.2	Evolution du charriage en fonction de la suspension dans le temps	108
Figure 4.3	Variation annuelle de l'érosion spécifique	111
Figure 4.4	Variation annuelle de l'érosion spécifique	112
Figure 4.5	Comparaison entre le taux d'érosion spécifique calculé et le taux d'abrasion de Tixeront en fonction du temps	113
Figure 4.6	Evolution du taux d'érosion spécifique et de la pluie annuel en fonction du temps	115
Figure 4.7	Evolution du taux d'érosion spécifique et de l'indice de Fournier en fonction du temps	116

Figure 4.8	Corrélation taux d'érosion spécifique Indice climatique de Fournier	117
Figure 4.9	Evolution du Taux d'érosion spécifique et du débit maximum annuel en fonction du temps	118
Figure 4.10	Corrélation taux d'érosion spécifique Débit maximum annuel	118
Figure 5.1	Vue général de l'oued El-Hachem à l'amont du barrage de Boukourdane	121
Figure 5.2	Prolongement de l'Oued EL-Hachem	122
Figure 5.3	Vue général de l'oued El-Hachem à l'aval du barrage de Boukourdane	124
Figure 5.4	L'eau évacuée par les lâchers du barrage de Boukourdane	125
Figure 5.5	Réseau de surveillance des eaux souterraine de la nappe Alluviale de l'oued EL- Hachem	126
Figure 5.6	Evolution des hauteurs d'eau du réseau à l'aval du barrage de Boukourdane de l'Oued EL-Hachem	127
Figure 5.7	Evolution spatio-temporelle de la hauteur d'eau du réseau piézométrique à l'aval du Barrage de Boukourdane	127
Figure 5.8	Evolution des profondeurs de la nappe d'eau du réseau à l'aval du barrage de Boukourdane	132
Tableau 1.1	Répartition des pentes en fonction de la pluviométrie	18
Tableau 1.2	Quelques exemples d'envasement de barrage en Algérie source ANB 1986	20
Tableau 1.3	Répartition du taux d'abrasion en fonction de la pluviométrie	36
Tableau 2.1	Situation géographique de la zone d'étude	43
Tableau 2.2	Surface des sous- bassins	45
Tableau 2.3	Données des températures	48
Tableau 2.4	Données morphométriques	58
Tableau 2.5	Répartition relief dans le bassin versant	56

Tableau 2.6	Répartition de la superficie totale par classes des pentes	60
Tableau 2.7	Répartition de la superficie par occupation du sol	65
Tableau 2.8	Répartition de l'érosion dans le bassin versant de l'oued El-Hachem	71
Tableau 3.1	Postes pluviométriques	79
Tableau 3.2	Ajustement à la loi de Gauss	80
Tableau 3.3	Classification des granulats	93
Tableau 3.4	Répartition mensuelle et annuelle des transports solides en suspension et par charriage	101
Tableau 3.5	Répartition mensuelle et annuelle des transports solides en suspension et par charriage	104
Tableau 4.1	Rapport entre transport solide par charriage et transport solide en suspension/calcul du taux d'érosion spécifique	109
Tableau 4.2	Rapport entre transport solide par charriage et transport solide en suspension	111
Tableau 5.1	Piezometrie des points d'eau	125
Tableau 5.2	Volume infiltré dans la nappe	133

LISTE DES SYMBOLES ET DES ABREVIATIONS

- E : Pertes en sols (*tonne / Ha. an*)
- R : Indice de pluie. Il représente le nombre d'unité de l'indice d'érosive ou d'agressivité
Moyenne annuelle des pluies (caractérise la force érosive d'une pluie)
- K : Indice d'érodibilité du sol
- L_s : Facteur de longueur et de perte
- C : Indice de culture qui prend en considération l'influence des pratiques culturels et du
Couvert végétal
- P : Facteur de conservation du sol
- H : la hauteur d'eau sur le lit
- J : pente de la ligne d'énergie
- T_{SS} : Transport solide spécifique moyen annuel (t/km^2 an)
- I_l : Indice lithologique =superficie des formations marneuses et argileuses du crétacé
Supérieur et la tertiaire, exprimé en pourcentage de la superficie du bassin
- I_p : Indice de précipitations érosives
- A : Surface des bassins versants en (Km^2)
- P : Périmètre du bassin versant
- Le : Longueur du rectangle équivalent (Km)
- D_d : Densité de drainage (Km /Km^2)
- Li : longueur totale des oueds de tous ordres
- F1 : Le nombre d'oued primaire (d'ordre 1) par la superficie du bassin versant
- L : longueur de Talweg principal (Km)
- H_{moy} : Altitude moyenne (m)
- H_{min} : Altitude minimale (m)
- V_r : Vitesse de ruissellement (Km / h)
- L : longueur de talweg principal (Km)
- T_C : Temps de concentration (heure)
- Qs : Débit solide (Kg/s)
- Ql : Débit liquide (m^3/s)

T_{cr} : Est la contrainte de cisaillement sur le lit dépendant du matériau charrié exprimé en

T : Contrainte de frottement dépendant de l'écoulement

K_s : Coefficient de Strickler du à la rugosité du lit

K_r : Coefficient de Strickler du à la rugosité des particules seules

γ : Poids volumique de l'eau

R_H : Rayon hydraulique (m)

I : pente moyenne de l'oued (%)

D_{50} : Le D moyen des sédiments charrié exprimé en mètre

γ : Poids volumique de l'eau exprimé en t/m^3

γ_s : Poids volumique des sédiments

R : Lamé d'eau ruisselé (mm/an)

A : Coefficient empirique qui varie en fonction de la perméabilité du terrain

Ta : Taux d'abrasion de TIXERONT en ($t/Km^2 an$)

P : Pluie moyenne des mois les plus arrosés en (mm)

\bar{P} : Pluie moyenne interannuelles en (mm)

E_s : Erosion spécifique dans le bassin versant ($T/ Km^2 .an$)

T : Coefficient de température ;

t_0 : Température moyenne annuelle en $^{\circ}C$

P_0 : Pluie annuelle en (mm)

t_0 : Température moyenne annuelle en $^{\circ}C$

P_0 : Pluie annuelle en (mm)

TABLE DES MATIERES

RESUME.....	02
REMERCIEMENTS.....	04
TABLE DES MATIERES.....	05
LISTE DES ILLUSTRATIONS, GRAPHIQUES ET TABLEAUX.....	07
INTRODUCTION.....	11
1. RECUEILS BIBLIOGRAPHIQUES	
1.1 Erosion et le transport solide.....	14
1.2 Formes d'érosion	16
1.3 Causes de l'érosion	17
1.4 Le processus de l'érosion.....	19
1.5 Conséquences de l'érosion hydriques.....	19
1.6 Quantification de l'érosion hydrique.....	21
1.7 La formule universelle de perte de en sol.....	25
1.8 Théorie de DU BOYS (1879) Sur Le Mécanisme Des Charriages en appliquant la formule de CHANG.....	26
1.9 Formules de MEYER PETER et Muller (1948).....	28
1.10 FORMULE D'ENSTEIN (1950).....	30
1.11 FORMULE DE TIXERONT(1960).....	31
1.12 Formule de FOURNIER (1960)	31
1.13 Formule de GRAVRILOVIC (1965).....	32
1.14 Formule de SOGREAH (Avril 1969).....	33
1.15 Formule ANRH (1982).....	33
1.16 Formules de KARIM et KENNEDY.....	34
1.17 Bref rappel bibliographique des travaux de caractère général.....	34
1.18 Synthèse bibliographique.....	41
2. ETUDE CARTOGRAPHIQUE DU BASSIN VERSANT.....	42
2.1 Introduction.....	42
2.2 Présentation de la zone d'étude.....	43
2.3 Etude mophologique du bassin versant.....	45
2.4 Morphamétrie du bassin versant au droit de la station de Bordj Ghobrini	48
2.5 Etude du milieu naturel	54
2.6 Evaluation spatiale de l'érosion dans le bassin versant de l'oued El Hachem.....	69
2.7 Conclusion	74

3. EVALUATION DU TRANSPORT SOLIDE EN SUSPENSION ET PAR CHARRIAGE DANS L'OUED EL- HACHEM AU DROIT DE LA STATION DE BORDJ-GHOBRINI ET MESDOUR.....	75
3.1 Introduction.....	75
3.2 Hydrographie du bassin versant.....	75
3.3 Réseau d'écoulement.....	76
3.4 Stations hydrométriques	77
3.5 Présentation des données	77
3.6 Analyse statistique des données hydro-climatiques.....	78
3.7 Evaluation du transport solide en suspensio et par charriage.....	81
3.8 Calcul du transport solide par charriage dans l'oued El-Hachem.....	92
4. RESULTATS ET INTERPRETATIONS.....	105
4.1 discussion des résultats.....	105
4.2 Evaluation du transport solide totale annuel	106
4.3 Le taux d'érosionspécifique	108
4.4 Calcul du taux d'érosion spécifique par la méthode de Tixeront.....	112
4.5 Comparaison entre le taux d'érosion spécifique et quelques paramètresclimatiques	114
4.6 Estimation du taux d'envasement du barrage de Boukourdane	119
4.7Conclusion.....	119
5. EFFET DES LACHERS DU BARRAGE DE BOUKOURDANE SUR LA RECHARGE DE LA NAPPE.....	120
5.1 Introduction.....	120
5.2 Présentation de l'oued El-Hachem et la nappe.....	121
5.3 Constat sur l'état des lâchers du barrage deBoukourdane et la Piézométrie.....	123
5.4 Analyse des résultats	128
5.5 Conclusion.....	134
CONCLUSION.....	135
LISTE DES SYMBOLES ET DES ABREVIATIONS.....	139
REFERENCES	141

INTRODUCTION

Du fait du rôle primordial que joue l'eau dans la vie quotidienne de l'homme, l'importance des problèmes hydrologiques et en particulier le problème de l'érosion et du transport solide est souligné par un grand nombre d'auteurs.

Les meilleurs terres du monde sont aujourd'hui menacées par une diminution de la fertilité naturelle, dû aux inondations, aux coulées de boue.

Le nord de l'Algérie essentiellement montagnard, présente des conditions physiques géomorphologiques particulièrement favorables au déclenchement et l'accélération du phénomène d'érosion, malgré 50 années de lutte anti-érosive ou 400.000 ha de terres furent traités en banquettes .Pour la conservation et le stockage de l'eau, les terres continuent à se dégrader et les barrages à s'envaser [1].

En effet, l'homme peut aujourd'hui comme autrefois satisfaire ses besoins en eau à partir de quatre sources différents à savoir la mer, les précipitations, les eaux de surfaces et les eaux souterraines [2][3].

En Algérie , les ressources en eau aussi bien celles qui coulent en surfaces, que celles renfermées dans les nappes souterraines constituent l'une des principales richesses sur laquelle repose la prospérité du pays dans l'avenir ainsi que la réussite de son développement économique .

L'absence des ouvrages de restitution tel que les barrages et leurs retenues cause des lacunes dans les volumes régularisés. Bien que les besoins en eau en Algérie sont très élevés une grande quantité des eaux écoulées coulent directement vers la mer, qu'il convient de stocker pour les utiliser dans les saisons sèches. En effet l'Algérie enregistre une pluviométrie moyenne annuelle équivalente à 100 milliard de m³ Sur lequel les eaux de ruissellement représentent environ 12.5 milliard de m³ .Le reste des précipitations se partage entre l'évaporation (85%) et l'infiltration (15%) .

L'Algérie dispose plus de 110 barrages en exploitation totalisant une capacité de 4.5 milliard de m³ permettant ainsi de régulariser un volume annuel de 2 milliards de m³ utilisé pour l'alimentation en eau potable, l'industrie et la production d'énergie électrique. Du fait de l'érosion, l'Algérie perd annuellement une capacité estimée à 20millions de m³ par le dépôt des sédiments dans les retenues [1].

Le transport solide en Algérie est mesuré aux stations hydrométriques ; des bassins versants pour le quasi totalité des épisodes d'écoulement, généralement on se limite aux débits en suspension.

La mesure du charriage représente toujours un problème dont la mesure du charriage représente toujours un problème dont la solution n'est pas complète [22]

Pour faire face et atténuer l'ampleur de ces phénomènes et essayer d'agir d'une façon efficace pour sauvegarder le milieu physique.

Avec la difficulté de mesure, nous utiliserons la formule adaptée de MEYER PETER MULLER dans le calcul de charriage.

La réalisation du barrage de Boukourdane sur l'oued El Hachem a beaucoup contribué au stockage des eaux superficielles mais il a influé sur le rabattement de la nappe à l'aval de l'ouvrage. Pour la sauvegarde du champ de captage les lâchers du barrage de Boukourdane s'avèrent indispensable pour la ré alimentation artificielle de la nappe.

Dans cette étude nous donnerons un constat sur le transport solide dans l'oued El Hachem, et son influence sur la recharge de la nappe à partir des lâchers du barrage ainsi que la piézométrie de la région (à l'aval).

Objectif de ce travail :

Est l'élaboration d'une méthode de quantification simple et opérationnelle du transport solide (en suspension et par charriage) qui servira d'outil de révision pour l'envasement du barrage de Boukourdane, donc nous l'avons divisé en cinq chapitres principaux.

CHAPITRE 1 : Qui consiste en une recherche bibliographique qui permettra de faire le point sur l'état de connaissance actuelle dans le domaine de l'érosion et des transports solides.

CHAPITRE 2 : Que nous intitulos : étude cartographiques du bassin versant, consiste à l'élaboration de la carte de l'érosion.

CHAPITRE 3 : Que nous intitulos : évaluation du transport solide en suspension et par charriage dans l'oued El -Hachem au droit de la station de bordj Ghobrini et Mesdour

CHAPITRE 4 : Discussions et résultats ; mettre en valeur

La discussion et l'analyse des résultats retrouvés telle que l'évaluation temporelle du charriage en fonction de la suspension et la mise de l'érosion spécifique qui constitue le volume annuel des sédiments par unité de surface en relations avec quelques paramètres hydroclimatiques.

CHAPITRE 5 : Effet des lâchers de barrage de boukourdane sur la recharge de la nappe.

CHAPITRE 1

RECUEILS BIBLIOGRAPHIQUES

1.1. Erosion et le transport solide

1.1.1 Introduction

L'érosion au sens large est un phénomène géologique et plus récemment également anthropique de tous temps et de tous lieux.

Elle contribue avec d'autres phénomènes naturels plus au moins catastrophiques à la modification du paysage, ces autres phénomènes pouvant d'ailleurs avoir une conséquence directe sur le cycle érosion transport sédimentation [6].

L'érosion, le transport et le dépôt de matériaux, constituent les principales étapes ou encore «sédimentation » ; terme appliqué aux cinq processus fondamentaux responsable de la formation du sédiment, (1) altération, (2) arrachement, (3) transport, (4) dépôt, (5) diagenèse [7].

L'étude du débit solide occupe une place très importante et très vaste dans le domaine de l'hydrologie de surface et de régularisation des débits. La matière première du débit est principalement l'érosion continentale.

Son étude doit être intégrée à l'ensemble du bassin versant faisant intervenir un grand nombre de disciplines complémentaires (mécanique des fluides, hydrauliques, hydrologie, géomorphologie et agronomie [8][3].

La dégradation des sols par le phénomène d'érosion revêt de plus en plus des aspects inquiétant pour les barrages. L'envasement et la sédimentation restent un problème lié à un processus d'érosion intense.

Par conséquent, l'envasement des retenues est défini comme étant l'accumulation successive des sédiments transportés par le cours d'eau (*figure 1.1*)[1].

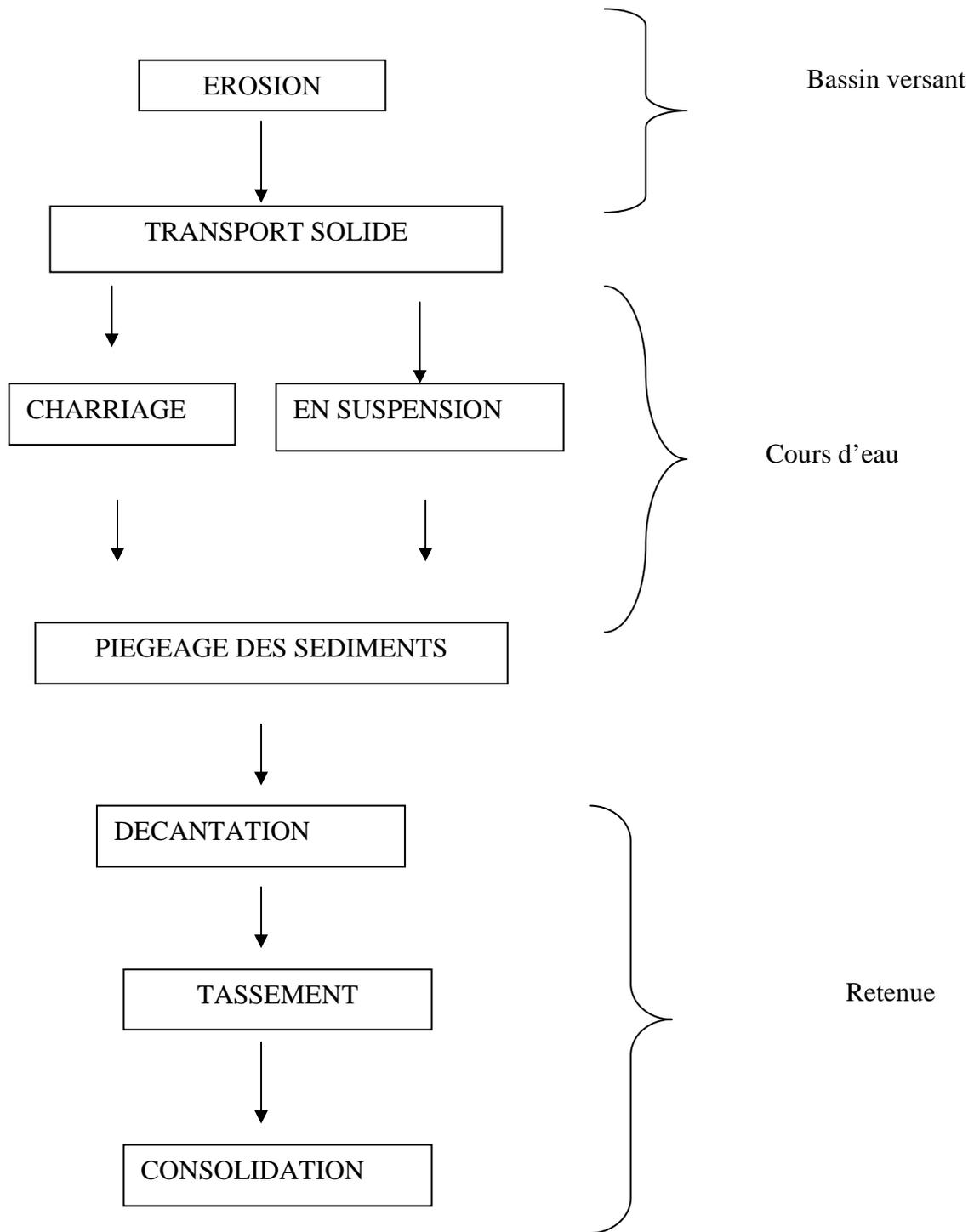


Figure 1.1 : Processus d'envasement d'une retenue

1.2. Formes d'érosion

L'érosion existe sous deux formes :

A/ - L'érosion hydrique : est définie comme un ensemble de processus de désagrégation, d'ablation et de transport en couches superficielles du sol sous l'effet de la pluie et du ruissellement.

- L'érosion en nappe : ou érosion en plaques, en couche ou sheet-érosion.

D'après les études américaines rapportées par les annales du *GREF* : les gouttes d'eau sont d'autant plus énergiques qu'elles sont plus grosses et que la pluie est plus intense.

Après saturation des sols, il se forme une mince nappe ou pellicule d'eau qui se met en marche. On retrouve érosion en nappe au sommet des versants et en aval de tout obstacle.

- Le ravinement

La première manifestation bien visible du ruissellement est la formation de stries, de griffes, de rigoles parallèles. C'est l'érosion *GRIFF* ou ruisselets ou rill-érosion. Ces filets convergents se réunissent et deviennent ravines.

Donc, le ravinement, est la suite logique de creusement de griffes qui ne sont pas corrigées, celle-ci continue à s'approfondir par creusement :
C'est le stade érosion en Ravelins, (*GULLY - EROSION*)

- Les mouvements de masse

L'érosion par mouvement de masse se produit sur des sols drainés en pente du fait de l'infiltration des eaux de pluie qui diminue la cohésion entre la couche de formation superficielle meuble et le substratum imperméable.

A la différence de l'érosion en nappe, elle produit des effets macroscopiques souvent désastreux, tels que les éboulements des versant par déchaussement au pied.

B/ - L'érosion éolienne : se traduit par l'ablation et le transport des particules de sol (sables et limons) détachés des agrégats au paravent, suite à l'absence de liant, argile ou matière organique.

Elle concerne essentiellement les sols sableux ou limoneux à faible teneur en matière organique.

1.3. Causes de L'érosion

Les causes de l'érosion sont multiples d'ordre naturel et humain. La cause principale de l'érosion hydrique est L'eau et plus particulièrement la pluie torrentielle.

L'Algérie du nord, de part la nature géologique et lithologique de son sol est caractérisée par un climat agressif à pluies torrentielles, elles atteignent ou dépassent 30 mm/24 heures ou même *20 mm /2 heures*.

A cela, peut s'ajouter l'effet du :

A/ - Le relief

L'Algérie est un pays montagneux.L'histoire géologique nous a montré que ses montagnes sont jeunes, les pentes sont fortes, l'altitude moyenne est d'environ 900 mètres.

Lors d'une enquête topographique réalisée en 1960 sur la carte au 1/200.000, les renseignements portés au tableau ci-dessous ont été recueillis, donnant en fonction de la pluviométrie, la répartition des différentes catégories de pente du territoire de l'Algérie du nord.

Tableau 1.1 : Répartition des pentes en fonction de la pluviométrie

Pluviométrie	Catégories De Pente				
	0 à 3%	3 à 12,5 %	12,5 à 25%	Plus de 25%	Totaux
	Zone Humide Et Subhumide				
Plus de 600 mm	368	1239	2139	1335	5081
De 500mm à 600mm	235	657	934	63	1957
De 400mm à 500mm	1544	1388	1507	93	4537
	Zone Semi -Aride				
De 300mm à 400mm	5409	1387	538	224	7558
	Zone Aride				
De 200 à 300mm	4334	810	325	95	5585
De 100 à 200mm	2742	229	90	52	3113
Totaux	14 632	5 728	5 584	1 867	27 811

Greco

On remarque que dans les zones humides et subhumides, là où les chutes d'eau sont supérieures à 400mm la proportion des terrains à pente forte est la plus grande.

B/ - La nature des roches: La nature des roches et l'homme ont tous leur part dans l'érosion des bassins versants [9].

- En ce qui concerne la nature des roches, on sait qu'une grande partie de l'Algérie est constituée de roches sédimentaires, roches facilement délitables et donc érodables.
- L'homme a besoin de terre de culture, de terre de parcours ; il en crée au détriment de la couverture végétale.
 - a) - Les incendies : L'homme allume des incendies de forêt laissant le sol découvert, asséché exposé à l'action des averses orageuses du début d'automne
 - b) - Les défrichements : L'homme défriche des terrains en pente, il les dénude les livrant à l'action des éléments atmosphériques.
 - c) - Les exés de parcours : Le passage répété des troupeaux sur les mêmes zones, provoque un tassement du sol qui le rend imperméable et favorise le ruissellement.

1.4. Le processus de l'érosion

L'érosion des sols passe par différentes phases et se manifeste par de multiples façons [9].

1°/ Destruction de la structure granuleuse du sol à la suite de la disparition de l'humus par le seul fait de la percussion des gouttes d'eau ou par une insolation intense rompant la stabilité des agrégats, facilitant leur destruction .

2°/ Dispersion des colloïdes Sous l'action des gouttes d'eau, d'où diminution de la perméabilité, augmentation de la proportion des eaux de ruissellement aux dépens des eaux d'infiltration

3°/ Entraînement des éléments fins, soit par le vent, soit par l'eau de ruissellement le long des pentes (*érosion en nappe*), soit par l'eau d'infiltration, c'est alors le lessivage Oblique (*crypto* — *érosion*).

4°/ Destruction totale des horizons supérieurs, décapage progressif du sol pouvant atteindre la roche mère, c'est le ravinement.

1.5. Conséquences de l'érosion hydrique

L'érosion hydrique des bassins versants à des répercussions directes et indirectes à long terme sur Les infrastructures hydro agricoles à l'aval des bassins versants par :

- La réduction de la production agricole en dépit de l'extension des surfaces agricoles (perte de surface cultivable), extrapolée à l'échelle de l'Algérie, environ 6 800 000 hectares sont actuellement cultivés dont au moins de 500 000 hectares sont en perte, par érosion.
- Diminution de la fertilité
- Une dégradation spécifique atteignant 2000 t/km^2 .
- La sédimentation des lacs des barrages, entraîne leur envasement rapide d'ou diminution de la capacité de stockage de nos barrages soit une réduction de 20 millions de m^3/an .

Les compagnes de mesures bathymétriques effectuées par l'Agence Nationale des Barrages (ANB) en 1986, ont montré le taux d'envasement des barrages en exploitation. Les valeurs obtenues sont montrées sur le (tableau1.2).

Tableau 1.2 : Quelques exemples d'envasement de barrage en Algérie source ANB 1986 .

Nombre d'années d'exploitation	Surface (Km²)	Capacité Initiale (Hm³)	Apport Moyen (Hm³)	Capacité Résiduelle (Hm³)	Volume Envasé (Hm³)	Taux D'envasement (%)
Grib 1935-1986	23.300	278	153	165	112.6	40
Djorf-Torba 1969-86	22.000	350	200	316.4	33.6	10
Bou Hanifia 1940-1986	7.000	73	137	115.6	21.4	29
S.M.B.A 1978-86	5.000	235	120	225.6	9.4	4
Oued Fodda 1953-86	800	225	94	132.7	92.3	41
Zardezas 1936-86	435	14.9	53	0	16.5	100
Mefrouch 1936-86	90	16	18	14.6	1.4	74
Bakhadda 1936-86	1300	37.6	73	29.5	8.1	26
Fergoug 1970-86	420	18	14	4	14	78

Source : A.N.B ,1986

1.6. Quantification de l'érosion hydrique

1.6.1 Mesure de l'érosion - aperçu sur les modèles existants

On donne le nom de «dégradation spécifique globale » au tonnage annuel des terres enlevées par hectare du bassin versant [10].

En Europe occidentale par exemple, sous un climat tempéré humide et sur des pentes faibles en général, on estime que la terre enlevée est de l'ordre de 0,5 à 1 tonne /ha an

Dans les montagnes, on donne les chiffres les plus élevés :

- Les grandes alpes de 6 à 10 *t/ha an* ;
- Apennin de 20 à 25 *t/ha.an*.

Dans l'ensemble, le taux d'érosion spécifique atteint dans les pays d'Afrique des valeurs qui dépassent 2000 *t/K m² .an* sur la plupart des bassins versants de l'Atlas tellien (RHiou ,fodda, Mazafran) ; il atteint 4000 *t/km²* sur la chaîne des cotés du Dahra [7].

L'intensité du phénomène se manifeste essentiellement durant les périodes de grandes crues, comme celles du mois de mars 1974, qui ont duré trois jours, près de 30 millions de tonnes de sédiments ont été arrachées au bassin de la région algéroise et rejetée à la mer [5].

On peut citer la grande crue de Bab El Oued.

1.6.2 . Introduction

Après une longue période de sécheresse, la région côtière algéroise a connu les 09 et 10 Novembre 2001 un événement pluviométrique important à caractère orageux avec un noyau centré sur la région de Bouzaréah.

De par la quantité de pluie précipitée et les intensités élevées et répétées ; il revêt un caractère exceptionnel, engendrant des crues brusques et brutales causent d'énormes dégâts humains et matériels (Voir figure 1.2).

En effet, il a été enregistré au niveau du poste ONM de Bouzaréah un total de 290mm du 09 au 11 Novembre 2001. La journée du 10, à elle seule a enregistré une pluie de 260 mm (cette quantité devrait correspondre au maximum de l'épisode pluvieux). A Alger, la station pluviométrique situé au port a enregistré des précipitations de 98mm le 09 novembre de 18h00 au lendemain matin à 6h00 et de 109mm le 10 Novembre à 18h00 soit un total cumulé de 207mm en 24h.

Le cumul pluviométrique des deux jours du 09 et 10 Novembre est de 214 mm. A Bir -Morad –Rais, le total pluviométrique enregistré à la station ANRH du 09 Novembre à 9H30 (début de la pluie) au 10 Novembre à 13H30 est de 174mm . Le total pluviométrique sur la période du 09 au 11 Novembre est de 190mm.

Le bassin le plus affecté par ces averses est le bassin de l'oued koriche, à l'exutoire duquel se situe le quartier de Bab El Oued à forte concentration urbaine. Le bassin versant de l'Oued koriche, d'une superficie de 10Km² présente une forme compacte et ramassée ainsi qu'une dénivelée importante (Altitude maximale de 395 m et altitude minimale de 01m), favorisant un drainage rapide des eaux.

L'Oued principal sur lequel a été construite la voie rapide Chevalley-Triolet, collecte l'ensemble des apports latéraux et possède une longueur de 07 Km. Une urbanisation étendue au deux versants du bassin s'est développée ces dernières années occasionnant une déforestation et une mise à nu des formations superficielles. Suite à l'intensité des pluies, ces formations ont été emportées par les eaux constituant ainsi de véritables torrents de boues [11].

Le débit de pointe de la crue au niveau de Triolet est estimé à $730 \frac{m^3}{s}$ pour un volume écoulé d'environ 2.600.000 m³.

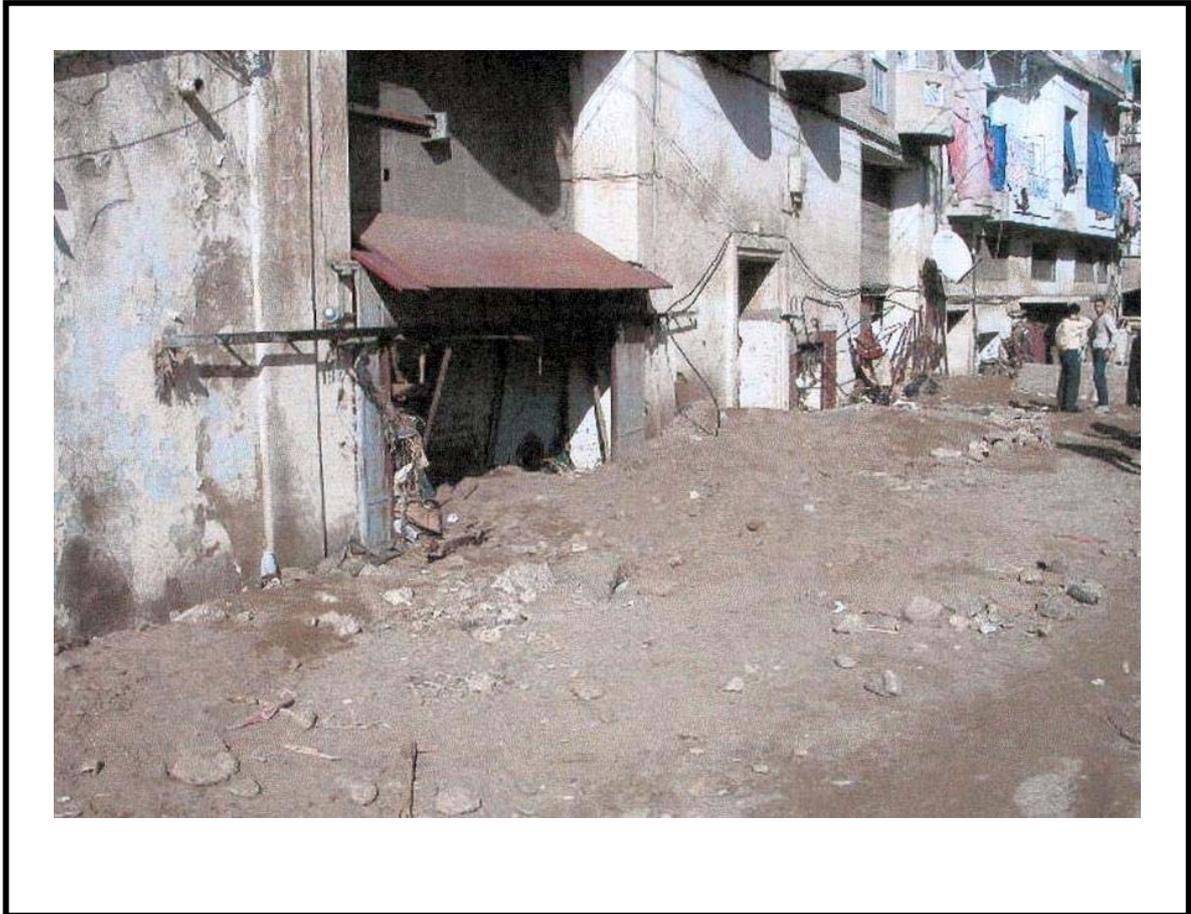


Figure 1.2 : *Les dégâts causée par la crue de Bâb El Oued*

1.6.3 Pluviométrie

La pluie a commencé le 09 Novembre 2001 vers 9h30 mn par des averses de moyenne importance ayant permis la saturation du sol et s'est prolongée jusqu'à 10h 30mn .Après un répit de près de sept heures ou quelques millimètres ont été enregistrés, la pluie a repris violemment avec une intensité maximale qui avait totalisé entre minuit et 4h du matin de 73,5mm. Aniveau de Bouzareah, situé en hauteur, l'intensité a été plus forte et la quantité enregistrée de 18h à 06h le lendemain est de 127,8 mm.

1.6.4. Pluies maximales journalières

Le dépouillement des enregistrements pluviométriques des journées du 09 et 10 du mois de Novembre n'a pas de temps constant de 30 mm pour la station pluviométrique de Bir-Morad-Rais donne les résultats suivants :

❖ Journée du 09/11/2001

Le total enregistré durant cette journée est de 30mm entre 9h30mn et 00h avec une intensité de 7.5 mm entre 13h00 et 13h30.

❖ Journée du 10/11/2001

Le total enregistré durant cette journée est de 143.5 mm entre 00h00 et 13h30mm avec des pics d'averses atteignant :

- 19mm (03h00 à 03h30mm)
- 19mm (11h00 à 11h30mm)
- 19mm (12h00 à 13h00mm)

1.6.5 Période de retour de l'épisode pluvieux

L'examen de la série de données pluviométriques enregistrées à la station de Bir Mourad Rais et la station de Bouzaréah révèle que des quantités de pluies aussi importantes ont été observées auparavant :

Bir-Mourad –Rais :

- Année 1953/54 : pj=135.2mm le 02/02/1954
- Année 1957/58 : pj=108.3mm le 09/10/1957
- Année 1964/65 : pj=104.5mm le 08/11/1964
- Année 1969/70 : pj=106.52mm le 27/12/1969
- Année 1973/74 : pj=94,6 mm le 29/03/1974
- Année 1984/85 : pj=115.0mm le 09/10/1984
- Année 2001/02 : pj=145.0mm le 10/11/2001

L'analyse statistique de cette série permet de situer en fréquence l'événement pluvieux survenu les 09 et 10 Novembre 2001 autour d'une période de retour de 90ans [11].

Vu les dégâts graves et intenses causés par l'érosion, l'homme est contraint par le biais de différentes formules empiriques à quantifier les pertes en sol. Ces formules restent toujours à utiliser avec précaution du fait de leur limite d'application. Parmi ces formules utilisées nous pouvons citer:

1.7. La formule universelle de perte en sol [12] [8]

Elle porte le nom de *WISCHMEIER 1960*) cette équation de prévision de l'érosion est basée sur l'analyse des régressions menées sur plus de 10 000 de mesures annuels observées sur parcelles, cette formule est exploitée par les Etats Unis (Service Américain de conservation des Sols)

Elle a pour but de prédire la perte en sol, elle consiste à quantifier seulement l'érosion en nappe est en fonction multiplicative de cinq facteurs : l'érosivité du climat, l'érodabilité du sol (K), le facteur topographiques (LS) couvrant à la fois l'inclinaison et la longueur de la perte, le paramètre du couvert végétal (C) et enfin le facteur des pratiques anti-érosives classiques (P).

$$E = R \cdot K \cdot L_S \cdot C \cdot P \quad (1.1)$$

Où :

E : Pertes en sols (*tonne / Ha. an*) ;

R : Indice de pluie. Il représente le nombre d'unité de l'indice d'érosive ou d'agressivité moyenne annuelle des pluies (caractérise la force érosive d'une pluie) ;

K : Indice d'érodibilité du sol.

L_S : Facteur de longueur et de perte ;

C : Indice de culture qui prend en considération l'influence des pratiques culturels et du couvert végétal ;

P : Facteur de conservation du sol ;

Elle était utilisée en Tunisie au niveau du bassin versant de l'oued EL Khoudgi qui a donné $4\,674\text{ t/km}^2$. An, c'est l'érosion en nappe utilisée dans le bassin versant de l'oued *MINA RELIZANE* [13] .

L'étude du débit solide dans les canaux expérimentaux est plus généralement dans les cours d'eaux naturels a donnée naissance à plusieurs formules de calculs du débit solide de fond.

En effet les prévisions de ces formules varient considérablement parce qu'elles ne sont pas valables que pour les conditions spécifiques qui ont servi de base à l'établissement de leurs coefficients empiriques. Donc de nombreuses formules existent les plus utilisées sont :

1.8. Théorie du BOYS (1879) sur le mécanisme des charriages en appliquant la formule de CHANG

Soit V la vitesse relative (vitesse relative de la dernière couche) supposée constante, d'une couche par rapport à la couche sous-jacente et « n » le nombre des couches.

On a pour expression du débit solide par unité de largeur, γ_1 étant le volume apparent du sable[13].

$$Q_S = \gamma_1 \cdot e \cdot (V + 2V + \dots + nV) = \gamma_1 \cdot e \cdot [n(n-1)/2] \cdot V \quad (1.2)$$

En admettant que la force tractrice τ croît linéairement de la couche inférieure ou elle est égale à :

τ_{cr} (Minimum qui correspond à la mise en mouvement du sable) à la couche supérieure

ou elle est égale à :

$$\tau = n \cdot \tau_{cr}$$

D'ou

$$n = \tau / \tau_{cr} \quad , \quad n-1 = (\tau - \tau_{cr}) / \tau_{cr}$$

Et par suite on obtient :

$$Q_S = \gamma_1 \cdot e \cdot (\tau / \tau_{cr}) \cdot [(\tau - \tau_{cr}) / \tau_{cr}] \cdot V / 2 = [\gamma_1 \cdot e \cdot V / 2 \tau_{cr}^2] \cdot \tau \cdot (\tau - \tau_{cr})$$

CHANG a proposé la formule :

$$Q_S = \left[K \cdot n / \tau_{cr}^2 \right] \cdot \tau \cdot (\tau - \tau_{cr}) \quad (1.2)$$

τ_{cr} : étant la force tractrice qui correspond au début de l'entraînement des matériaux de fond.

DU BOYS admettait par ailleurs pour expression de la force tractrice critique τ_{cr} , correspondant à la mise en mouvement des matériaux de fond :

$$\tau_{cr} = \gamma \cdot H \cdot j$$

Avec :

γ : Poids spécifique du liquide ;

H : la hauteur d'eau sur le lit ;

J : pente de la ligne d'énergie.

En posant : $\psi_D = K \cdot n / (\gamma \cdot H \cdot j)^2$, l'équation devient :

$$Q_S = \psi \cdot \tau \cdot (\tau - \tau_{cr}) \quad (1.2)$$

Avec ψ_D : coefficient représentatif de la modalité des granulats.

1.9. Formules de MEYER PETER et Muller (1948)

Les formules de MEYER PETER impliquent un régime permanent tant du débit liquide que du débit solide, c'est à dire le parallélisme du lit et de la ligne d'eau et par suite également de la d'énergie.

Le domaine de validité de la formule, pour les caractéristiques hydrauliques tel que la pente

(0.4% < i < 20%) et sédimentologique (0.4mm < D₅₀ < 20mm) [14].

L'équation conduisant à l'expression du débit solide G_s s'écrit :

$$0,047(\rho_s - \rho) \cdot g \cdot D_{50} + 0,25 \cdot \rho^{1/3} \left(\frac{\rho_s - \rho}{\rho_s} \right)^{2/3} \cdot g_s^{2/3} = \left(\frac{K_s}{K_r} \right)^{3/2} \cdot g \cdot Rh \cdot j \quad (1.3)$$

De cette équation on peut aisément tirer :

$$g_s = 8 \cdot \frac{\rho_s}{\rho_s - \rho} \sqrt{\frac{1}{\rho}} \cdot (\tau - \tau_{cr})^{3/2} \quad (1.3)$$

En posant :

$$K = \left(\frac{8}{\rho^{1/2}} \right) \cdot \left(\frac{\rho_s}{\rho_s - \rho} \right)$$

Le débit solide charrié par unité de largeur du lit de l'oued, exprimé en t/s m devient :

$$gs = K \cdot (\tau - \tau_{cr})^{3/2} \quad (1.3)$$

Avec

$\tau_{cr} = 0,0047 \cdot (\rho_s - \rho) \cdot D_{50}$: Est l'effort tranchant critique du débit de charriage (contrainte de cisaillement sur le lit exprimé en t/m²).

$\tau = a * \tau_{max}$: est l'effort tranchant moyen réel (ou contrainte de frottement dépendant de l'écoulement, exprimée en t/m²) ;

- ◆ $a = \left(\frac{K_R}{K_S} \right)^{3/2}$: est un facteur correctif de la rugosité du lit (K_S et K_R sont les coefficients de STRICKLER dus respectivement à la rugosité globale du lit et à celle des particules seules) ;
- ◆ $\tau_{max} = \gamma * R_H * I$
 - γ : Poids volumique de l'eau ;
 - R_H : Rayon hydraulique (m) ;
 - I : pente moyenne de l'oued (%).

Les sections droites du cours d'eau sont assimilées à des sections rectangulaires larges, on Supposera donc que le rayon hydraulique $R_H = H$ en mètres.

1.10. Formule d'ENSTEIN (1950)

Les travaux d'ENSTEIN (1950) ont contribué au problème de transport de charriage, représentant d'une manière un partie des travaux de DU BOYS.

L'équation de charriage décrite est basée sur la condition d'équilibre des particules. Cela implique, que le taux de particules déposées par unité de temps et de largeur est égal au taux de particules charriées (transportées) par unité de temps et de largeur [15].

$$\phi = F(\psi) \quad (1.4)$$

Avec

$$\phi = \left(\frac{G_s}{\gamma_s} \right) \cdot \left(\frac{\rho}{(\rho - \rho_s) \cdot (1/g \cdot d^3)} \right)^{0.5}$$

$$\psi = \left(\frac{d}{i \cdot R_h} \right) \cdot (\rho - \rho_s) / \rho$$

Suite aux travaux d'EINSTEIN ; la relation évaluée par GRAF est donnée sous la forme

$$\phi = 10.39 \cdot \psi^{-2.52} \quad (1.4)$$

D'ou :

$$\frac{G_s}{\gamma_s} \sqrt{\frac{\rho}{\rho_s - \rho} \frac{1}{gd^3}} = 10.39 \left(\frac{\rho_s - \rho}{\rho} \frac{d}{i \cdot R_h} \right)^{-2.52}$$

G_s : représente le taux de transport solide par unité de largeur.

1.11. Formule de TIXERONT(1960)

Elle se base sur des corrélations établies entre la lame d'eau ruisselé annuelle et la Perméabilité du bassin versant à partir des observations d'oueds Algériens et Tunisiens.

$$Ta = a \cdot R^{0,15} \text{ (t/km}^2 \cdot \text{an)} \quad (1.5)$$

Où

R : Lame d'eau ruisselé (mm / an)

A : Coefficient empirique qui varie en fonction de la perméabilité du terrain, il varie de 3,5 à 3 200.

Perméabilité élevée	3,5 < a < 74
Perméabilité moyenne	75 < a < 349
Perméabilité moyenne à faible	350 < a < 1399
Perméabilité faible	1400 < a < 3199
Imperméable	a > 3200

1.12. Formule de FOURNIER (1960)

Fournier a estimé le taux d'abrasion à partir de la pluie, en faisant intervenir le relief et le type de climat, la relation donnée pour un climat semi aride et un bassin où le relief est accentué s'écrit :

$$Ta = 52,49(P^2 / \bar{P}) - 513,21 \quad (1.6)$$

Ou :

Ta : taux d'abrasion ($t/km^2 \text{ an}$) ;

P : pluie moyenne des mois les plus arrosés ;

\bar{P} : Pluie moyenne inter-annuelle.

Sur la période de 1965 à 1989 l'apport solide annuel estimé par cette méthode est de $482 t/km^2 \text{ an}$ des l'oued El Khoudgi en Tunisie [12].

1.13. Formule de GRAVRILOVIC (1965)

Cette formule élaborée en Yougoslavie, a été souvent utilisée en Algérie, notamment dans l'étude générale du bassin versant de Soummam

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

GRAVRILOVIC a pu utiliser ces indices sous forme d'une équation empirique de type :

$$E_S = 3,14 \cdot T \cdot P_0 \cdot \sqrt{Z^3}. \quad (1.7)$$

Où :

E_S : Erosion spécifique dans le bassin versant ($T/km^2 .an$)

T : Coefficient de température

$$T = \sqrt{\frac{t_0}{10}} + 0,1$$

Avec

t_0 : Température moyenne annuelle en $^{\circ}C$;

P_0 : Pluie annuelle en (mm) ;

Z : Coefficient de l'érosion relative. Malheureusement cette formule présente plusieurs lacunes, le coefficient de l'érosion (Z) est très délicat à estimer .En effet, il est en fonction de couvert végétal, de la structure lithologique et pédologique du bassin versant et du degré de processus érosif. La bonne évaluation de l'érosion restera tributaire à tous ces coefficients.

1.14. Formule de SOGREAH (Avril 1969)

L'étude est basée sur les données d'observations recueillies au niveau de 9 barrages et 18 Stations hydrométriques, les durées d'observations sont très variables.

Le transport solide des oueds est défini en fonction du ruissellement annuel de crue et de Perméabilité des bassins versants. Les résultats inspirés de la formule de Tixeront, sont représentés sous forme d'une relation graphique traduisant les relations de la forme :

$$T_s = a \cdot A^{0,15} \quad (\text{t/km}^2 \text{ an}) \quad (1.8)$$

Où :

A : L'écoulement moyen annuel (*mm/an*)

a: Est un coefficient dépendant de la perméabilité du sol, allant de 3,3 (bassin à perméabilité Importante) à 3200 (bassin imperméable) [17][18].

1.15. Formule ANRH 1982

$$TS = 26,62 IL + 5,07 IP + 9,77 CT - 593,56 \quad (1.9)$$

Où :

TS : Transport solide spécifique moyen annuel (*t/km² an*)

IL : Indice lithologique (%) (% superficie total du bassin versant) ;

IP : Indice de précipitations érosives = $b \cdot c / P_a$; avec *b* : nombre annuel des précipitations journalières supérieures à P_0 . *c* : somme annuelle de ces

précipitations ; P_a : seuil pris égal à 30mm si $IL < 50\%$, 20mm si $IL > 50\%$

CT : Coefficient de torrentialité.

1.16. Formules de KARIM et KENNEDY

Ces deux auteurs ont proposés une première formule en 1981, pour la prévision du transport solide. Plus récemment, en 1990, ils ont suggéré une nouvelle formule sous la forme :

$$\frac{q_s}{\sqrt{g(s-1)D_{50}^3}} = 0.00151 \cdot \left[\frac{V}{\sqrt{g(s-1)D_{50}^3}} \right]^{3.369} \cdot \left[\frac{\mu - \mu_c}{\sqrt{g(s-1)D_{50}^3}} \right]^{0.840} \quad (1.10)$$

q_s est le débit solide total, en volume, par unité de largeur;
 g : accélération gravitationnelle ;

$\mu \cdot c$: est la valeur critique de la vitesse de frottement sur le fond, définie sur la courbe de SHELDON.

Selon KARIM et KENNEDY, l'équation exposée est pratiquement aussi précise que la formule établie en 1981 pour les écoulements bien au-dessus de la situation critique de début de mouvement, et, moins précise qu'elle pour les écoulements avec des concentrations faibles de sédiments[17].

1.17. Bref rappel bibliographique des travaux de caractère général effectués en Algérie

1 - MEDINGER (mars 1960)

MEDINGER, en 1960 procède au traitement et à la mise en forme des premières séries de mesures recueillies en Algérie sur une trentaine de bassins durant la période 1946-1957

Selon l'annuaire hydrologique de l'Algérie de l'année 58/59, l'auteur discute les méthodes de mesure et présente les données mensuelles des écoulements solides spécifiques des 30 stations.

2 - TIXERONT (août 1960)

Les travaux de *TIXERONT* sont basés sur les données de 32 bassins d'Algérie et 9 bassins de Tunisie, procèdent de la manière suivante :

- La corrélation et l'homogénéisation des séries hydrologiques et les recueils d'observations hydrométriques.
- La correction est effectuée par :
- La réévaluation des parties lacunaires des débits solide ;
- Extension des moyennes de courte durée d'un même bassin versant avec les sériesde longue durée sur d'autres bassins voisins
- Le regroupement des bassins en 3 classes suivant un critère régional (*Tunisie, département département d'Alger*) en tenant compte des différents facteurs tel que les précipitations des facteurs et leur répartition saisonnière géomorphologiques, du climat et du couvert végétal ;

Les principales conclusions des travaux de *TIXERONT* peuvent être résumées comme suit :

- Les teneurs en suspension augmentent quand le ruissellement diminue
- Les terrains récemment plissés fournissent des taux d'abrasion et des teneurs en suspension particulièrement élevées ;
- La répartition des saisonnières des précipitations à son importance [3].

TIXERONT a donné une estimation du taux d'abrasion en fonction de la perméabilité du bassin et du ruissellement annuel :

$$T_a = K \cdot R^{0.15} \quad (1.11)$$

Avec :

T_a = taux d'abrasion en (t/km² an) ;

R : lame ruisselée en (mm)

K : paramètre empirique variant suivant le degré de perméabilité des bassins versants :

K=75 pour les terrains à perméabilité élevée ;

K=350 pour les terrains à perméabilité moyenne ;

K=1400 pour les terrains à perméabilité faible ;

K=3200 pour les terrains imperméables.

Les travaux de TIXERONT donnent les conclusions suivantes :

- 1/ Les teneurs en suspension augmentent quand le ruissellement diminue ;
- 2/ Les terrains des régions jeunes sont les plus susceptibles à l'érosion ;
- 3/ Les bassins à forte abrasion se situent dans des régions sismiques ;
- 4/ En se basant sur la répartition pluviométrique, l'auteur différencie trois zones :

Tableau 1.3: Répartition du taux d'abrasion en fonction de la pluviométrie

Zone	Taux d'érosion
Pluviométrie inférieure à 300mm	Nul
Pluviométrie entre 300 et 700mm	>1200t/km ² an
Pluviométrie supérieure à 700mm	<350 t/km ² an

3 – CAPOLINI 1965 - 1969

CAPOLINI entreprend une étude géomorphologique régionale sur le bassin versant de l'oued *CHELIF* et ses principaux affluents pour montrer sa relation avec l'érosion et le transport solide. Les résultats s'avèrent encourageants, ou il apparaît une bonne corrélation entre la torrentialité et la géomorphologie, ainsi il conclut :

- Une quantification des débits solides en associant à chaque formation lithologique ;
- Suggestion d'une méthode cartographique des zones susceptibles à l'érosion à partir de la Cartographie du coefficient de torrentielle [10].

4 – SOGREAH (Avril 1969)

L'étude est basée sur les données d'observations recueillies au niveau de 9 barrages et 18 stations hydrométriques, les durées d'observations sont très variables.

Le transport solide des oueds est défini en fonction du ruissellement annuel de crue et de perméabilité des bassins versants. Les résultats inspirés de la formule de TIXERONT, sont représentés sous forme d'une relation graphique traduisant les relations de la forme :

$$T_s = \alpha \cdot A^\beta \quad (1.12)$$

Avec :

T_s : dégradation spécifique exprimée en t/km² an ;

A : apport moyen annuel exprimé en mm ;

$\beta = 0.15$;

α : Paramètre empirique variant avec le degré de perméabilité des bassins versants, allant de 3.3 (bassin à perméabilité importante) à 3200 (bassin imperméable)[5].

L'estimation du degré de perméabilité (rapport entre écoulement de crue annuel moyen et écoulement de base annuel et moyen) présente une lacune pour cette étude.

5 - DEMMAK (1982)

DEMMAK montre dans sa thèse (1982), que l'agressivité des pluies est faible en Algérie. L'objectif dans son étude étant la définition d'une méthodologie de lutte contre l'érosion hydrique et l'envasement des réservoirs.

Pour cela, il a procédé à la sélection de 30 bassins représentatifs des différentes conditions physiques, géomorphologiques et climatiques de l'Algérie du nord.

La généralisation de ces résultats aux 30 bassins versants étudiés, nous a permis en outre de mettre au point une relation empirique entre paramètres statistiques des apports solides spécifiques moyens annuels et paramètres physiques climatiques des bassins.

Les facteurs les plus significatifs à l'échelle du bassin versant semblent bien être :

- Le % des formations marneuses et argileuses qui explique l'érodabilité du milieu
- Le % des précipitations journalières supérieur à un seuil variable (20 ou 30 mm) suivant

Le degré de perméabilité du bassin, qui explique l'érosivité des précipitations et du ruissellement.

Dans les même cadre, il prédit que l'apport de sédiment pour une période de 50 ans, serait de 06 millions de m³ dans le barrage *EL IBTISSAM* sur l'oued deurdeur., avec une densité sèche des Matériaux égale à 1,3 tonnes/m³ en ajoutant 30 % du transport solide. Les résultats ont été calculés sur une période de 07 ans (1971 – 1979) [10].

DEMMAK a pu élaborer une relation empirique de la formule suivante :

$$TSS = 26.62 I_l + 5.07 I_p + 9.77 C_T - 593.56 \quad (1.13)$$

- T_{SS} : Transport solide spécifique moyen annuel (t/km² an) ;

- I_l : Indice lithologique =superficie des formations marneuses et argileuses du crétacé supérieur et la tertiaire, exprimé en pourcentage de la superficie du bassin.

I_p : Indice de précipitations érosives égale au produit du pourcentage des précipitations annuelles tombées sous forme des pluies supérieures à un seuil donné par la fréquence de ces précipitations.

- C_T : Coefficient de torrentialité, donné par :

$$C_T = D_d \cdot F1 = (\sum L_X / A) \cdot (N1 / A)$$

6 - SHEN ET HUNQ (1987)

Parmis les formules appliquées en Algérie, celle de SHIEN et HUNQ , ces derniers ont estimé le transport par charriage à partir des paramètres physiques tels que la vitesse d'écoulement (V) exprimé en mètre par seconde, la vitesse de chute du grain moyen en poids (W) exprimé en mètre par seconde et qui est liée au diamètre moyen des grains D_{50} exprimé en millimètres[14] :

$$\begin{aligned} W &= 0,126 D_{50} - 0,0056 & \text{si } 0,05 < D_{50} < 1mm \\ W &= 0,065 D_{50} + 0,055 & \text{si } 1 < D_{50} < 5mm \end{aligned} \quad (1.14)$$

Ils calculent la grandeur :

$$Y = V.I^{0,57} / W^{0,32}$$

I : pente

$$Y > 0,1 : \log C = -0,307 (\log Y)^2 + 1,432 (\log Y) + 4,541$$

$$\text{pour } Y < 0,1 : \log_{10} C = -0,854 (\log Y)^2 + 0,769 (\log Y) + 4,450$$

C : étant la concentration exprimé en mg/l.

Cette formule depuis a été appliquée sur des données de onze plus fortes crues observées depuis 1970 à la station de la trailla sur le bassin versant de l'Isser en 1987[5].

6 - ARABI (1991)

L'auteur confirme la faiblesse de l'érosion pluviale en Algérie, par conséquent, le fait que le ruissellement constitue un facteur essentiel pour la détermination du transport solide dans les bassins versants [19].

Pour la protection des sols contre l'érosion, il conviendrait d'après l'ARABI de favoriser l'infiltration, de végétation et corriger les ravins [20].

7 - MEDDI (1992)

MEDDI reprend les anciennes positions de Sari (1977) et GRECO (1966) dans la discussion des causes de l'érosion des sols, la méthode qu'il préconise se prête à la détermination générale des zones fournissant beaucoup ou peu de sédiment en suspension par les démarches du type boîte noire [21].

8 – KOURI (1993)

L'auteur étudie d'une manière détaillée l'évolution des ravins de la zone pilote Taassalet et décrit les processus d'érosion observables, il établit par analyse statistique une classification des ravins en fonction de la lithologie, de la pente, de la morphologie des ravins.

9 - D. GOMER (1994)

GOMER a donné une méthode opérationnelle d'écoulement et d'érosion particulièrement robuste et dont l'application exige un nombre relatif réduit de données d'entrée, ce modèle est donc applicable sur les bassins versants marneux en climat semi-aride.

Le modèle de GOMER est appliqué en Algérie dans la zone du bassin versant de l'oued Mina, ce qui a généré un résultat social essentiel puisqu'il a démontré que le boisement par des arbres tel que les pins et les eucalyptus sur des marnes ne protège pas le solde l'érosion, plutôt le travail du sol par les paysans sur des cultures céréalières limite considérablement [22].

1.18. Synthèse bibliographique

Dans ce chapitre, nous avons donné des connaissances de base pour l'estimation quantitative du débit solide de fond et du débit solide total.

Plusieurs méthodes connues ou récentes ont été citées ; l'analyse de ces formules nous permet de conclure que les variables caractéristiques de l'écoulement sont semblables.

Le diamètre granulométrique est un critère essentiel pour la dynamique des matériaux arrachés du sol et leur transport par le réseau d'écoulement, le diamètre caractéristique utilisé est presque toujours le même (D50), mis à part les formules de ACKERS et WHITE utilisent le diamètre D35 (voir tableau de houille blanche).

Les formules comme celle de Meyer-Peter et Muller prévoient le transport solide par charriage, alors que les autres formules prévoient le transport solide total.

L'approche cartographique est un outil très important pour la connaissance de l'érosion en tout point du bassin versant.

Cette partie nous permettra de déceler les zones sensibles à l'érosion.

CHAPITRE 2

ETUDE CARTOGRAPHIQUE DU BASSIN VERSANT

2.1. Introduction

L'Algérie du Nord, un domaine tello- Atlasique présente des conditions naturelles assez sévère caractérisée par un relief jeune où prédominent des formations lithologiques fragiles et un climat de type méditerranéen semi-aride à humide localement avec des précipitations souvent agressives.

Ces conditions aux quelles viennent s'ajouter des activités anthropiques déstabilisatrices semblent être à l'origine de l'état de dégradation actuel du milieu en général et plus particulièrement le bassin versant de l'oued El Hachem dans lequel a été édifié en (1988), le barrage de « Boukourdane » .

La protection de cet ouvrage contre un envasement rapide qui causerait une diminution sensible de sa durée d'exploitation s'avère indispensable.

Il est nécessaire d'équilibrer le bassin versant contre l'érosion. Le taux de matières solides transportés par le cours d'eau le long du bassin sera minimisé et par conséquence la force tractrice sera amortie.

Pour cela, nous avons adopté la cartographie qui apparaît comme le meilleur moyen de traitement rapide de l'information de visualisation dans sa globalité, il s'agit de procéder à la photo-interprétation des photos aériennes qui nous paraissent efficaces pour nous faciliter une analyse intégrée d'un milieu montagnard, physiquement fragile dont la composante humaine est en mutation socio-économique.

Le secteur étudié est cartographié à une échelle au 1/50.000 ème en menant la détermination dynamique par la conception des cartes thématiques à la même échelle.

- (1) Carte d'altimétrie (relief)
- (2) Carte de pente
- (3) Carte des sous bassins versants et du chevelu hydrologique
- (4) Carte lithologique axée sur le degré de résistance des roches
- (5) Carte d'occupation actuelle du sol (COS)

2.2. Présentation de la zone d'étude

La région étudiée est située dans la Wilaya de Tipaza est chevauchée par deux communes à savoir Menaceur et Sidi-Amar (voir figure 2.1).

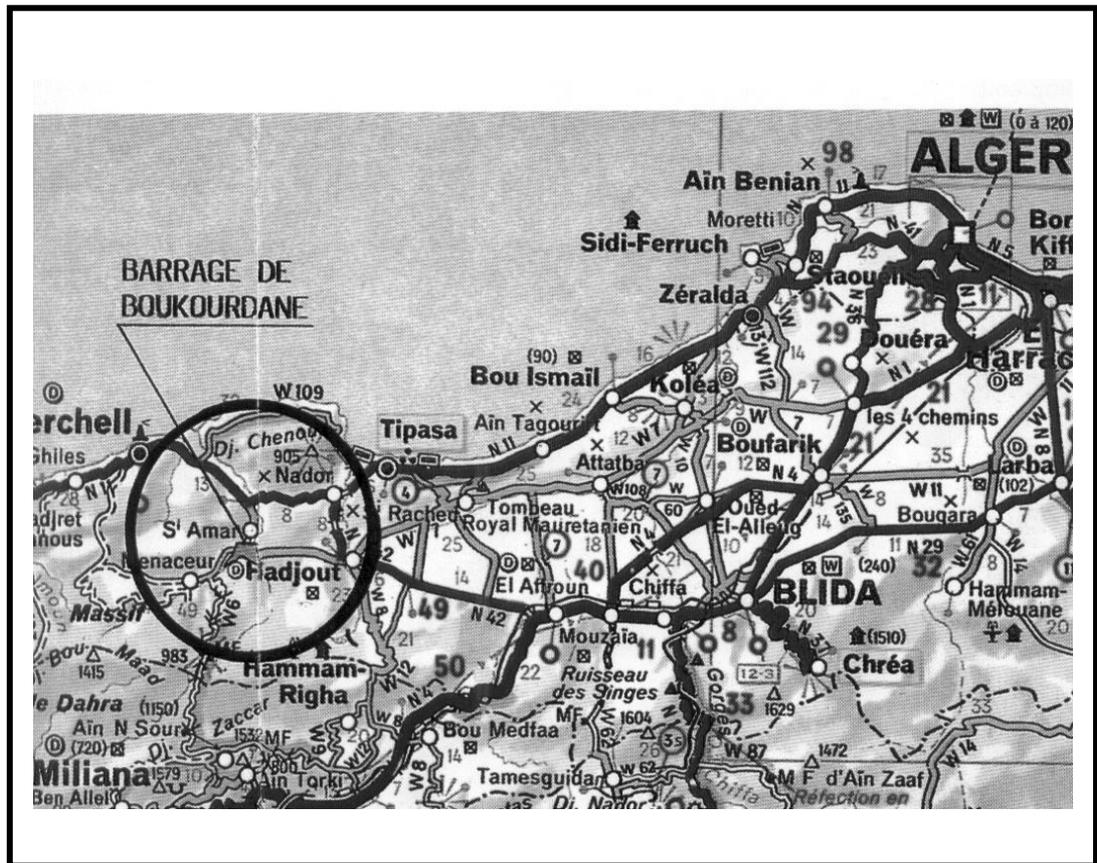
D'une superficie de 156 km², le bassin versant de l'oued El- Hachem forme l'impluvium du barrage de Boukourdane, ouvrage d'importance d'une capacité de (97 Mm³).

Elle fait partie de l'atlas tellien-littoral, le bassin versant se trouve limité :

- *A l'ouest par la commune de Cherchel*
- *A l'est par la commune de Meurad.*
- *Au nord par mer Méditerranée*
- *Au sud par les wilayas de Blida et Ain Defla*

Tableau 2.1 : Situation géographique de la zone d'étude

Wilaya	Daira	Commune	Superficies
Tipaza	Sidi Amar	Menaceur	-156 km ² au droit du barrage
		Sidi – Amar	-215 km ² à l'embouchure



ANRH

Figure 2.1 : Situation Géographique de la Région d'étude

Les eaux du barrage sont destinées à l'alimentation en eau potable des agglomérations de Cherchell, Sidi Ghiles, Sidi Moussa, Sidi Amar, Nador et Tipaza (12 Hm³), ainsi que l'irrigation de la vallée de l'oued El-Hachem et les régions de Hadjout et du Sahel.

Ce bassin versant fait partie de l'Atlas Tellien - Littoral, compris entre Djebel Tabarrand et le versant sud du massif du Chenoua .

- L'altitude générale oscille entre 327 m au nord (Djebel Ourdane) , 1 417 m au Sud (Djebel Bou Maad).

La zone se présente sans la forme d'un quadrilatère presque régulier, elle s'étire sur une distance de 15 kilomètres du Nord au Sud et 18 kilomètres d'Est en Ouest. Elle s'inscrit entre les coordonnées Lambert suivante.

X : 367 – 449

Y : 345 – 360

2. 3. Etude morphologique du bassin versant

2.3.1. Définition du bassin versant

Le bassin versant se définit comme étant une surface_topographique et géographique drainée par un cours d'eau et ses affluents de telle façon que tout écoulement prenant naissance à l'intérieur de cette surface doit traverser la section normale au point le plus bas de la rivière considérée exutoire, le bassin versant a une fonction de collecteur d'eau, il recueille les pluies et les transforme en écoulement à l'exutoire.

Le bassin versant peut être décomposé en plusieurs sous-bassins pouvant être traités de façon indépendante au même titre que le bassin d'où il est tiré.

Le calcul de la surface du bassin versant se fait par planimètres en hectares (HA) Notre bassin est de code (02) côtiers algérois subdivisé en quatre sous bassins numérotés respectivement dans le sens contraire d'une aiguille d'une montre.

La mesure du périmètre se fait par planimètre donné en (km).

Tableau 2.2 Surface des sous- bassins

N° du sous bassin	01	02	03	04	Le reste	Total
Surface (HA)	3563	4816	2384	4684	153	15600
Périmètre (M)	330 10	35 450	24 760	38 960	6 805	138985

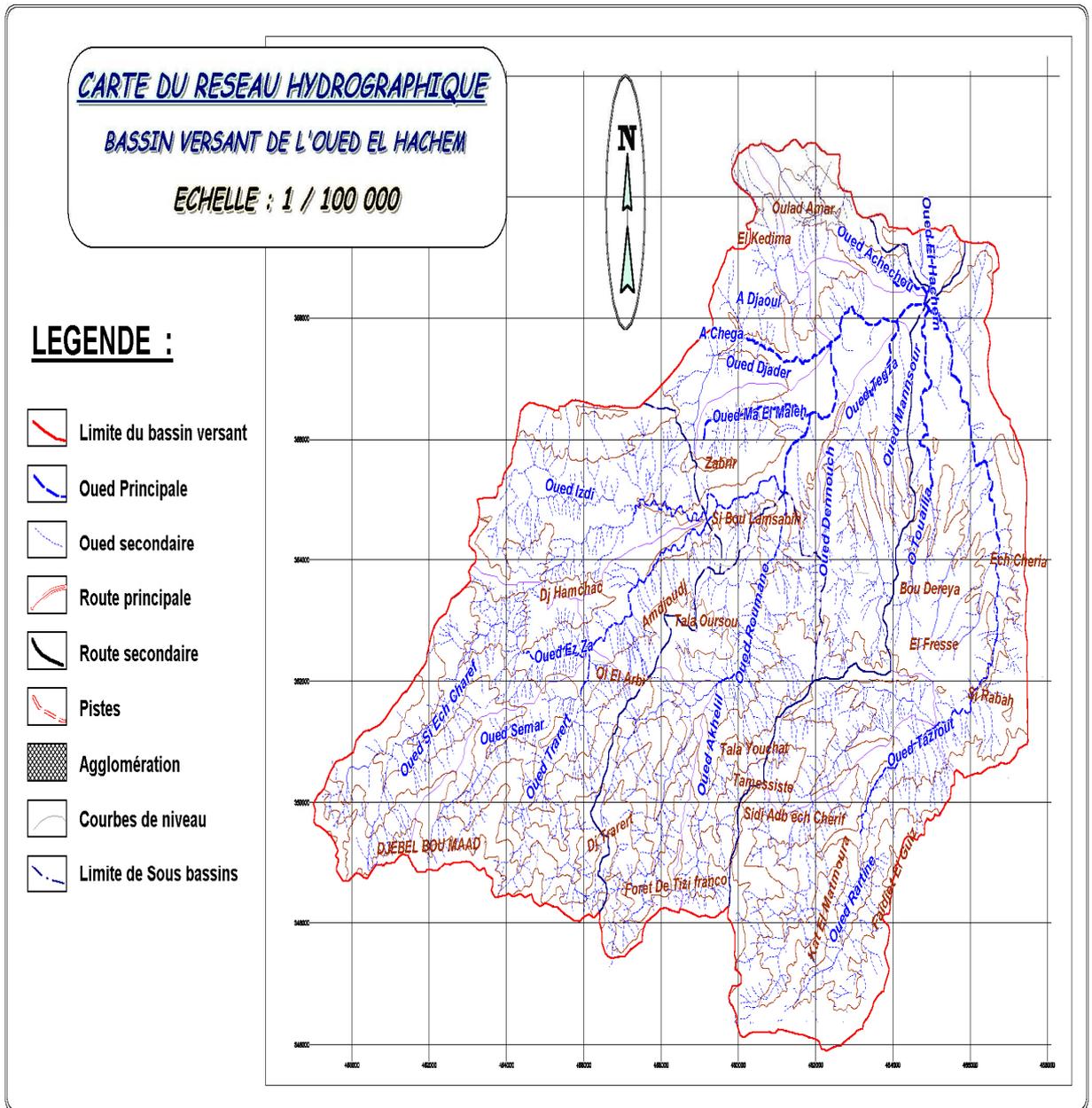


Figure 2.2 : Réseau hydrographique avec sous bassins

2.3.2 Le climat

Le climat de la région est caractérisé par un hiver doux et un été chaud on détaillera si dessous les différents états climatiques.

- A/ Précipitations : La région est pourvue de précipitations qui varient entre 600 et 800 *mm/an*. Celles de la station de *Boukourdane* (mise en service 1988) Atteignent 521 *mm/an* (moyenne sur les 10ans). Cependant la station de *Menaceur* les précipitations atteignent 650 *mm/an* (moyenne sur 25 ans)[23].

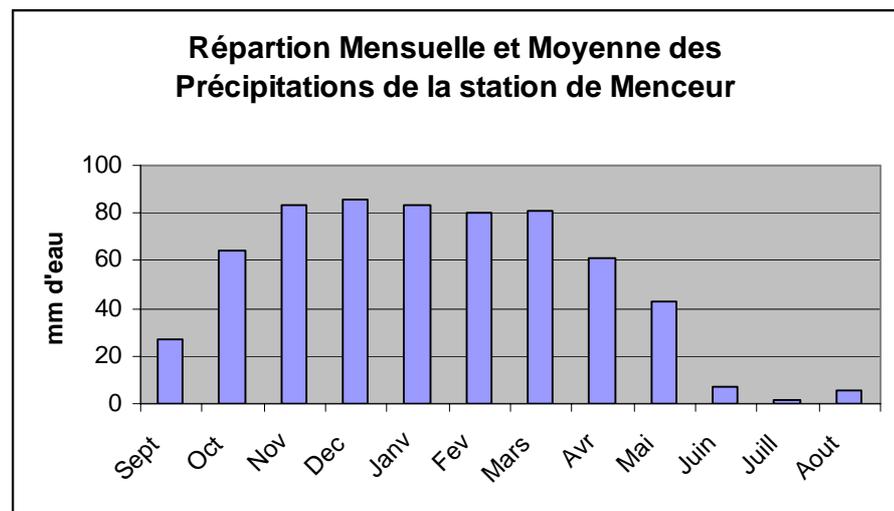


Figure 2.3 : Précipitations stations Menaceur

L'histogramme des précipitations (figure 2.3) montre que les pluies sont concentrées sur une partie de l'année d'une période d'octobre à mars. Elles sont intenses aux mois de novembre, décembre et mars. Leur maximum est atteint durant les mois de décembre et mars.

La répartition mensuelle moyenne est favorable 08 mois sur 12 à partir du mois d'octobre jusqu'à mai, ils sont favorables pour la céréaliculture et l'arboriculture fruitière. La pluviosité se caractérise par sa torrencialité dont les conséquences sur le milieu physique .

Sont graves notamment sur les terrains nus. Ces pluies martèlent le sol, détruisent sa structure et provoquent l'érosion par la suite.

- B/ La température : la température est surtout intéressante sous deux aspects :
 - la moyenne des minima du mois le plus froid
 - la moyenne des maxima du mois le plus chaud.

On constate que les températures dans notre zone d'étude sont soumises aux influences maritimes qui régularisent les amplitudes en atténuant les maxima et en augmentant les minima.

Tableau 2.3 : Données des températures

Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Janv	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Moy
Tmax(°c)	29	26,3	20,2	16,4	14,2	14,	16,5	18,3	21,4	27,4	30,9	31,9	22,3
Tmin(°c)	16,6	15,1	12,2	9,1	7,1	7,7	9,3	11,5	13,1	16,1	19,0	30,3	13,92
Tmoy(°c)	22,8	20,7	16,2	12,7	10,7	11,3	12,9	14,9	17,3	21,7	25	31,4	18,13

2.4. Morphométrie du bassin versant au droit de la station de bordj ghobrini

L'utilisation des différents types de paramètres morpho métriques a pour but la quantification des facteurs caractéristiques au milieu physique d'un bassin versant. Les principaux paramètres morpho métriques qui agissent sur la variation du régime hydrologique sont : la densité du drainage et le coefficient de torrentielle servant souvent à nous renseigner sur le taux de saturation d'un bassin versant, et nous permet d'avoir une notion sur l'aptitude à l'érosion.

2.4.1. Les caractéristiques de forme

A/ Indice de Compacité [34]

D'après (P-DUBREUIL) a fait remarquer que cet indice sert à mesurer la compacité du bassin, c'est à dire connaître la plus au moins grande vitesse de concentration à l'exutoire des eaux de ruissellement.

Donc la forme du bassin et sa caractéristique comme elle été signalée est mesurée par : le coefficient K_c de Graveluis ou indice de Graveluis ou coefficient de forme. Il se définit comme le rapport du périmètre du bassin versant (P) au périmètre du cercle de même surface que ce bassin.

$$K_G = P / (2 * (\lambda \cdot A)^{-1/2}) = 0.28P(A)^{-1/2} \quad (2.1)$$

Avec :

A : Surface des bassins versants en (km²).

P : Périmètre du bassin versant.

Cet indice est égal à 1 pour un bassin circulaire et croit d'autant plus que la compacité diminue.

Dans le bassin de l'oued El –Hachem le coefficient et de :

$$K_c = 1.412 \quad (2.2)$$

B/ Les indices de pente

Se déterminent à partir de la connaissance de la répartition hypsométrique sur les bassins. Parmi les indices de pente les plus utilisés on trouve :

- L'indice de pente (IP) de Roche

Pour obtenir cette détermination avec la précision désirée on a admis que la dénivelé D , soit au moins égale à cinq fois l'équidistance d des courbes de niveau dessinées sur la carte.

$$D=5*d=100m \quad (2.3)$$

L'équidistance entre les courbes étant de 20m

L'indice de pente IP de Roche ce calcul ainsi :

$$IP = L^{-1/2} \cdot \sum(ai \cdot di)^{1/2} \quad (2.4)$$

ai : Fraction en % de la surface A comprise entre deux courbes de niveau voisines distantes de di .

- Indice de pente globale (IG) :

Cet indice à l'avantage d'être plus simple. Il est égale au rapport de la dénivelée utile D (qui s'inscrit à 90 % de l'aire du bassin) et la longueur du rectangle équivalent (Le).

$$IG = \frac{D}{Le} \quad (2.5)$$

$D : 5*d=100m$

$D = H5 \% - H95 \%$

Le : Longueur du rectangle équivalent (Km).

C/ Classification de l'ORSTOM

Selon la classification de l'ORSTOM . Les résultats sont synthétisés comme suit :

$DS < 10 \text{ m}$: relief très faible

$10 \text{ m} < DS < 25 \text{ m}$: relief faible

$25 \text{ m} < DS < 50 \text{ m}$: relief assez faible

$50 \text{ m} < DS < 100 \text{ m}$: relief modéré

$100\text{m} < DS < 200 \text{ m}$: relief assez fort

$250 \text{ m} < DS < 500 \text{ m}$: relief fort

$DS > 500 \text{ m}$: relief très fort

DS : dénivelée spécifique : peut influencer par la superficie, c'est pourquoi, elle est aussi de comparaison entre différents bassins versants.

Elle est déterminée par le produit de la pente globale et la surface du bassin.

A partir de cette classification on peut placer notre bassin versant dans la catégorie de relief

$$DS = IG \cdot 156^{1/2}$$

D/ Densité de drainage (D_d)

Elle exprime la longueur moyenne du réseau Hydrographique sur une superficie de 1 km² du bassin versant, comme elle Permet de quantifier la densité du chevelu hydrographique. Son calcul se fait à l'aide de la formule :

$$D_d = Li/S$$

D_d : Densité de drainage (km /km²)

Li : longueur totale des oueds de tous ordres

E/ Coefficient de torrentialité (CT)

Ce coefficient exprime la torrentialité dans le bassin versant et sa sensibilité à l'érosion il se calcule par l'équation suivante :

$$C_T = F1 \cdot D_d$$

$F1$: Le nombre d'oued primaire (d'ordre 1) par la superficie du bassin versant.

F/ Temps concentration (T_C)

Le temps de concentration (T_C) est la durée nécessaire pour que la pluie tombée sur le point le plus éloigné, du point de vue hydrologique, de l'exutoire atteigne celui-ci . En d'autre terme, il exprime la torrentialité de l'abondance fluviale d'un bassin versant.

Pour sa détermination, il existe plusieurs formules empiriques, cependant la formule de GIANCLOTTI semble être la plus efficace pour les oueds Maghrébins [3].

$$T_C = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_{MOY} - H_{min}}} \text{ (Heures)}$$

L : longueur de Talweg principal (km)

H_{moy} : Altitude moyenne (m)

H_{min} : Altitude minimale (m)

G/ Vitesse de ruissellement ou de transfert

La vitesse de ruissellement dite aussi de transfert (V_r) est souvent utilisée pour la quantification des apports liquides des oueds, elle exprime :

$$V_r = \frac{L}{T_C}$$

V_r : Vitesse de ruissellement (km / h)

L : longueur de talweg principal (km)

T_C : Temps de concentration (heure)

Tableau 2.4 : Données morpho métriques

Superficie (km ²)	156.00
Périmètre (km)	63.00
Long. Talweg Principal (km)	34.00
Altitude moyenne (m)	387.00
Altitude minimale (m)	14.00
Altitude maximale (m)	1417
Long. Rectangle équivalent (km)	21.50
Indice de compacité	1.412
Indice de pente	0,22
Dénivelée simple	34.32
Densité du drainage	3.10
Coefficient torrentialité	27.30
Temps de concentration (heure)	6.53
Vitesse ruissellement (Km/h)	1.27

2.5. Etude du milieu naturel

L'analyse intégrée du milieu naturel est considérée comme une démarche scientifique relativement lourde et complexe. Elle combine entre la saisie d'informations sectorielles représentées par les différents paramètres naturels, relief, géologie, climat, hydrologie, végétation et occupation du sol.

Cette démarche qui comporte une vision globale du milieu offre un double avantage d'abord celui de réunir une documentation dispersée et mettre en place des systèmes de relation entre les différents éléments du milieu déjà connu.

En effet la cartographie constitue la base de l'inventaire préliminaire à toute étude du milieu physique. Elle forme une banque de données spécialisées conçue selon un modèle reproductible à différents thèmes.

La méthode d'approche utilisée repose essentiellement sur l'élaboration des cartes de base suivantes :

2.5.1. la carte de relief

Cette carte élaborée à échelle (1/100.00) ème constitue un document de base pour l'analyse des données topographiques.

Le relief général de la zone est très accidenté, il est formé par des pentes de grandes lignes de crêtes orientées dans le sens Nord-Est.

Afin d'avoir une vue d'ensemble sur l'ampleur et la répartition du relief dans le bassin versant de l'Oued El-Hachem, un croquis de l'échelle de 1/100.000 (Figure-5) a été élaboré.

La carte établie subdivise le périmètre d'étude en différentes classes hypsométriques de 200m de dénivellation (courbes maîtresses).

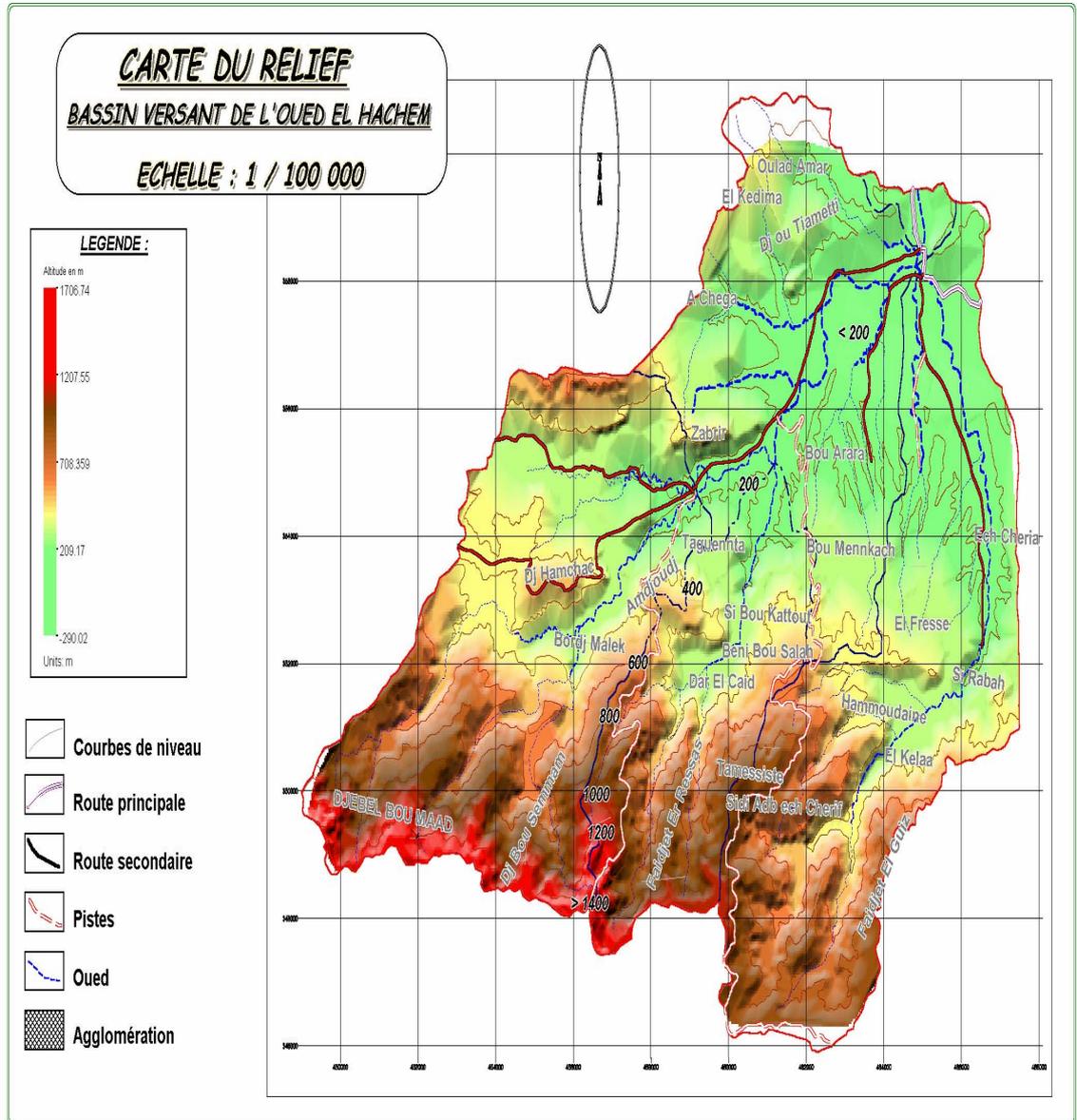


Figure 2.4 : Carte de relief

Les différents domaines qui composent le relief sont planimètres et leurs valeurs indiquées par le tableau suivant :

Tableau 2.5 : Répartition relief dans le bassin versant

Altimétrie	Superficie (hectares)	%	Unité topographique
<200	2730,04	17,5	Zone de plaine
200	5533,59	35,47	
400	2714,47	17,40	
600	1708,2	10,95	
800	1668,43	10,69	Zone <u>colinéaire</u>
1000	852,92	5,46	Zone montagneuse
1200	351,03	2,25	
>1400	44,78	0,28	
Surface Total		100%	

❖ Détails en topographie

La zone de plaine prédomine dans le bassin versant de l'oued El-Hachem avec 8263,63 hectares ce qui représente 52,97% de la superficie totale (S.T) de l'aire d'étude.

Elle est suivie par une zone collinaire avec une superficie de 6091,1 hectares (39,04% de la superficie total) suivie par un relief montagneux d'une superficie de 1248,73 hectares (8,004% de la S.T) il ne constitue qu'une faible proportion du relief du bassin versant.

Par ailleurs, l'exposition des versant est un facteur important dans l'analyse du milieu naturel puisqu'il conditionne les micro-climats et l'activité des végétaux en général. Il nous indique relativement le degré de l'humidité d'un versant à l'autre.

L'exposition du bassin versant est du : Nord au Nord –Est.

Dans le but de cerner d'avantage l'énergie du relief dans le bassin versant, on donne le système de pente qui le compose et sa répercussion sur la fragilité du milieu.

2.5.2. La carte des pentes

Le facteur pente est considéré l'un des éléments les plus dominants du relief qui permet de quantifier son énergie.

Les pentes peuvent dans certains cas constituer une contrainte majeure du fait qu'elle contribue au choix des techniques culturales des systèmes d'irrigation et des procédés de correction torrentiels.

C'est à cette finalité qu'on a établi la carte de pente à l'échelle 1/100.000.

Les pentes sont représentées en pourcentage regroupé en classes grâce à la formule suivante.

$$Pente\% = \frac{\text{Equidistance des courbes de niveau} * 100}{\text{Inter - courbes}}$$

Les classes de pentes que nous retenons sont au nombre de cinq permettant de faire déjà la distinction entre le domaine forestier et le domaine agricole (voir figure *des pentes*).

Ce choix est étroitement lié aux phénomènes d'érosion, aux techniques culturales et techniques anti-érosives.

A/La classe (1) de pente 0 à 6% :

Correspond généralement à un relief de plaine de plateaux, de replats de versant ou de terrasses alluviales.

Ces pentes n'exigent pas l'application de mesures anti-érosives et s'apprêtent à toutes les utilisations possibles selon la qualité des sols et les possibilités d'irrigation.

B/La classe (2) de pente 6 à 12,5% :

Représente la zone de piémont. Elle nécessite la prise de certaines précautions telles que les labours dans le sens des courbes de niveaux, pratique de l'arboriculture.

C/La classe (3) de pente de 12,5 à 25 % :

Constitue une zone mixte qui regroupe les hauts de piémonts et la montagne. Son exploitation pour l'arboriculture demeure possible mais exige des précautions à même d'éviter les phénomènes d'érosion.

On y rencontre surtout de l'arboriculture rustique des forêts de protection et de production et des zones de parcours.

D/La classe (4) de pente 25 à 35% :

Ce sont des terrains qui composent la zone montagneuse impropre à l'agriculture dite à vocation forestière mais peut supporter d'autres utilisations à la condition d'appliquer des mesures anti-érosives strictes.

On peut donc y maintenir de l'arboriculture tout en développant les techniques culturales anti-érosives.

E/La classe (5) de pentes >35% :

Sur ces terrains où l'activité agricole est normalement exclue, les occupations qui prédominent relèvent beaucoup plus du domaine des (forêts, maquis, erme)

Il y a lieu de signaler que la majorité des terrains érodés sont situés sur ces pentes fortes.

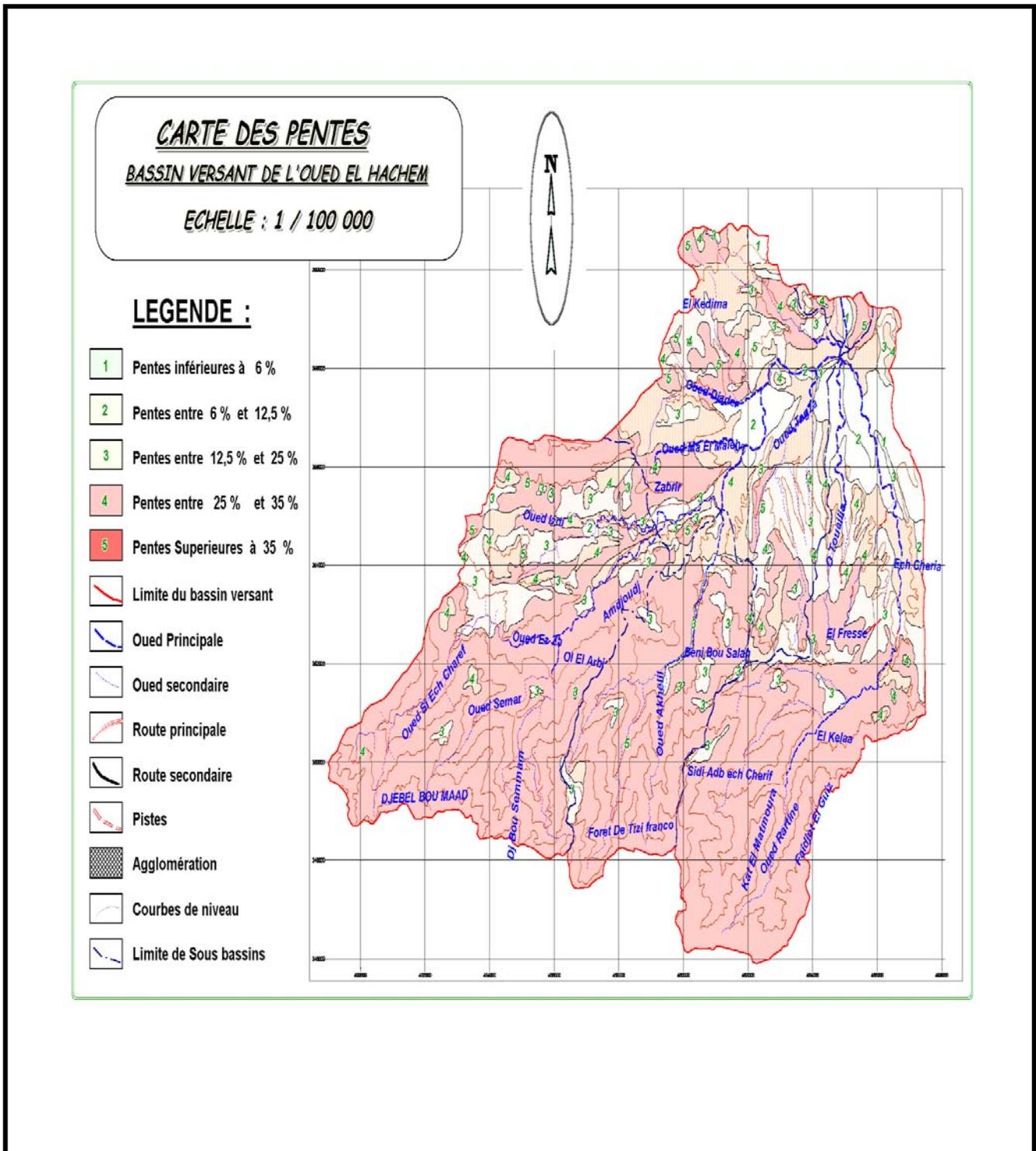


Figure 2.5 : Carte des pentes

On remarque en observant la carte de pentes. La relative rudesse du relief et son caractère accidenté surtout dans la partie sud du bassin versant de l'oued El-Hachem.

Le planimétrage des différentes classes de pentes ont permis de visualiser la prédominance des pentes forte dans la classe (5) de pente >35%

Celle-ci est de l'ordre de 9658,5 hectares ce qui représente 61,91% de la superficie total du bassin versant.

Les pentes faibles regroupées dans la classe 0-6% se localisent principalement au Nord du bassin versant.

Elles correspondent généralement aux terrains alluviaux et totalisent 351 hectares soit 2,25% de la superficie totale du bassin versant de l'oued El-Hachem.

Quand aux pentes moyennes comprises entre 6 et 12,5%, elles constituent les zones de transition entre les versants à fortes pentes et les terrains relativement plats. Dans certains cas, elles sont assimilées aux zones de piémont. Leur étendue atteint 521,3 hectares soit 3,34% du bassin.

Les pentes comprises entre 12,5 à 25% et 25 à 35% s'étendent respectivement sur 2655,6 ; 2413,6 hectares. Soient 17,02% ; 15,47% de la surface du bassin versant de l'oued El-Hachem.

Tableau 2.6 : Répartition de la superficie totale par classes des pentes

Code	Classes de pente	Superficie	%St
A	0-6%	351	2,25
B	6-12,5%	521,3	3,34
C	12,5-25%	2655,6	17,02
D	25-35%	2413,6	15,47
E	>35%	9658,5	61,91
Superficie	Total(Hectares)	15600	100,00

Parmi les facteurs considérés à l'origine de la dégradation dans le bassin versant de l'oued El-Hachem, la lithologie figure en bonne place.

2.5.3. La carte lithologique

La carte géologique de Marceau (61) (L Glangeaud) existante est à petit échelle et ne donne qu'un aperçu très général sur la lithologie et la structure de cette région. Nous avons donc procédé à l'établissement de la carte lithologique à partir des relevés de terrain sur carte au 1/50000 concerne la feuille N°61 de Marceau et Cherchell- Gouraya N°38-39 en utilisant les figures conventionnelles indiqués par la notice descriptive et explicative de ces deux feuilles.

❖ Au point de vue structure géologique :

L'ensemble des terrains se situe dans l'atlas littoral, plus précisément à l'Est de Cherchell, au pied du massif du Chenoua séparant la plaine de l'oued El-Hachem de la mer Méditerranée [20].

Le secteur étudié appartient au tell septentrional comprenant les noyaux Kabyles, la chaîne calcaire et les flyschs Sud et Nord Kabyles.

De part et d'autre de ces chaînes d'orientation Est-Ouest, nous avons des dépressions occupées par des sédiments néogènes et quaternaires

a^{1-2} : Alluvions récentes.

Ces alluvions sont constituées par des cailloutis avec des galets schisteux sont généralement très peu sableuses et souvent limoneuses.

Au Nord –Est du bassin, les affluents de l'Oued El-Hachem coulent dans de petites alluviales étroites, présentant des lentilles sableuses et argileuses. Dans des puits creusés aux environs de Zurich, l'épaisseur de ces alluvions atteint 4m50.

q^2, q^3 et q^4 : Alluvions anciennes.

Se présentent généralement sous forme de petits lambeaux difficiles à figurer sont généralement développés dans le bassin versant et sur les cônes d'alluvions limitant Marceau à L'Est.

Ces alluvions composent de hautes terrasses de 30 à 60m ; 60 à 90m et de 90 à 100m, sont formés de galets bien roulés ne présentent aucun encroûtement calcaire.

p_1 : Cailloutis.

On trouve de sable, grès et argiles sableuses.

mp : Marnes.

Marnes de couleur bleue dite du Sahel, sont intercalés par des niveaux gréseux dé triques m^2c et m^2a avec des lentilles d'argiles.

Par endroits, il existe des intercalations de tufs éruptifs correspondant aux zones volcaniques.

c^{7-8} : Marnes et calcaires.

Cette formation de 200 à 700m d'épaisseur.

Rhyolites : Roches éruptives $m^{1-2-3}p\Delta - m^{1-2-3}r$.

Caractères volcaniques, au moyen du bassin versant de Marceau présente un grand développement de roches éruptives (laves et tufs)

Au Nord et à l'Est, les formations éruptives passent latéralement à des marins intercalés dans le Miocène.

Les tufs $m^{1-2-3}T$ repris dans le Miocène, peuvent être constitués uniquement par des éléments volcaniques.

Schistes :

Formation de schistes argileux avec des lentilles de calcaires.

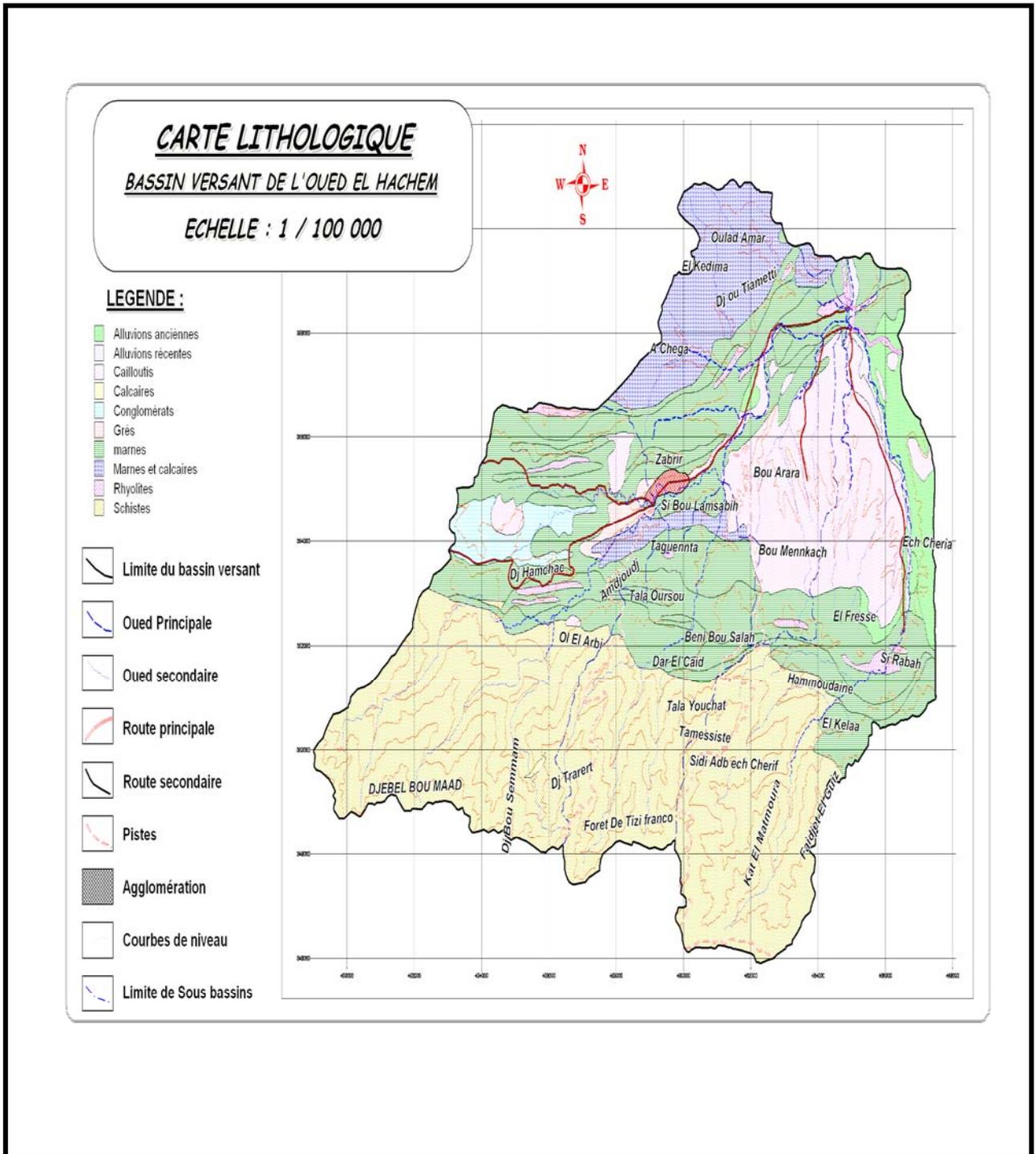


Figure 2.6 : Carte lithologique

- ❖ L'occupation du sol reflète les conditions générales du bassin versant.

2.5.4. La carte d'occupation du sol

La carte de l'occupation du sol dressée à partir de la photo interprétation et la vérification sur le terrain, établie à une échelle de 1/100 000 éme. Cette carte constitue un élément de base quant à l'étude et l'analyse des facteurs naturels et humains des zones à aménager.

En faisant apparaître l'utilisation actuelle de l'espace et tenant compte de l'action anthropique, nous donne déjà un aperçu sur l'état d'équilibre naturel et des potentialités diverses de la zone d'étude à travers les données suivantes :

- Taux de boisements de la zone d'étude ;
- L'état des peuplements forestiers et des formations végétales basse ;
- L'importance des terrains de culture et des ermes, des terrains en friche exploités en parcours ;
- La connaissance des espèces végétales particulièrement adaptées aux conditions naturelles.

- ❖ Elaboration de la carte d'occupation du sol [25]

Nous résumons les étapes de l'élaboration de la carte par les étapes suivantes :

1°/Plan d'exécution

- Le tri des photos aériennes couvrant le bassin versant (le bassin versant de l'Oued El-Hachem)
- Le positionnement des photos par rouleaux de prise (R51) de photos (les photos sont positionnées par bandes et par ordre numérique) selon la carte .Dans notre bassin versant on a utilisé 4 bandes.
- Une fois localisées, on passe à la phase d'interprétation de chaque photo de la bande au moyen de stéréoscope, et faire le recouvrement de chaque couples de photos.

2°/Interprétation

L'interprétation de la photo se fait comme suit :

- Repérage du Nord géographique sur la photo.
- Choix du rectangle utile (on prend deux photos consécutives de la même bande).
- Mise au point des deux photos par les lunettes du stéréoscope.
- Délimiter les lignes marquantes (routes, Oued, ligne de crête limite de forêt).
- Rechercher les détails et les lignes marquantes sur le rectangle utile.
- Reporter l'information prise du rectangle utile sur la matrice et l'interpréter.
- Faire une légende à la carte.
 - J'ai établie cette carte au sein de l'atelier de cartographie du B.N.E.D.E.R .Sur la carte sont représentées les occupations réparties dans le tableau ci-dessous :

Tableau 2.7 : Répartition de la superficie par occupation du sol

Domaine	Code	Occupation	Superficie(Ha)	% ST
Forestier	F1	Forêt dense	4152,65	26,61
	Mc	Maquis clair	2561,15	16,41
	Md	Maquis dense	812,78	5,21
	Mc/Te	Maquis clair /Terrain érodé	309,65	1,98
S-Total			7836,23	50,23
Agricole	Ta	Terrain agricole	4253,23	28,3
	Ta/Te	Terrain agri/terrain érodé	77,31	0,49
	Ta/DRS	Terrain agri/DRS	220,92	1,41
	Tf	Terrain en friche	363,71	2,33
	Hp	Habitat et polyculture	71,07	0,45
	Ar		114,51	0,73
S-Total			5100,75	34,71
Divers	Te	Terrain érodé	2579,57	16,53
	Aff	Affleurement	36,50	0,23
	Agg	Agglomération	46,98	0,30
S-Total			2663,05	16,06

1/Domaine Forestier

- ◆ Forêt : La forêt correspond à toute surface couverte par un tapis végétal de type arborescent (dépassent 7m de hauteur selon T.IONESCO).Le taux de recouvrement nous a permis de distinguer une forêt dense qui occupe une superficie de 4152,65 hectares d'un taux de 26,61%.
- ◆ Maquis : Sont regroupés sous ce terme les formations arbustives dont la hauteur n'excède pas 7m ainsi que la formation sous arbustive, parfois cette formation abritent quelques sujets de pin d'Alep ou de chêne liège.
On peut distinguer un taux de 16,41% d'un maquis clair quand au celui d'un maquis dense est de 5,21%.

La surface totale du domaine forestier est de 7852,23 d'un taux de 50,23%.

2/Domaine Agricole

Toutes les terres qui sont d'une activité agricole (cultures extensives, en intensives et arboriculture, Ta et HP ou qui l'on été avant d'être abandonnées (terrains friches) appartiennent à cette catégorie on distingue :

❖ Habitats et polycultures

Elles représentent la zone d'habitations éparses qui se distingue des agglomérations par l'entretien d'une activité agricole diversifiée. Elles occupent 71,07 hectares d'un taux de 0,45%.

❖ Terrains en friche

Ils s'apparentaient à plus d'un titre aux terrains de grandes cultures dont ils faisaient parties d'un passé récent. Elles sont actuellement abandonnées au profit du pâturage. Le plus souvent elles se confondent avec les zones des fortes pentes.

Les parties traitées en banquettes du DRS résultent des parties travaillées mais délaissaient à cause de la pente et la baisse des rendements.

Son taux est de 2,33%.

❖ Arboriculture

L'arboriculture fruitière est organisée en deux systèmes en sec et en irrigué. La première catégorie est représentée par les vignes. Par contre les vergers en irrigués se situent dans la plupart des cas tous près des principales sources d'eau.

3/Autres occupations

Nous avons englobé sous ce terme, le reste des surfaces démunies de végétation et des sols (terrains nus et érodés), ceux-ci constituent avec 2579,57 hectares soit 16,53% de l'étendue du bassin versant, ces derniers supposent l'absence totale de toute végétation ou de sol. Ainsi on distingue des surfaces en affleurement rocheux de 36,5 hectares irrécupérables du fait de leur dureté et l'absence d'un sol.

CARTE DE L'OCCUPATION DES TERRES

BASSIN VERSANT DE L'OUED EL HACHEM

ECHELLE : 1 / 100 000

LEGENDE

-  Affleurement rocheux
-  Agglomération
-  Arboriculture
-  Forêt dense
-  Habitat et polyculture
-  Maquis clair
-  Maquis clair/Terrain érodé
-  Maquis Dense
-  Terrain agricole
-  Terrain Agricole/DRS
-  Terrain Agricole/terrain érodé
-  Terrain érodé

Autre indications :

-  Courbes de niveau
-  Route principale
-  Route secondaire
-  Pistes
-  Oued

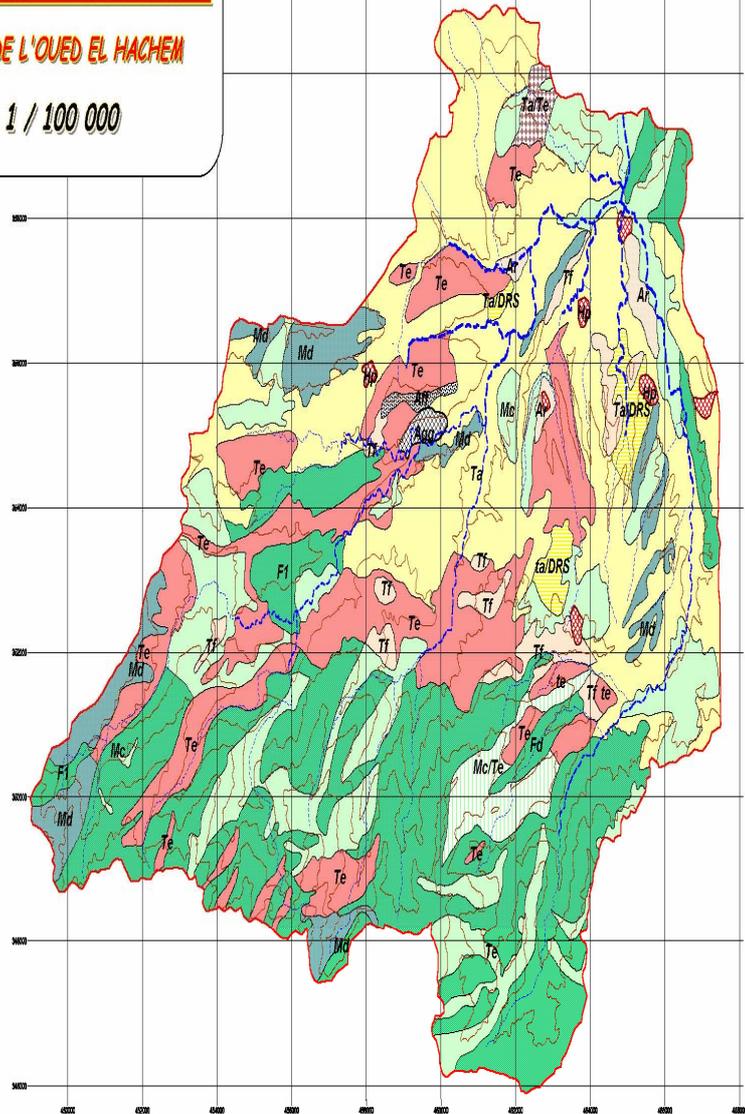


Figure 2.7 : La carte d'occupation du sol

2.6. Evaluation spatiale de l'érosion dans le bassin versant de l'oued El-hachem

L'analyse de l'état actuel du bassin versant à travers l'étude des différentes composantes du milieu permis de dégager certaines contraintes à l'amélioration du bassin versant de l'oued El-Hachem [26].

2.6.1. Définition

La contrainte est un obstacle ou un empêchement à la mise en application d'un aménagement elle est aussi un facteur limitant.

Ces contraintes découlent soit de facteurs physiques tels que les sols, le climat, les pentes, la lithologie, le couvert végétal ; soit de facteurs anthropiques, comme le système de culture (méthodes et pratiques culturelles inadéquates), le surpâturage, le manque d'équipement et d'infrastructure[27].

2.6.2 Classement des contraintes

Le regroupement de diverses contraintes rencontrées dans l'oued El-Hachem s'est effectué selon leur ordre d'importance, des plus faibles au plus intenses.

C'est ainsi que trois classes de contraintes ont été dégagées, il s'agit de :

2.6.3 Contraintes faibles

On considère comme contraintes faibles tous les éléments dont l'influence sur le milieu est peu marquée. Elles doivent être atténuées au maximum par des mesures appropriées afin d'enrayer toutes possibilités de développement futur de ces contraintes.

On a classé dans cette catégorie les contraintes suivantes :

- Les pentes comprises entre 3 et 12,5% et plus lorsqu'elles sont protégées par une couverture végétale dense.
- Les roches perméables qui facilitent l'infiltration au détriment du ruissellement
- Les zones d'érosion presque nulle.
- Les zones d'habitat et polyculture rationnellement exploitées.

2.6.4. Contraintes moyennes

Ces contraintes du fait de leur position entre les contraintes faibles et les contraintes fortes incitent davantage l'aménagiste à les considérer à leur juste valeur.

Ce type de contraintes contrairement aux précédentes cache souvent un aspect insidieux généralement difficile à déceler au premier abord et qui peut se déclarer subitement.

Les contraintes moyennes concernant sont:

- Les pentes oscillant entre 12,5 et 25%
- Les roches tendres et imperméables sujettes au ruissellement.
- La couverture végétale moyennement dense à claire.
- Les zones d'érosion moyenne.

2.6.5. Contraintes fortes

L'incidence de ces contraintes sur l'envasement du barrage de Boukourdane est évidente.

Les apports qui contribuent à l'envasement du barrage proviennent des zones du bassin versant de l'oued El-Hachem affectées par ces contraintes.

Sont considérées comme contraintes fortes :

- Les zones de pentes supérieures à 25% dénudées.
- Les roches tendres friables très érodables.
- Les zones d'érosion forte à intense.
- Les zones de surpâturage.

A partir de ce classement des contraintes et sur la base des différentes cartes thématiques réalisées (carte lithologique, de pente, d'occupation du sol) on a procédé à l'élaboration de la carte de sensibilité à l'érosion du bassin versant de l'oued El-Hachem, où apparaissent quatre classes.

Afin de les distinguer, ces classes d'érosion portent une lettre alphabétique et une couleur.

Le planimétrage de la carte de sensibilité à l'érosion donne les résultats suivants :

C'est ainsi qu'on obtienien :

- Classe presque nulle. A-
- Classe peu sensible. B-
- Classe moyennement sensible. C-
- Classe d'érosion extrêmement sensible D-

Tableau 2.8 : Répartition de l'érosion dans le bassin versant de l'oued El-Hachem.

Classes d'érosion	A	B	C	D	Agglomération	Total (Ha)
Superficie (Ha)	392,24	887,13	12049,08	2226,33	45,69,36	15600

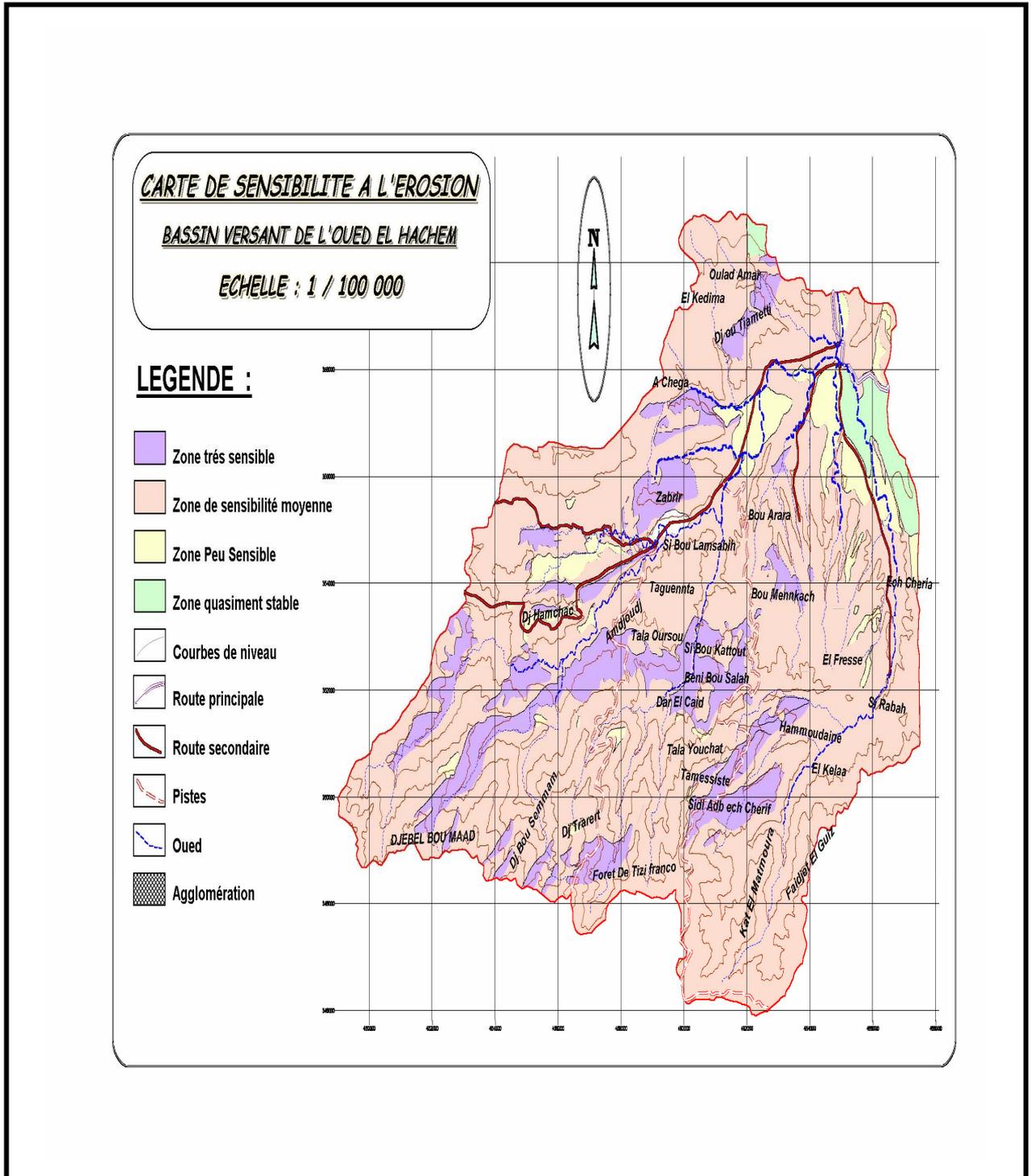


Figure 2.8 : La carte de sensibilité à l'érosion

Ainsi chaque aire d'érosion est définie, décrite et comparée à la totalité du bassin versant.

A/Aires d'érosion presque nulle

Cette classe englobe les parties du bassin versant où presque aucun processus érosif n'est visible du fait de la consistance d'un couvert végétal relativement dense constitué par une forêt de chêne vert, chêne liège associé à du pin d'Alep.

Cette aire d'une superficie de 392,24 hectares représente 2,51% du bassin versant. Elle s'étend sur la partie de l'oued El-Hachem .

Malgré la présence de fortes pentes qui varient entre 25 et 45% ,on remarque une relative stabilité du milieu.

La carte de l'érosion laisse apparaître au sein de l'aire d'érosion presque nulle situé dans le massif forestier des formes d'érosion faible et moyenne. Qui découlent sans doute de la détérioration de la couverture forestière.

B/Aires d'érosion peu sensible

L'érosion faible ou peu sensible s'observe sur la partie centrale du bassin versant, elle s'étend sur une superficie de 887,13 hectares soit 5,68% de la superficie totale du bassin versant

L'érosion peu sensible est provoquée par l'eau de ruissellement conjuguée à une lithologie érodable (marnes, argiles) à un système de pentes énergétique et surtout à une faiblesse de couverture végétale.

Elle découle dans certains cas d'un système de culture anti-érosif, elle constitue la première étape qui mène vers l'aggravation des processus et d'érosion.

C/Aires d'érosion moyennement sensible

Issues généralement d'une aggravation de l'état d'érosion précédent et illustrant bien une évolution régressive, ces aires d'érosion moyenne démontrent bien que les mesures de lutte anti-érosive sont soit inexistantes soit inefficaces.

L'érosion moyenne s'étale sur une superficie de 12049,08 hectares soit 77,23% du bassin versant, elle s'observe dans la quasi-totalité du bassin versant.

Elle affecte les terrains nus ou inoccupés. L'utilisation irrationnelle de ces terres a facilité le passage du stade d'érosion faible à celui d'érosion moyenne

Le même cas de figure se répète quant à l'évolution de cette érosion moyenne vers une érosion forte et intense.

D/Aires d'érosion forte (extrêmement sensible) :

S'étalant sur 2226,33 hectares soit 14,27% du bassin versant cette érosion forte n'est que la continuité ou si l'on veut l'aggravation des processus répertoriés dans les classes d'érosion précédentes.

Les aires d'érosion forte se concentrent surtout dans la partie amont du bassin versant. Ces aires d'érosion exigent plus que toutes autres l'attention de l'aménagiste. Ceci provoqueront leur perte quasi-définitive et accélèra l'envasement du barrage de Boukourdane.

2.7. Conclusion

Ces différentes aires d'érosion sont en constante évolution et exigent dès à présent une attention particulière du fait qu'elles constituent la réserve potentielle d'envasement du barrage de Boukourdane et appauvrissement accéléré des sols.

A la moindre pluie, toutes les torrents, surtout ceux développés dans les marnes se chargent de matériaux fins prenant la couleur boueuse caractéristique.

L'importance de ces aires indique l'ampleur des travaux de protection à prévoir. L'utilisation de la cartographie dans l'analyse du milieu naturel, nous a permis d'affirmer que le relief du bassin est accidenté, la carte des pentes et d'occupation du sol, nous ont permis de détecter les zones fragiles sujettes à une érosion déstabilisatrice du milieu naturel.

En plus, la cartographie apparaît comme le meilleur moyen de traitement rapide de l'information.

CHAPITRE 3

EVALUATION DU TRANSPORT SOLIDE EN SUSPENSION ET PAR CHARRIAGE DANS L'OUED EL –HACHEM AU DROIT DE LA STATION DE BORDJ GHOBRI NI RT MESDOUR

3.1. Introduction

Le suivi de l'évolution quantitative des processus du transport solide se présente comme très utile dans l'aboutissement au succès des interventions d'aménagement dans les cours d'eau.

A l'importance de ces processus, s'opposent la rareté des données relatives au transport solide et en particulier le transport de fond.

Le phénomène du transport solide est conditionné principalement par les caractéristiques hydrauliques des cours d'eau ainsi que par les processus érosifs opérant sur les versants, ces derniers étant généralement, la principale source d'apport en sédiment[5][28].

3.2. Hydrographie du bassin versant

Les précipitations et l'écoulement sont deux facteurs importants en ce qui concerne l'érosion en sol. L'intensité de pluie agit comme source d'énergie pour la séparation des particules du sol, et l'écoulement comme moyen de leur ruissellement.

3.4. Stations hydrometriques

Les stations hydrométriques qui sont au nombre de deux sont installées dans le bassin de l'oued *El-Hachem* pour l'estimation des débits dans l'oued. Ces stations se situent en aval en amont.

❖ La station de *Bordj-Ghobrini*, située à :

$$X=460,65$$

$Y=367,00$ elle est à l'aval du barrage de *Boukourdaneet est* actuellement à l'arrêt(1993)

❖ La station de *Mesdour*, située à :

$$X=461,85$$

$$Y= 356 ,45 \text{ elle est à l'amont du barrage de } \textit{Boukourdane} \text{ (mise en service1992)}$$

3.5. Présentation des données

La collecte et la mise en forme des données hydrométriques constituent une étape très importante elle représente la base de notre travail.

3.5.1 Collecte des données

La collecte des données brutes recueillies auprès ses services de l'Agence Nationale des Ressources Hydriques était une phase très délicate. Les données disponibles constituent à établir des fichiers de :

- Débits liquides instantanées (m^3/s) à partir de la confrontation entre les hauteurs d'eau disponibles et la colonne des barèmes $Q=f(H)$.
- Concentration en (g/l) obtenue à partir des fichiers d'analyse des eaux.
- Débits moyens journaliers (m^3/s),à partir des annuaires.

3.5.2 Dépouillement des données

Nous avons collecté le maximum de données disponibles afin de pouvoir établir un modèle pour l'estimation des apports solides.

Nous disposons d'une série de 24 ans, allant de février 1974 à 1998, comportant 37 873 valeurs de débits liquide instantanés et de concentration en matière en suspension.

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

Les crues varient d'une année à l'autre, charriant une quantité de sédiments variable dans le temps. Il est à remarquer que nous ne disposons pas de toutes les valeurs relatives au transport solides lors des crues et notamment les crues torrentielles. Le régime de l'oued étant turbulent et très torrentiel, il est difficile à l'opérateur vu les moyens mis à sa disposition de procéder à un prélèvement d'échantillon.

3.6. Analyse statistique des données hydro-climatiques

3.6.1 Etude des précipitations

Bien que la notion de moyen pluviométrique ne reflète pas la réalité des faits climatiques, notamment en zone méditerranéenne, sa connaissance est indispensable pour aborder l'étude du régime des cours d'eau. Elle permet également, de cerner la variabilité des pluies sur de longues périodes d'observation ; cette variabilité doit être, sans doute, précisée par des moyens statistiques.

Le réseau hydro pluviométrique géré par l'ANRH dans la zone proposée à l'étude, se compose de quatre postes de mesure pluviométrique répartie selon les zones suivantes :

Tableau 3.1 : Postes pluviométriques

STATION	CODE	Cordonnées
Bordj-ghobrini	020301	X=460.50 ; y=376.05
Menaceur	020303	X=458.25 ; y=354.45
Iazabenrt	020304	X=462.35 ; y=352.15
Cherchell phare	020312	X= 454.35 ; y=368.00

3.6.2 Précipitation moyenne annuelle

La précipitation moyenne a été obtenue à partir de la carte de l'Algérie du nord cartes des isohyètes réalisées par H.GAUSSEN; M.CHAUMONT et C.PACQUIN, ces derniers ont réussi à présenter cartographiquement la variation spatiale de la pluviométrie annuelle moyenne donc la précipitation moyenne est égale à 650mm. [35].

3.6.3 Précipitation annuelles

L'analyse statistique des précipitations annuelles, dans le bassin versant de l'oued El-Hachem tableau 3.2 , l'utilisation du test de KHI DEUX pour la série d'observation de la station de Boukourdanne permet l'ajustement de cette dernière la loi de Gauss, les résultats sont illustrés dans la figure 3.2.

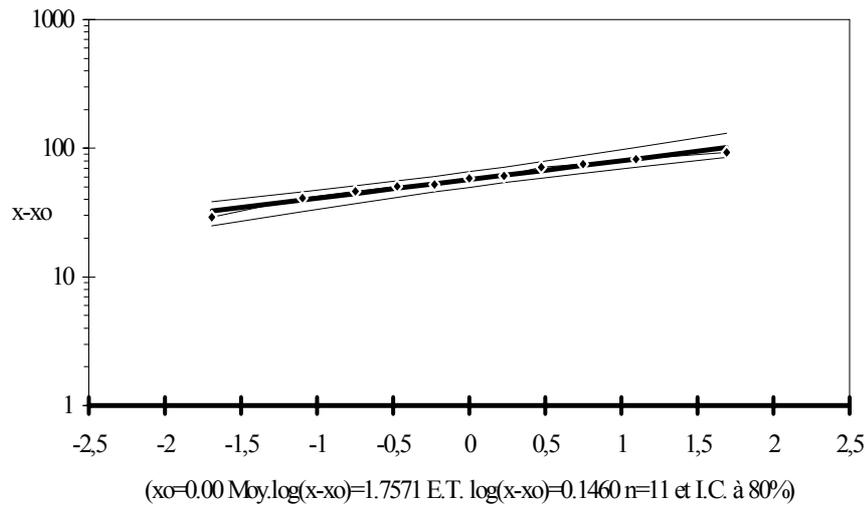


Figure 3.2: Ajustement à une loi Log-normale
des pluies maximales journalières
de la station de Boukourdane

Tableau 3.2 : Ajustement à une loi de GAUSS

Taille n=12		Moyenne=512,8833		h				
		Ecart-type=121,5368		I.C. à (en%)=80			U Gauss=1,2817	
Valeurs de	Valeurs	Ordre de	Fréquence	Variable	Valeur	Valeur	Borne	Borne
Départ	Classées	classement	Expérimentale	réduite	Expérimentale	théorique	inférieure	Supérieure
579,8	339,9	1	0,0417	-1,732	339,9	302,3755	210,58	363,23
358,8	358,8	2	0,1250	-1,150	358,8	373,063	300,56	425,02
534,2	395,7	3	0,2083	-0,812	395,7	414,192	351,275	462,61
612,4	415,3	4	0,2917	-0,548	415,3	446,2645	389,597	493,14
430,7	430,7	5	0,3750	-0,318	430,7	474,2103	421,888	520,85
339,9	514,2	6	0,4583	-0,104	514,2	500,1963	450,859	547,67
666,8	534,2	7	0,5417	0,104	534,2	525,5703	478,098	574,91
633,5	579,8	8	0,6250	0,318	579,8	551,5563	504,918	603,88
395,7	612,4	9	0,7083	0,548	612,4	579,5021	532,625	636,17
514,2	633,5	10	0,7917	0,812	633,5	611,5747	563,161	674,49
673,3	666,8	11	0,8750	1,150	666,8	652,7036	600,749	725,21
415,3	673,3	12	0,9583	1,732	673,3	723,3912	662,533	815,19

3.6.4 Précipitations extrêmes journalières

La même station pluviométrique a été étudiée pour les pluies extrêmes journalières, pour laquelle la loi Log normale a été le mieux ajustée. (La figure 3.2) montre l'ajustement graphique de la précipitation journalière maximale en fonction de la variable de Gauss, les valeurs correspondants à cet ajustement sont regroupées dans le tableau 3.2.

3.6.5 La dynamique fluviale

Dans la zone d'étude, la dynamique fluviale et les formes d'érosion engendrées dépendent essentiellement de la lithologie de la pente et des précipitations. Dans le bassin versant de l'oued *El-Hachem* les oueds se caractérisent par des lits à fond plat.

- Pendant la période des crues, la dynamique fluviale se caractérise par le sapement des berges provoqué par les chocs des grosses masses d'eau chargées d'éléments grossiers jouant le rôle d'abrasifs. Cette dynamique affecte généralement les terrasses alluviales souvent occupées par des cultures tel est le cas de l'oued *El-Hachem*.
- Et d'une station hydrométrique *Mesdour* située à l'amont du barrage sur l'oued *Boukdir*. L'apport moyen annuel est de l'ordre de 10hm^3 , mise en service après l'arrêt de la station hydrométriques de *Bordj-Ghobrini* en 1993.

3.7 Evaluation du transport solide en suspension et par charriage

L'évaluation du transport solide en suspension et par charriage dans l'oued *El-Hachem* est effectuée au niveau des deux stations *Bordj-Ghobrini* et *Mesdour* avant et après la réalisation du barrage de *Boukourdane*.

3.7.1 Calcul du transport solide en suspension dans l'oued *El-Hachem*

Les cours d'eau ont la capacité de transporter les particules (limons, sables cailloux, etc....) ; ce phénomène s'appelle transport solide, il est conditionné principalement par les caractéristiques hydrauliques des cours d'eau ainsi que par les processus érosifs opérant sur les versants. Ces derniers étant généralement la principale source d'apport en sédiments.

Il s'agit d'un phénomène très complexe et pour autant les formules et les relations qui sont indiquées devront être considérées d'une large approximation.

3.7.2 Méthodes de mesures

Les méthodes de mesure du transport solide en suspension se basent généralement sur la détermination par échantillonnage de la concentration du matériau solide en suspension en un nombre de points.

- Méthode approchée

La méthode consiste à effectuer du prélèvement d'échantillons en bordure du cours d'eau une pour mesurer la concentration « C » de l'échantillon au laboratoire suite a une filtration, étuvage et pesée. La concentration est exprimé en (g/l). Ainsi le débit solide en (Kg/s) n'est que le produit du débit liquide Q_l (l/s) par la concentration C (g/l).

$$Q_s = Q_l * C \quad \text{en} \quad Kg/s \quad (3.1)$$

L'inconvénient de la méthode est que le prélèvement effectué en bordure ne présente qu'un pourcentage variable de la concentration moyenne transitant dans la section.

- Méthodes par exploration de champ de concentration

La méthode consiste à explorer à travers une section droite du cours d'eau, le champ de concentration en matière de suspension de déterminer de débit solide par intégration, nous procédons à des prélèvements d'échantillons aux différents points de la section de mesure, vu que la concentration des sédiments varie souvent de la surface vers le fond et d'une rive à l'autre (figure 3.3). La détermination due à la concentration et du champ de vitesse pour la mesure du débit liquide est effectuée simultanément (figure 3.3)

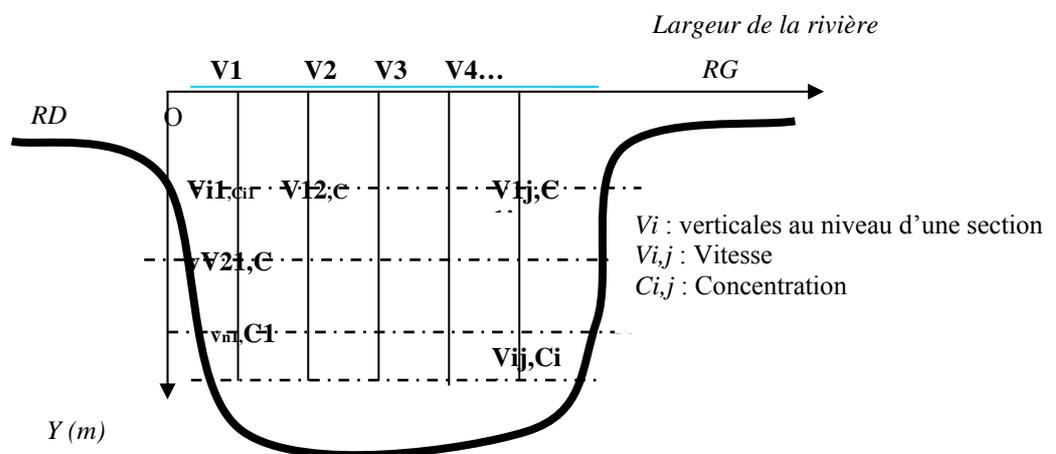


Figure 3.3 : Section de Mesure

Le dépouillement d'un jaugeage de débit solide se fait de la même façon que celui du débit liquide. Un certain nombre de points sont répartis sur plusieurs verticales, pour lequel on dispose d'une mesure de vitesse (V) et d'une mesure de concentration des matériaux en suspension (C).

Pour une verticale i nous reportons le produit $C.V$ en fonction de la profondeur h_i . Nous traçons les épures des vitesses de chaque verticale (figure 3.4).

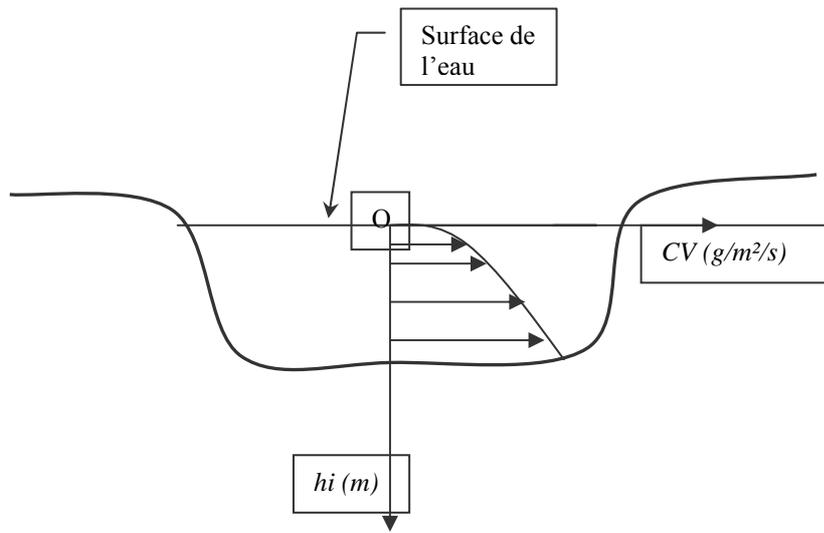


Figure 3.4 : Epure des débits solides élémentaires

D'ou

$$q_s = \int_0^{H_i} CV dh$$

Avec :

h : Profondeur du point de prélèvement

h_i : Profondeur de la verticale i.

C'est le même procédé pour toutes les verticales.

L'équation aux dimensions de $q_s = \text{concentration} * \text{vitesse} * \text{hauteur}$

Le débit solide à travers toute la section de mesure est obtenu par intégration des débits solides unitaires (figure14)

$$Q_s = \int_0^L q_s dl = \int_0^L \int_0^H c.v.dh.dl \quad (3.2)$$

Avec ;

L_i : Abscisse de la verticale i ;

L : Largeur totale de la section.

Le débit solide total est exprimé souvent en Kg/s ou en $Tonne/an$.

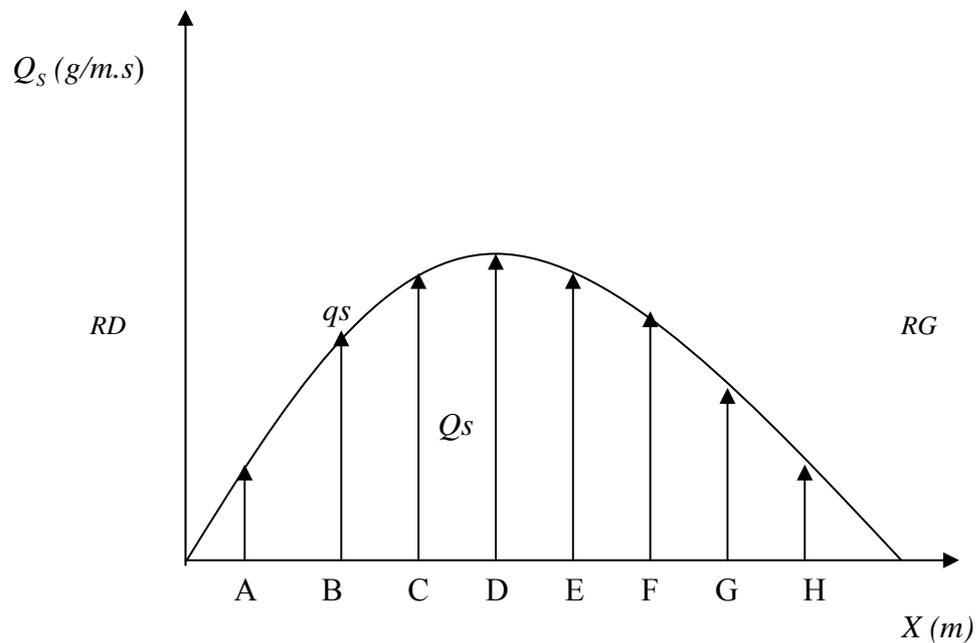


Figure 3.5 : Epure des débits solides sur toute la section de mesure

3.7.2 Contribution du rapport débit–liquide, bit- solide et calcul du transport solide journalier

Il est essentiel de collecter un nombre suffisant de données d'observation enregistrées sous forme d'un fichier contenant le numéro d'observation, la date, l'heure, la hauteur d'eau (H en m), la concentration en matière en suspension (C en g/l), le débit liquide(en m³/s) et le débit solide observé. Chaque fichier correspond à une station hydrométrique étalonnée sur une période d'observation allant de (1974-1991) et de (1994-1997) des deux stations sont respectivement:

- ◆ *Bordj-ghobrini*
- ◆ *Mesdour*

L'utilisation du programme ANRH « *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 (III-1)

$$Q_s = C * Q_L \quad (3.3)$$

a) Mise en forme et traitement des données

L'homogénéisation des données consiste à déterminer des relations régressives entre deux paramètres mesurés permettant ainsi de combler les lacunes et d'étendre les séries à partir des séries de données existantes.

Les données sont mises en graphe, l'allure de ce dernier peut justifier l'existence d'une relation mathématique à partir des fichiers qui sont soumis à des corrélations Ql/Qs de comportement linéaire, logarithmique, polynomiale, puissance et exponentielle.

Les relations puissance et polynomiale semblent donner la meilleure approximation pour les coefficients de corrélation.

b) Relation débit liquide débit solide : (Relation saisonnière)

Les données observées sont regroupées en 4 saisons :

- ✓ Automne :Septembre, Octobre, Novembre
- ✓ Hiver :Décembre, Janvier, Février
- ✓ printemps :Mars, Avril, Mai
- ✓ Eté :Juin, Juillet, Août.

Le couple (Ql, Qs) saisonnier est représenté sur des graphes ces derniers montrent une légère dispersion. Les calculs de la régression sous différentes formes ont permis de conclure que la forme puissance est la plus acceptable car elle présente le meilleur coefficient de détermination R^2 . Les résultats sont illustrés respectivement par les figures suivantes ci dessous :

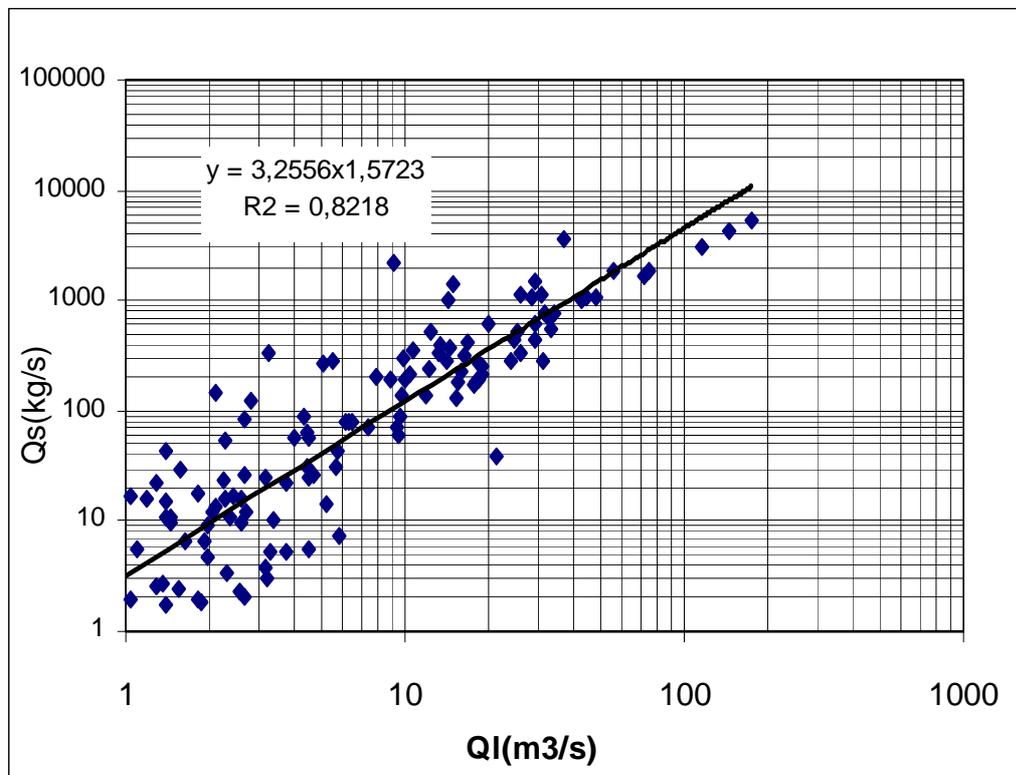


Figure 3.6: graphe $Qs=f(Ql)$ de la saison d'automne de la station de bordj-ghobrini

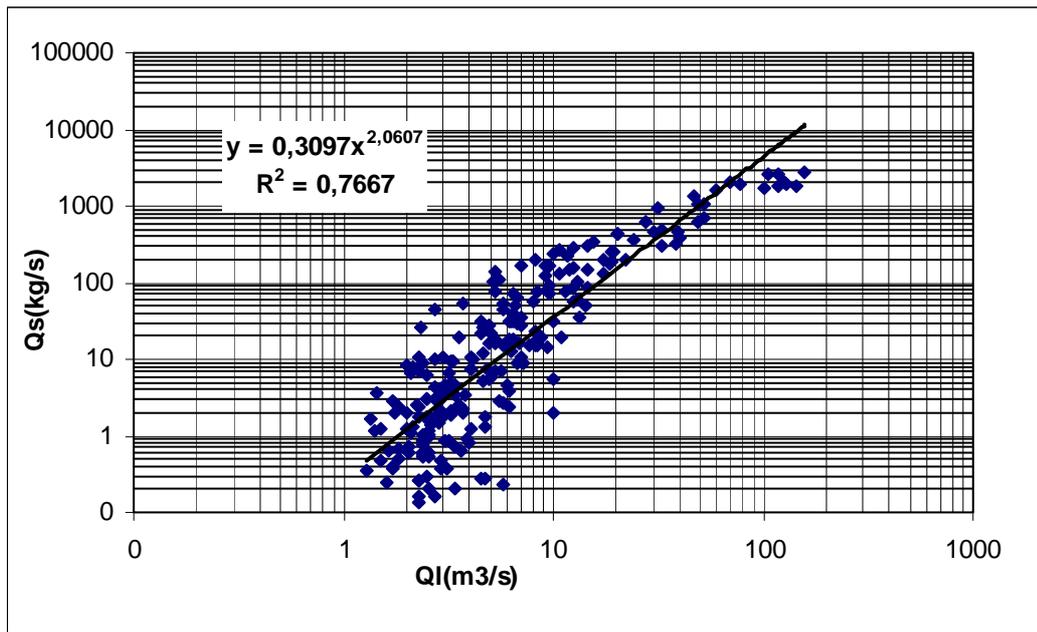


Figure 3.7: graphe $Q_s=f(Q_l)$ de la saison de printemps de station de Bordj-Ghobrini

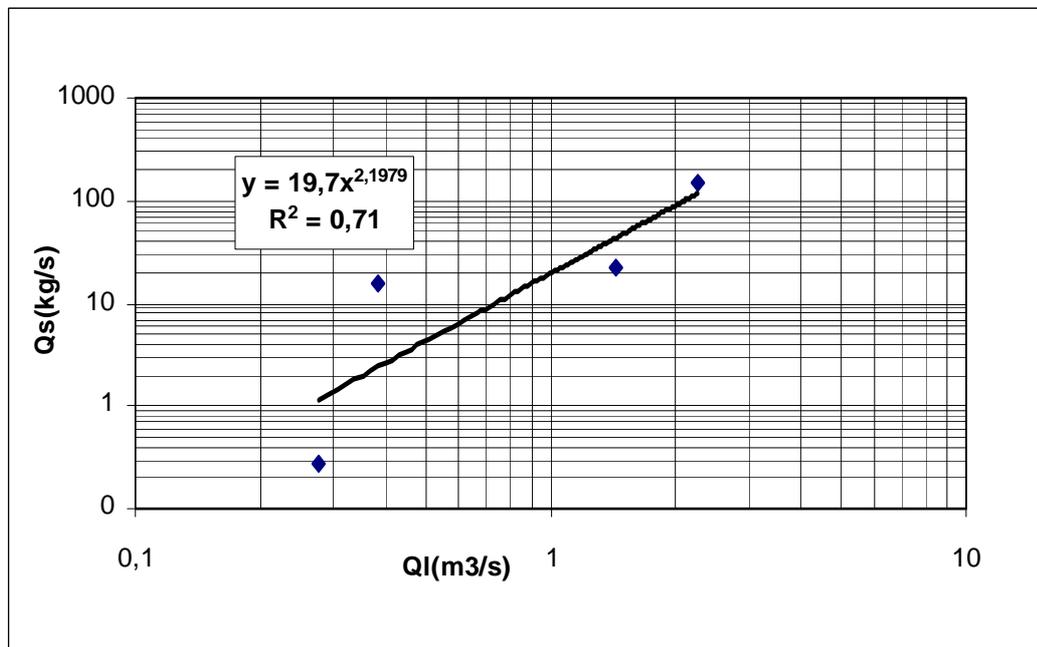


Figure 3.8: graphe $Q_s=f(Q_l)$ de la saison d'été de la station de Bordj-Ghobrini

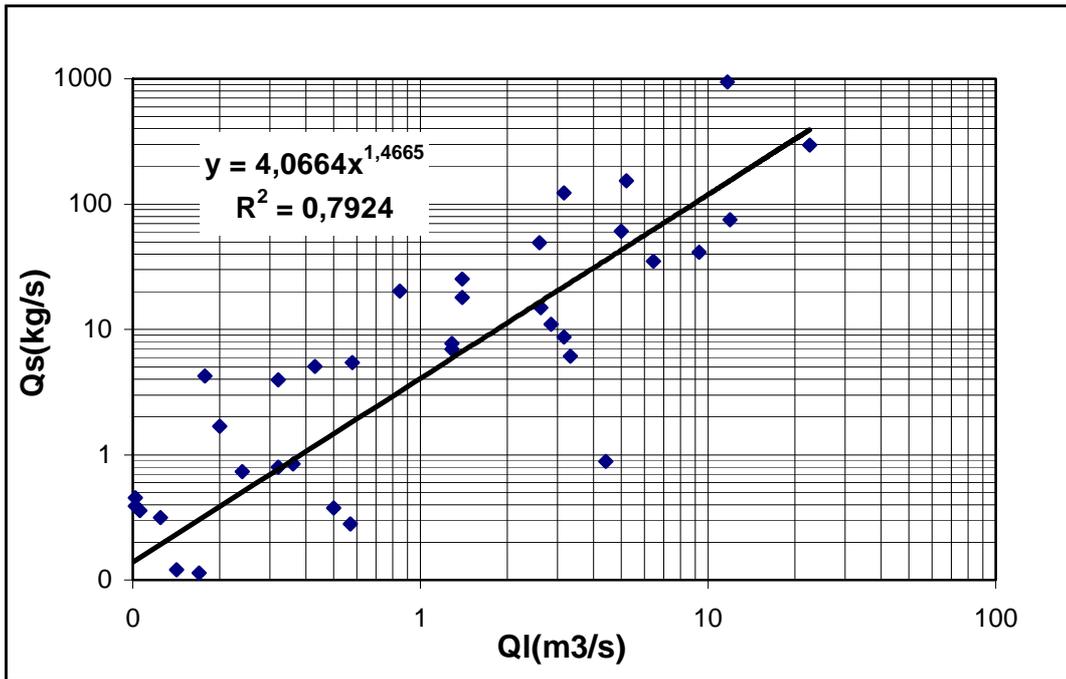


Figure 3.9: graphe $Q_s=f(Q_l)$ de la saison d'automne de la station de mesdour

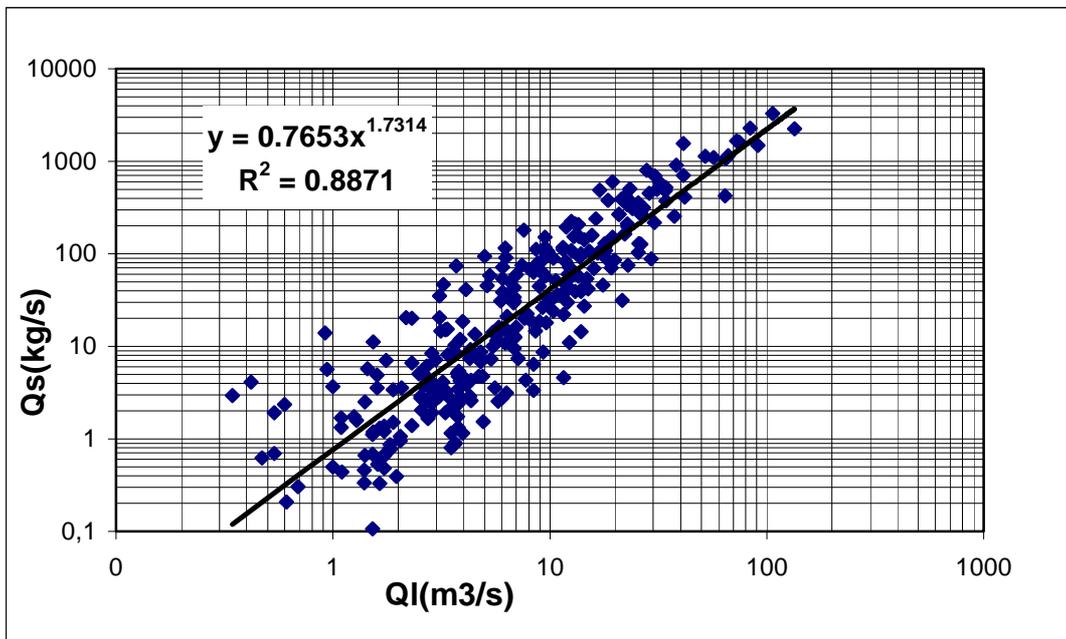


Figure 3.10: graphe $Q_s=f(Q_l)$ de la saison d'hiver de la station de Bordj-ghobrini

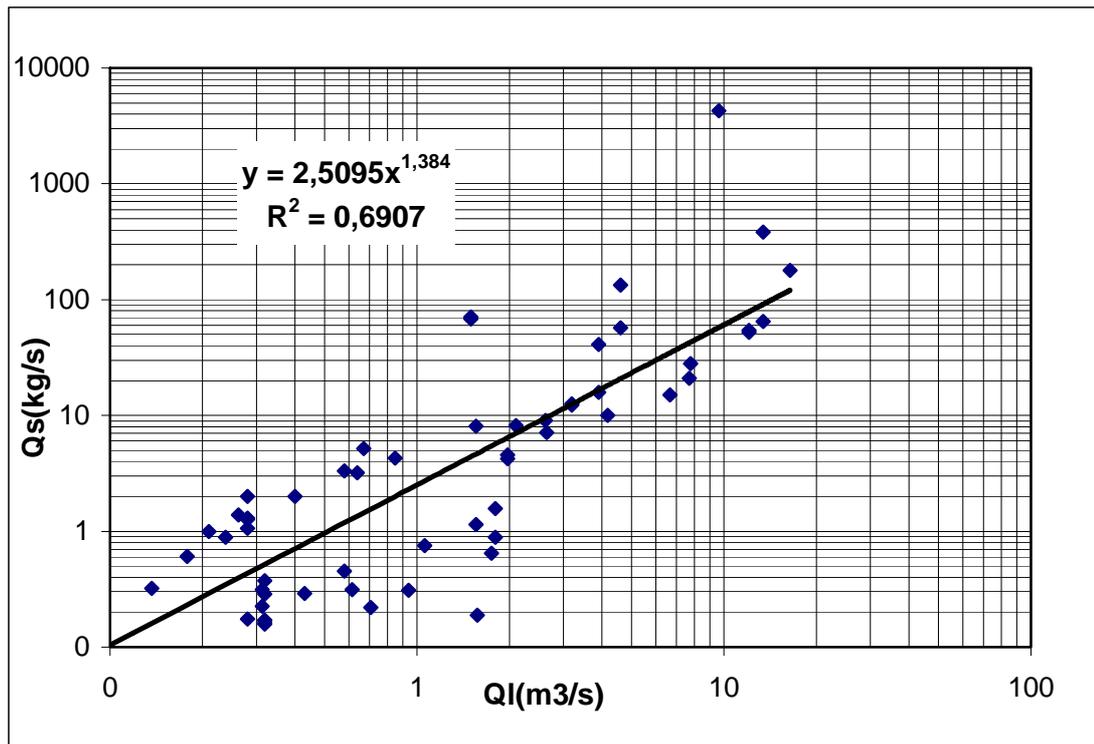


Figure 3.11: graphe $Q_s=f(Q_l)$ de la saison d'hiver de la station de mesdour

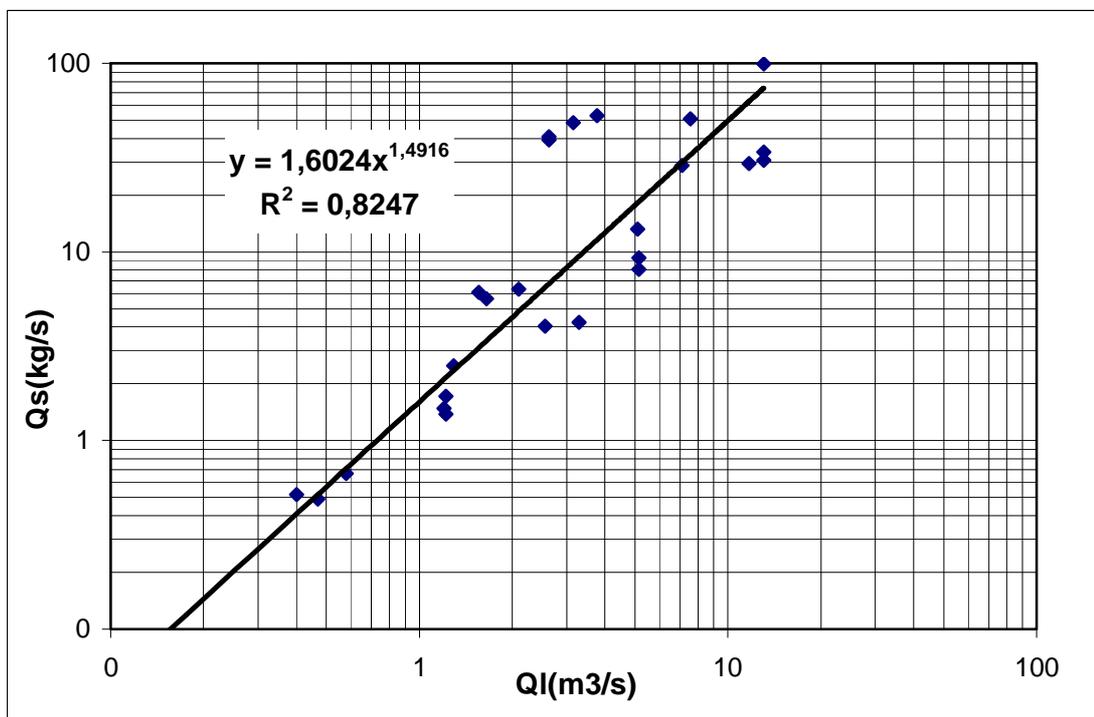


Figure 3.12: graphe $Q_s=f(Q_l)$ de la saison de printemps de la station de mesdour

Au droit de la station de *Bordj-ghobrini* :

Pour la série des crues d'hiver la relation calculée est de la forme :

$$Q_s = 0.77 \cdot Q_l^{1.173} \quad (3.4)$$

Avec

$$R=0,93$$

L'analyse de la régression montre que le modèle puissance est maintenu, donc sur la base de cette relation, on calcul le transport solide journalier en suspension sur une période de 17 ans (1974/1975 à 1990/1991), le tableau général (**15**) illustre les résultats.

Au droit de la station de *Mesdour* :

Pour la série de printemps, la relation puissance calculée est de la forme :

$$Q_s = 1.60 \cdot Q_l^{1.50} \quad (3.5)$$

Avec

$$R=0,90$$

Sur la base de cette relation, nous calculons le transport solide journalier en suspension sur une période de (1994/95 à 1996/97) ceci est illustré sur le tableau général (3.4)et (3.5).

3.8. Calcul du transport solide par charriage dans l'oued El-Hachem

3.8.1 Introduction

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.

Le champ d'exploitation des vitesses varie tout le long du profil de l'oued, d'amont en aval. La capacité du charriage est liée à la granulométrie des matériaux et varie avec le débit liquide dans le temps et dans l'espace [1].

3.8.2 Etude granulométrique

L'U.S. Geophysical Union a classé les granulats en 19 catégories, d'après leurs diamètres en mm ; Le granulat est défini comme étant un matériau non cohérent, plus ou moins roulé ou brisé, tapissant tout ou une partie des berges et du fond, il conserve son individualité propre de son transport dans les rivières. Les différents types de granulat sont cités dans le tableau (3.3) avec leur diamètre [1].

Tableau 3.3 : Classification des granulats

Nature	Diamètre en mm	
Bloc	Très gros	4000-2000
	Gros	2000-1000
	Moyen	1000-500
	Petit	500-250
Moellon	Gros	250-130
	Petit	130-64
Gravier	Très gros	64-32
	Gros	32-16
	Moyen	16--8
	Fin	8--4
	Très Fin	4--2
Sable	Très Gros	2--1
	Gros	1--0,5
	Moyen	0,5-0,25
	Fin	0,25-0,125
Limon	Très gros	0,125-0,062
	Gros	0,062-0,031
	Moyen	0,031-0,016
	Fin	0,016-0,008
	Très Fin	0,008-0,004

Pour notre cas d'étude dans l'oued *El-Hachem* nous avons exécuté des mesures du matériau de fond en faisant des prélèvements d'échantillons sur le long de l'oued en amont du barrage de Boukourdane.

L'échantillonnage a été effectué aux 4 sites choisis, ils ont été pris au fond de l'oued, en rive gauche et droite des sections, sur le collecteur principal, pour la détermination du diamètre moyen D_{50} . L'analyse granulométrie faite au laboratoire pour la détermination du diamètre moyen charrié a révélée que le granulat de diamètre D_{50} est matérialisé par des graviers en prenant la moyenne des 4 échantillons on a donc ($D_{50} = 10mm$).

3.8.3 Calcul de pente

Connaissant la dénivelée séparant les deux point de prélèvement et la distance, nous avons calculé la valeur de la pente moyen de l'oued El-Hachem elle est égale 0.3%.

3.8.4 Evaluation du charriage

Le charriage a fait l'objet de nombreuses études expérimentales sur terrain et aux laboratoires dans le but de rechercher des formules les plus adéquates aux problèmes posés à l'aide d'estimation de quelques paramètres propres aux cas étudiés et déterminer théoriquement le taux de matériaux charriés qui transiteront dans une section donnée de l'oued.

Dans notre étude nous avons utilisé la formule de MEYER PETER MULLER pour la quantification du débit solide charrié.

❖ Equation utilisée :

La formule utilisée pour le calcul du transport solide charrié dans l'oued *El-Hachem* est celle de MEYER PETER MULLER, qui ne concerne que les transports tout à fait longitudinaux à longue distance et permanent. Elle est utilisée dans notre cas pour des caractéristiques hydrauliques correspondant à une pente moyenne i de l'ordre de 0,3% et un diamètre $D_{50} = 10 mm$ dans l'oued *El-Hachem*; qui s'inclue dans la série des granulats de [0,4 mm -30 mm], une granulométrie relativement uniforme, et un écoulement permanent[29].

La formule est donnée par la relation suivante :

$$G_s = K(T - T_{cr})^{3/2}$$

Avec ;

$$T = a \cdot T_{\max} \quad \text{Ou} \quad T = a \cdot \gamma \cdot R_h \cdot I$$

$$a = (K_s / K_r)^{3/2} \quad (3.5)$$

$$T_{cr} = A(\gamma_s - \gamma) \cdot D_{50} ; A = 0,047$$

Notation :

G_s : Transport solide charrié exprimé en kg/s.m

$T_{cr} = 0.047(\gamma_s - \gamma) D_{50}$: Est la contrainte de cisaillement sur le lit dépendant du matériau charrié exprimé en kg/m².

T : Est la contrainte de cisaillement moyenne réelle dépendant de l'écoulement exprimé en Kg/ m².

D_{50} : Le D moyen des sédiments charriés exprimés en mètre ;

γ : Poids volumique de l'eau exprimé en t/m³

γ_s : Poids volumique des sédiments pris égal à 2,7 t/m³ ;

a : Est le facteur correctif prenant en compte la rugosité dans le lit de l'oued.

R_h : Le rayon hydraulique, exprimé en mètre .

i : La pente moyenne de l'oued, exprimée en %.

3.8.5 Etablissement du rapport débit liquide/débit solide charrie et calcul du transport solide journalier

Dans le but de trouver une formulation mathématique expliquant le transport solide charrié en fonction des débits liquide observé, nous avons fait le calcul pour :

$$T = a \cdot \gamma \cdot R_h \cdot I \quad (3.6)$$

Des mêmes fichiers préparés pour les corrélations Q_l / Q_s à partir du Q_l et hauteur d'eau pour le calcul des paramètres $T, T_{cr}, et G_s$.

A partir du fichier global et du fichier des crues saisonnières, nous avons établi des corrélations $G_s / Q_l \text{ m}^3$ dont les figures ci dessous :

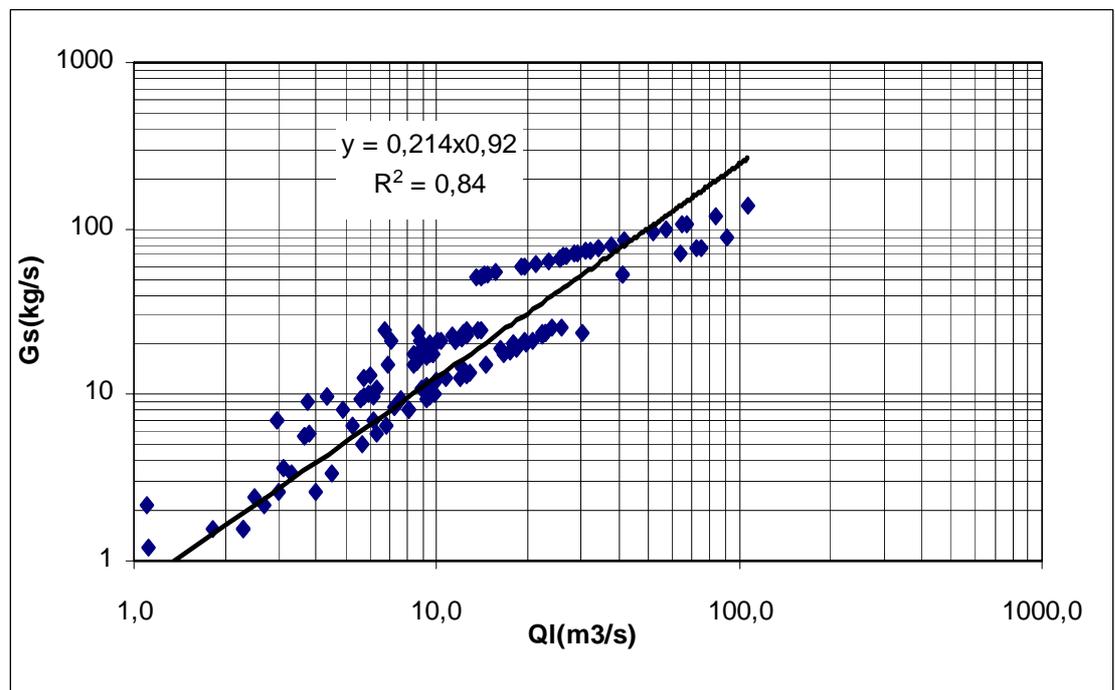


Figure 3.13: corrélation débit liquide débit charrié de la saison d'automne de la station de bordj-ghobrini

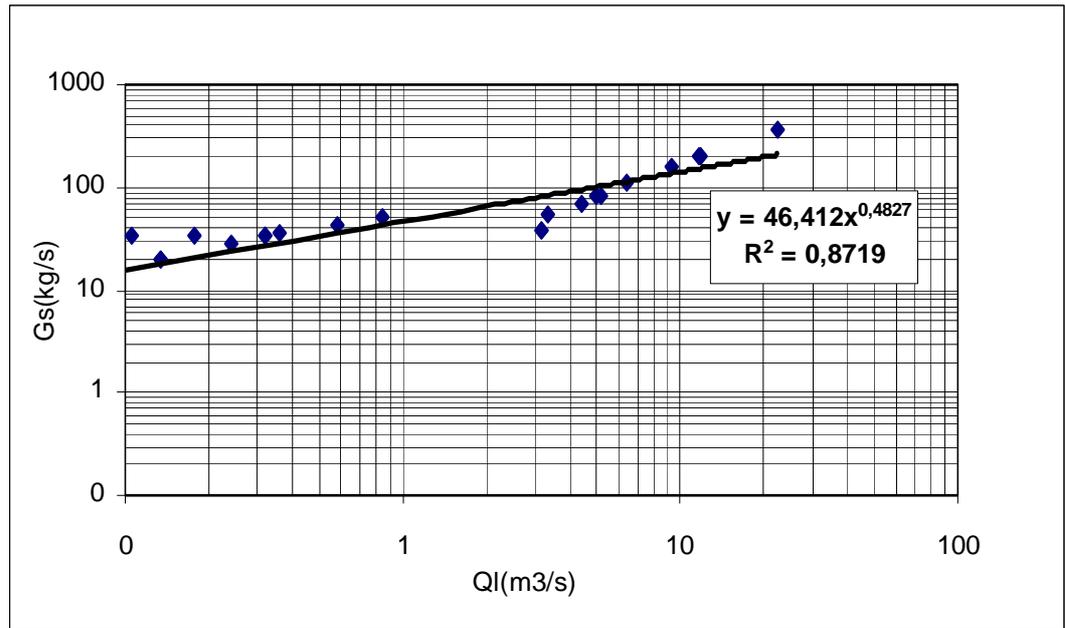


Figure 3.14: corrélation débit liquide débit charrié de la saison d'automne de la station de mesdour

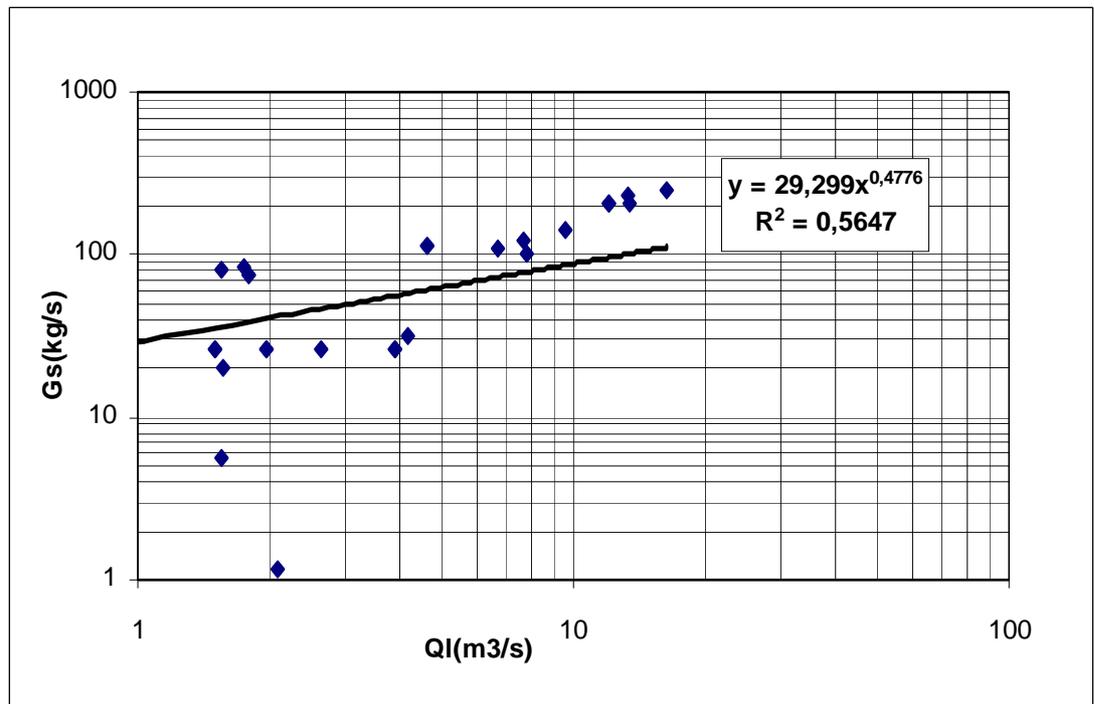


Figure 3.15 : corrélation débit liquide débit charrié de la saison d'hiver de la station de mesdour

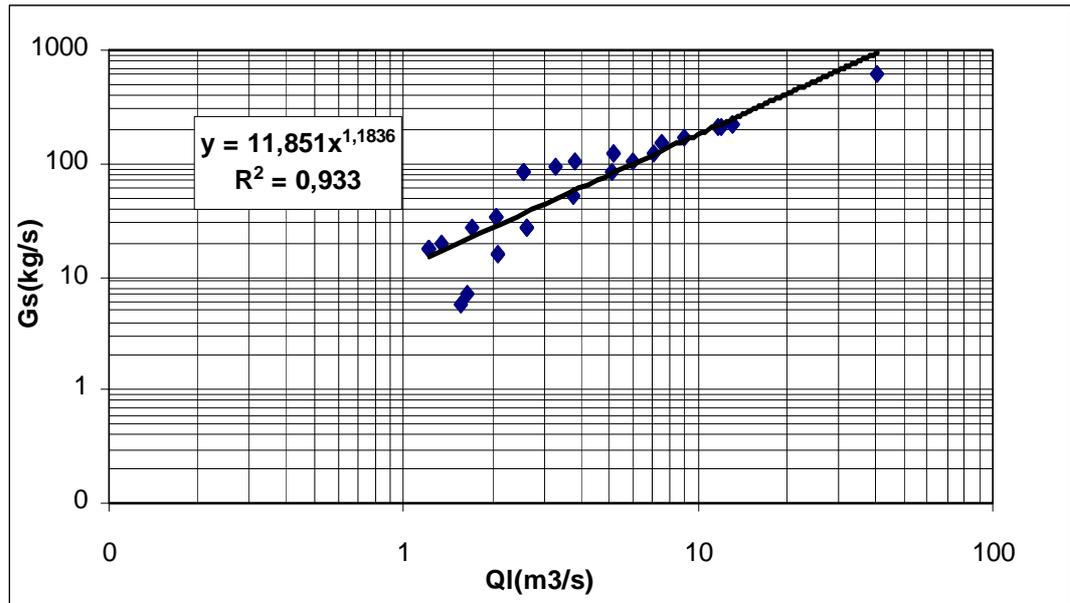


Figure 3.16 corrélation débit liquide débit charrié de la saison de printemps de la station de mesdour

Partant de l'hypothèse que se sont les grandes crues qui sont responsables des quantités des sédiments charriés, nous retrouvons pour ce cas une relation liant le débit solide charrié au débit liquide, prenant la relation mathématique liant le débit solide charrié débit liquide par la forme suivante :

- Au droit de la station de *Bordj-ghobrini*.

Pour la série des crues d'automne, la relation puissance calculée est de la forme :

$$G_s = 0,214 \cdot Q_l^{0,92}$$

Avec

$$R = 0,92 \quad (3.7)$$

- Au droit de la station *de Mesdour*

Pour la série de printemps, la relation puissance calculée est de la forme :

$$G_s = 11.851 \cdot Q^{1.183}$$

Avec

$$R = 0,96 \quad (3.8)$$

A partir de la relation (3.7) et (3.8), nous calculons le transport solide charrié pour la même période (1974/75 à 1990/91) et (1994/95 à 1996/97) .

$$\begin{aligned} \text{Résultats avec : } a &= \left(K_S / K_r \right)^{3/2} & (3.9) \\ &= 0,87 \end{aligned}$$

K_R et K_S étant les coefficients de strickler dus respectivement à la rugosité globale du lit et à celle des particules seules :

K_r Constante pour un matériau donné : coefficients de rugosité de fond est approché, selon certains auteurs, par les formules suivantes :

$$(1) K_r = \frac{26}{(D_{90})^{1/6}} \quad (\text{cas général}) ; \quad (3.10)$$

$$(2) K_r = \frac{21.1}{(D_{50})^{1/6}} \quad (3.11) \quad \text{pour les cours d'eau dont le lit comporte une alternance de seuils et de mouilles ;}$$

$$(3) K_r = \frac{22.5}{(D_{65})^{1/6}} ; \quad (3.12)$$

A partir des formules (1), (2),(3), nous obtenons :

$$K_r, moy = 50$$

$$K_r = \frac{V}{(RH^{2/3} \cdot I^{1/2})}$$

$$V = \frac{Q}{(B \cdot RH)}$$

Ce qui nous donne :

$$K_r, moy = 43$$

D'ou a=0.87

Nous calculons alors :

$$G_s = 25 \cdot (T - T_{cr})^{3/2} \quad (3.13)$$

$$W_t = Q_s + G_s \quad (1974/75 \text{ à } 1990/91) \quad (3.14)$$

$$W_t' = Q_s + G_s \quad (1994/95 \text{ à } 1996/97)$$

Les résultats du transport solide total sont illustrés dans le tableau général 3.4 et 3.5 :

CHAPITRE 4

DISCUSSION DES RESULTATS

4.1 Discussion des résultats

La mise au point de méthode pour l'évaluation du transport solide demeure l'objectif fondamental de la recherche en sédimentologie [29]. Nous avons cité déjà que le transport solide se fait sous deux formes, transport solide en suspension et transport par charriage. Des formules empiriques ont été établies pour la quantification des différentes formes du transport.

Dans notre étude nous avons quantifié le transport solide total (suspension et charriage) dans l'oued El-Hachem aux stations de Bordj-Ghobrini et Mesdour

A/Pour la suspension

Nous avons opté un modèle régressif reliant le débit liquide au débit solide à la base de concentration en matière en suspension.

Les résultats illustrés par le tableau 15 et 16.

B/Pour le charriage

Pour évaluer la quantité de sédiments charriés nous avons utilisé la formule de Meyer Peter qui se base sur une approche énergétique et donne le débit solide charrié pondéral par unité de largeur du lit.

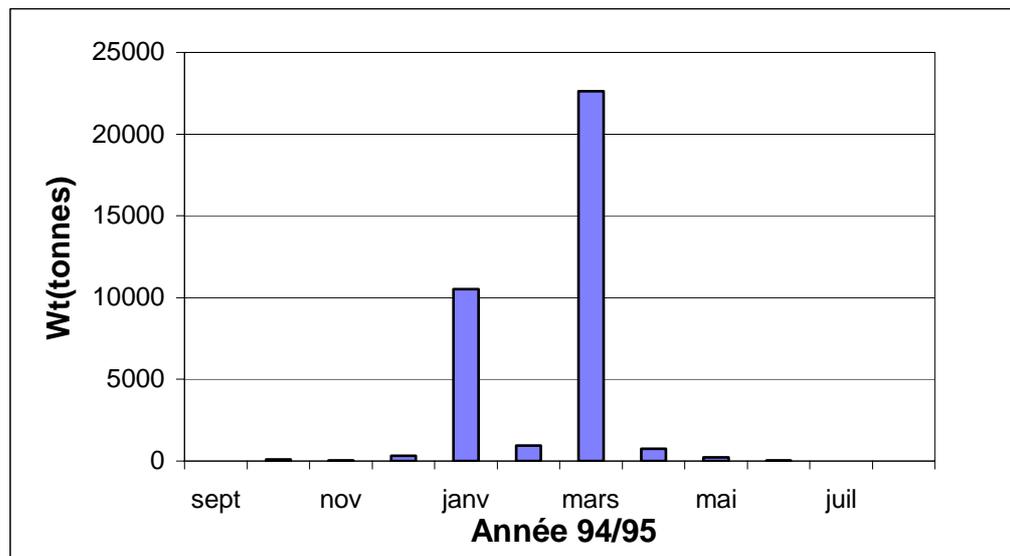
Pour le cas $T=a*T_{max}$ avec $A=0,87$

Il en ressort du tableau général 14 et 15 que les résultats obtenus des années (74-92 et 94-97) et montrent que les volumes les plus importants en transport solide se concentrent dans les mois de Novembre à Mars. Les crues d'automne et de printemps des périodes (74-92 et 94-97) caractérisés par une forte turbulence due aux débits extrêmes, favorisent les plus grands volumes en transport solide. Les résultats trouvés sont bien confirmés. Cependant à l'échelle annuelle, le charriage est toujours inférieur à la suspension, les résultats obtenus par la méthode proposée de Meyer-Peter Muller pour l'établissement du modèle régressif $G_s=f(Q)$ prennent appui.

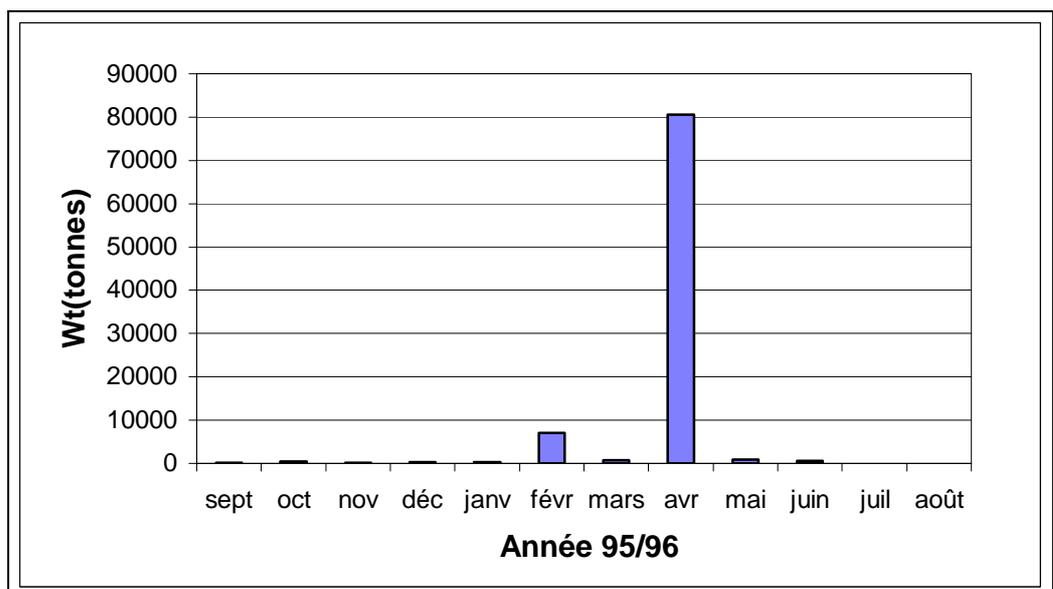
4.2. Evaluation du transport solide totale annuel

Nous avons quantifié le transport solide total Q_{ST} au droit de la station de Bordj Ghobrini qui représente le transport solide en suspension Q_S (annuel), sur une durée allant de 1974 à 1991. Et au droit de station de Mesdour sur une période allant de 1991 à 1996).

a)



b)



c)

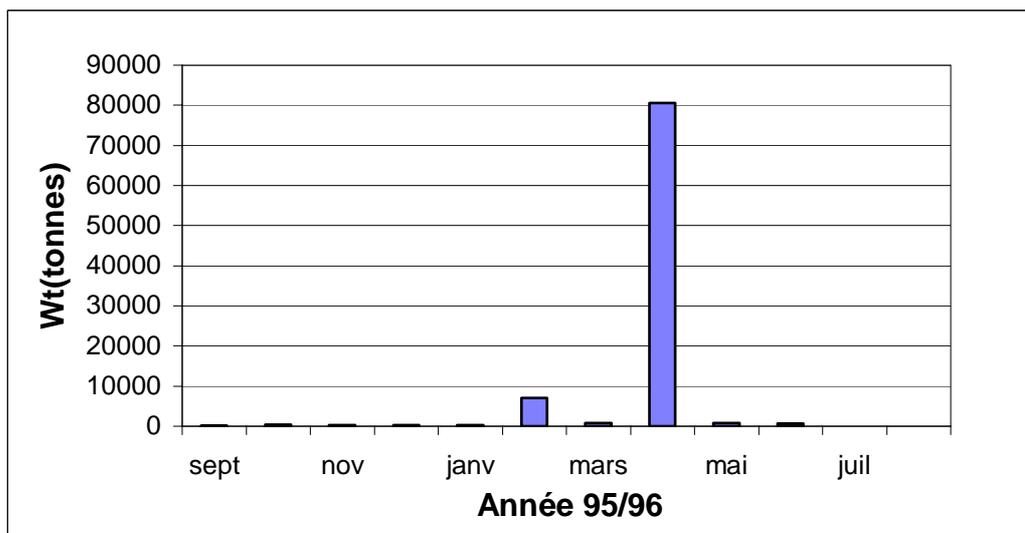


Figure 4.1 : Variation saisonnière des transports solide

Nous avons utilisé pour la suspension un modèle régressif donné par les équations (3.3) et (3.4) et pour le charriage, les équations (3.7) et (3.8) correspondantes au stations Bordj-Ghobrini et Mesdour des débits solides mensuels et annuels en suspension et par charriage trouvés en tonnes sont illustrés dans les tableaux généraux (3.4 et 3.5) D'après les résultats illustrés par le tableau général, les valeurs calculées de la quantité de sédiments en suspension nous ont permis de constater que les volumes les plus importants en transport solide se concentrent dans les saisons humides de septembre de 74/75 à avril 90/91.

On remarque que le débit de transport en suspension dépassent les 80% du débit total annuel. (Ceci est illustré En % Gs/Qs).

La crue de septembre de 79/80 a donné un débit très important en suspension dépassant 60% du débit total annuel ; ceci peut être expliquer par le fait que ce mois était suffisamment arrosé.

Les valeurs des débits solides charriés sont parfois supérieures à celles du débit en suspension en saisons sèches ceci est dû à la faible turbulence de l'écoulement.

Cependant à l'échelle annuelle, le charriage s'avère toujours inférieur à la suspension.

Les résultats retrouvés pour chacune des méthodes proposées par Meyer –Péter Muller dans l'établissement du modèle régressif ; $G_s = F(Q_L)$ sont bien confirmés.

Rappelons que le coefficient « a » est défini par $a = (K_s/K_r)^{3/2}$ Correspond à une correction de la force tractrice en fonction de la morphologie de la rivière.

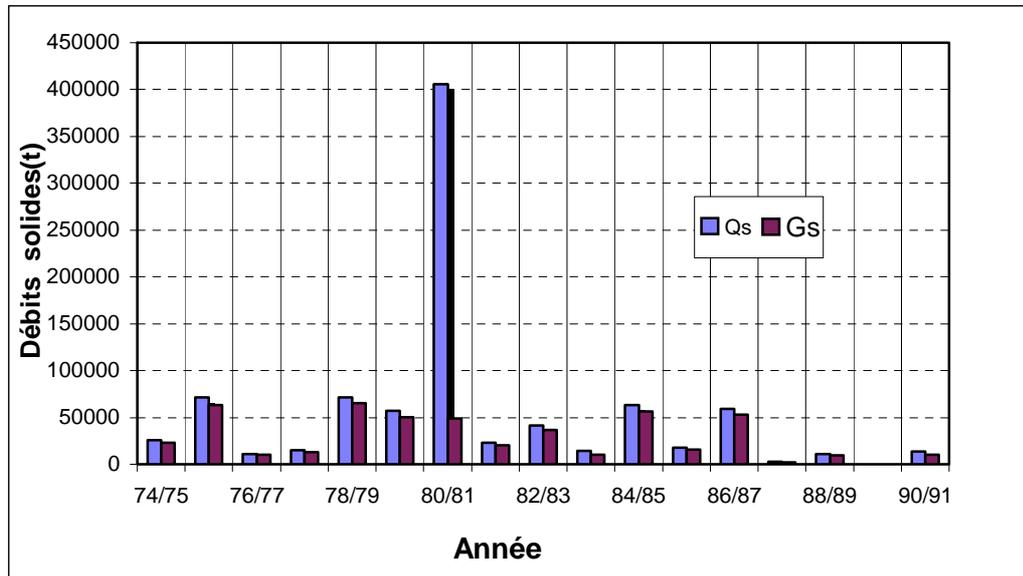


Figure 4.2 : Evolution du charriage en fonction de la suspension dans le temps

4.3. Le taux d'érosion spécifique

A partir des équations $Q_S = F(Q_L)$; $G_S = F(Q_L)$, nous avons quantifié le transport solide total annuel réel W, l'érosion spécifique E_s s'exprimant en tonne par km^2 par an ,donné par le rapport entre le transport solide total et la superficie total au droit du barrage de Boukourdane qui est égale à 156 km^2 , aux droit des deux stations à l'amont et l'aval du barrage.

Les résultats sont illustrés dans les tableaux respectivement « 4.1 et 4.2 » (Rapport entre le transport solide par charriage et transport solide en suspension/calcul du taux d'érosion spécifique).

L'érosion spécifique moyenne dans le bassin versant de l'oued El Hachem est de $525 \text{ t/km}^2.\text{an}$.

Le taux de l'érosion en fonction du temps « figure 4.2 », explique le rythme pluviométrique est assez régulier pour permettre une telle répartition annuelle, à l'exception des années des crues importantes

Tableau 4.1 : Rapport entre transport solide par charriage et transport solide en suspension/calcul du taux d'érosion spécifique

Année	Ts(t)	Ts(t)	%Gs-/-Qs	Es t/km ² an
	Qs	25890		
74/75	Gs	23210	89,65	
	WT	49100		314,75
	Qs	71167		
75/76	Gs	63071	88,62	
	WT	134238		860,50
	Qs	11188		
76/77	Gs	10493	93,78	
	WT	21681		138,98
	Qs	14646		
77/78	Gs	12929	88,27	
	WT	27575		176,76
	Qs	71588		
78/79	Gs	65250	91,15	
	WT	136838		877,17
	Qs	57114		
79/80	Gs	50252	87,99	
	WT	107366		688,24
	Qs	405910		
80/81	Gs	49032	12,08	
	WT	454941		2916,29
	Qs	23035		
81/82	Gs	20355	88,37	
	WT	43389		278,14
	Qs	41372		
82/83	Gs	36853	89,08	
	WT	78225		501,44

	Qs	14133		
83/84	Gs	10010	70,82	
	WT	24143		154,76
	Qs	63033		
84/85	Gs	56188	89,14	
	WT	119221		764,24
	Qs	17994		
85/86	Gs	15848	88,07	
	WT	33841		216,93
	Qs	59509		
86/87	Gs	52775	88,68	
	WT	112284		719,77
	Qs	2732		
87/88	Gs	2371	86,79	
	WT	5103		32,71
	Qs	10853		
88/89	Gs	9606	88,51	
	WT	20459		131,15
	Qs	170		
89/90	Gs	149	87,60	
	WT	318		2,04
	Qs	13303		
90/91	Gs	10412	78,27	
	WT	23715		152,02

Tableau 4.2 : Rapport entre transport solide par charriage et transport solide en suspension

année	Ts(t)	Ts(t)	%Gs-/-Qs	Es t/km ² an
	Qs	30195,1252		
94/95	Gs	5333,28782	17,6627445	
	WT	35528,413		227,746237
	Qs	77798,7477		
95/96	Gs	13225,7871	17	
	WT	91024,5348		583,490608
	Qs	8869,78997		
95/96	Gs	1507,86429	17	
	WT	10377,6543		66,5234248

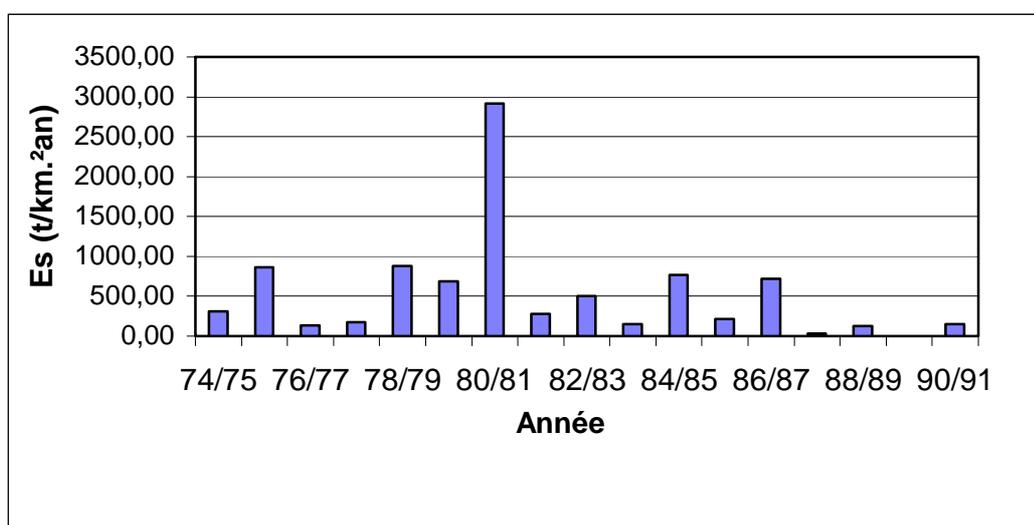


Figure-4.3 : Variation annuelle de l'érosion spécifique

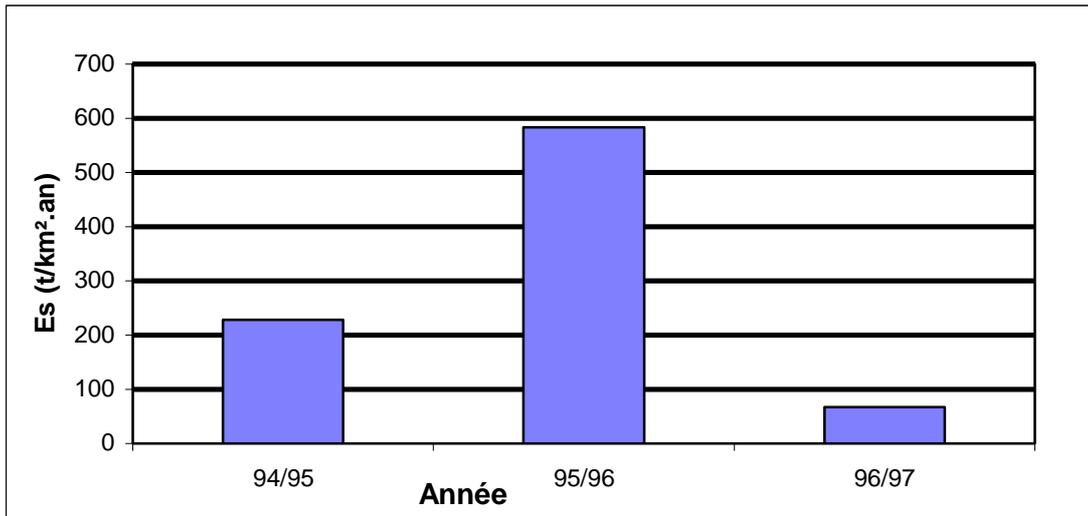


Figure 4.4 : Variation annuelle de l'érosion spécifique

En prenant en considération le transport solide total annuel réel W_t moyenne au droit de la station de Mesdour est de 292.58 tonnes/km².an, ceci est représenté sur le tableau 4.2.

4.4 : Calcul du taux d'érosion spécifique par la méthode de Tixeront

Le taux d'érosion spécifique est donné par la formule suivante :

$$T_a = K * R^{0.15} \quad (4.1)$$

T_a : Taux d'érosion (t/km².an) ;

$K=350$ pour les sols de faible à moyenne perméabilité ;

R : lame d'eau ruisselée en mm/an ; $R = P_0 - D_m$ ou P_0 est la pluviométrie moyenne annuelle en mm ; D_m est le déficit annuel de l'écoulement en mm ;

$$D_m = P_o / \sqrt{0.9 + P_o / L^2}$$

Avec $P_o = 650$ mm ;

$$L = 300 + 25T + 0.05T^3$$

$$T_{\text{moy}} = 20^\circ\text{C}$$

La valeur moyenne de l'érosion spécifique donnée par la formule de TIXERONT est de l'ordre de 595 t/km².an , on peut dire qu'elle est comparable avec la moyenne estimée par les calculs qui est égale à 525 t/km².an

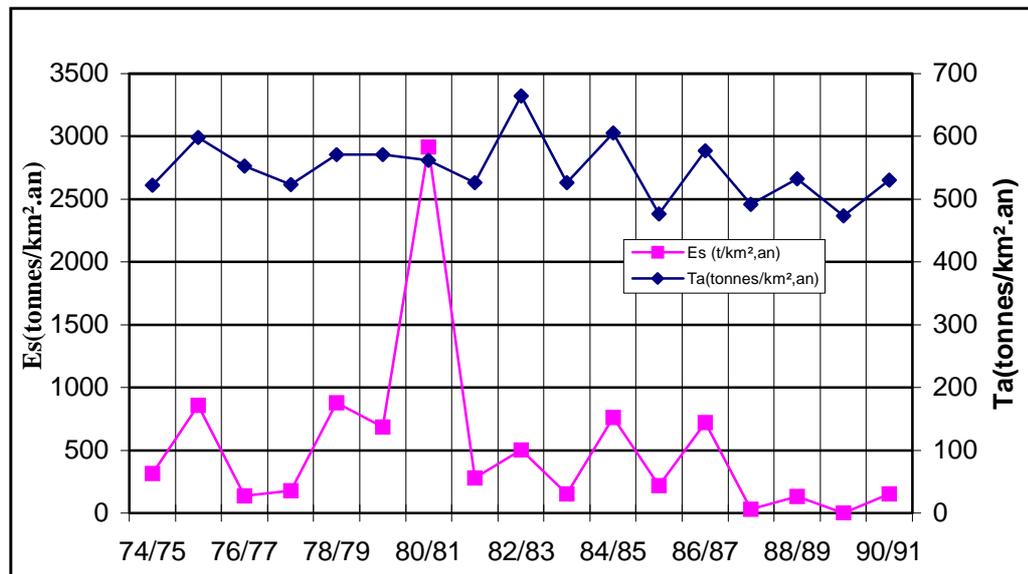


Figure 4.5: Comparaison entre le taux d'érosion spécifique calculé et le taux d'abrasion de Tixeront en fonction du temps

4.5. Comparaison entre le taux d'érosion spécifique et quelques paramètres climatiques

La pluie étant le facteur actif de l'érosion des sols par l'eau, elle constitue la source d'énergie nécessaire à l'arrachement des particules et leur transport sur les versants peu inclinés.

Dans le cas de l'érosion en nappe, c'est l'énergie des gouttes de pluie qui est l'agent principal de l'érosion, entraînant la destruction des agrégats, la formation d'une pellicule du ruissellement et le transport des particules détachées (ROOSE1980)

De nombreux indices ont été proposés par différents auteurs à partir des différentes caractéristiques des précipitations, nous citerons :

- La pluie totale annuelle ;
- Répartition mensuelle de la pluie annuelle ;
- Fréquence des pluies journalières supérieures à un seuil donné ;

Les indices les plus significatifs seront mis en évidence par analyse en corrélation appliquée aux données annuelles de la zone d'étude.

4.5.1 La pluie annuelle

D'après TIXERONT, une zone où la pluie annuelle est comprise entre 300mm et 700 mm, l'érosion spécifique est très active ($Es > 1200 \text{ t/km}^2 \cdot \text{an}$).

Il admet que lorsque la pluie annuelle dépasse un certain taux, l'effet du substratum peut se trouver masqué par l'effet de la végétation qui assure une excellente protection quelle que soit la nature du terrain.

Dans le but de trouver une équation reliant la pluie annuelle et l'érosion spécifique, nous avons tracé la variation de ces dernières (figure 4.6)

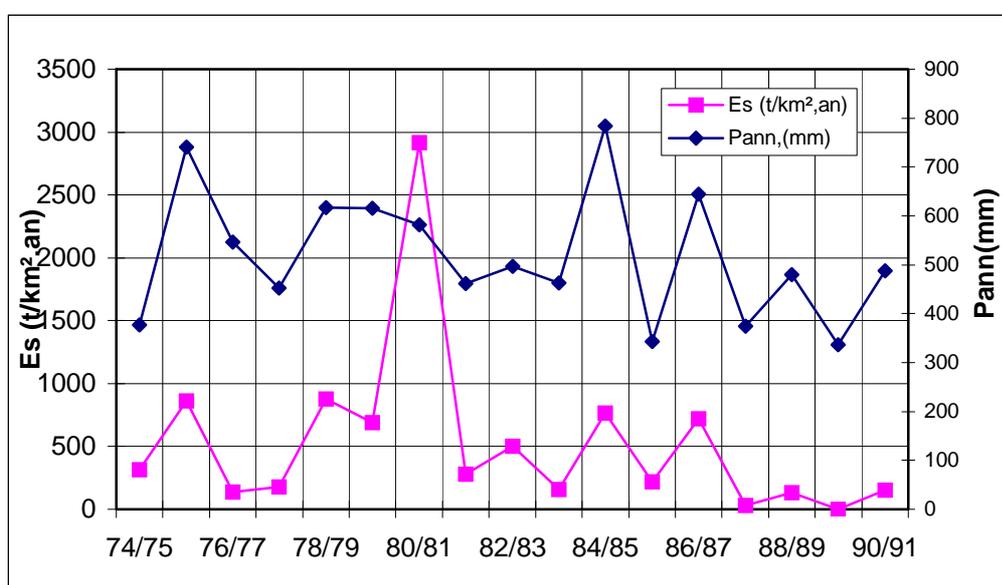


Figure 4.6 : Evolution du taux d'érosion spécifique et de la pluie annuel en fonction du temps

Dans le cas de notre bassin versant la pluviométrie moyenne est de 650mm, l'érosion spécifique est de $525 \text{ t/km}^2 \cdot \text{an}$; n'atteignant pas la moitié de la valeur donnée par TIXERONT

Ceci est dû au couvert végétal qui assure une excellente protection des terrains, la variation de l'érosion spécifique et la pluie annuelle est donnée par la figure –31 (Evolution du taux d'érosion spécifique et la pluie annuelle en fonction du temps)

4.5.2 Indice climatique du fournier

On essaye de traduire d'une part, l'abondance pluviale et d'autre part le degré d'inégalité de la répartition des pluies dans l'année, FOURNIER met en évidence une relation entre l'érosion spécifique annuelle et un coefficient climatique P^2/P (rapport du carré de la pluviométrie du mois le plus humide à la pluviométrie moyenne annuelle.) Il montre ainsi, qu'à l'échelle des grands bassins, les précipitations constituent bien le facteur prépondérant de l'érosion des sols .(Figure 4.7)

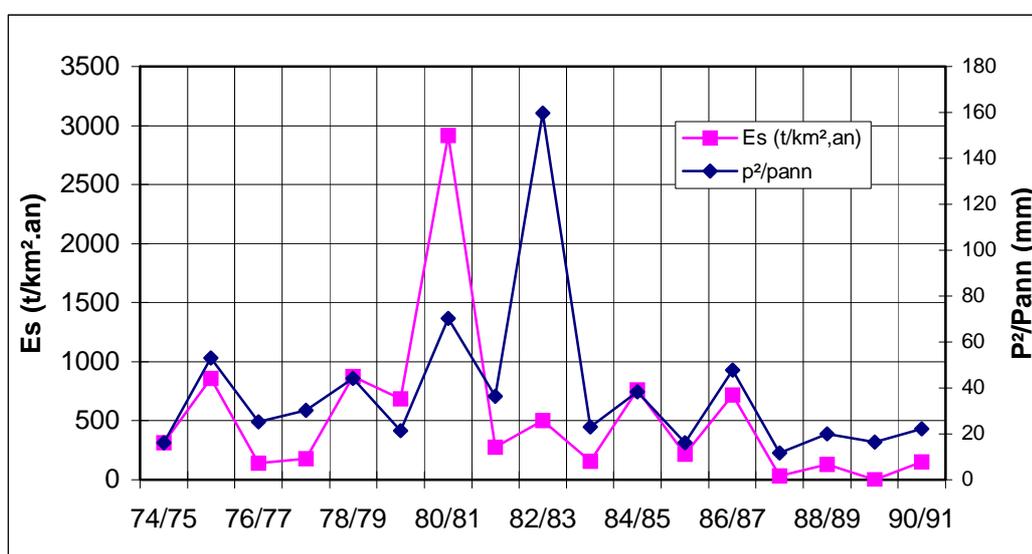


Figure 4.7 : Evolution du taux d'érosion spécifique et de l'indice de Fournier en fonction du temps

L'intérêt de la relation de FOURNIER basé sur des données toujours disponibles, réside dans la simplicité de son calcul et son aptitude à traduire en partie le contraste saisonnier des précipitations. Ce contraste est marqué en Afrique du Nord, contribue fortement à accroître le pouvoir érosif des précipitations [30].

Une analyse graphique (figure –33) du taux d'érosion spécifique en fonction de l'indice climatique de FOURNIER, dans le cas de cette étude, donne un bon coefficient de corrélation $R=0.92$

Pour une relation linéaire de la forme :

$$Es = 0.0191 x + 28.397$$

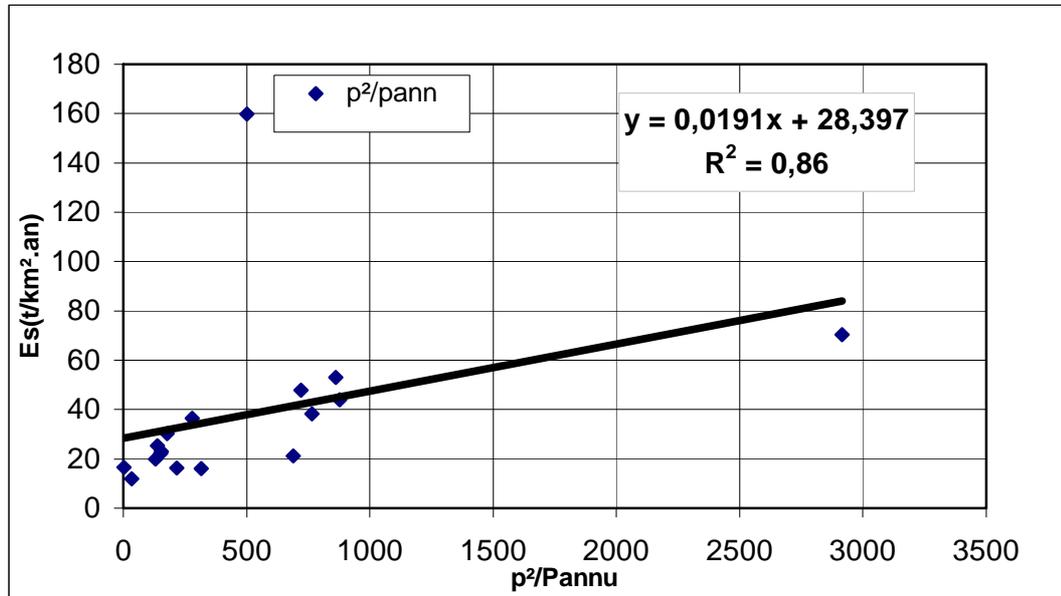


Figure 4.8 : Corrélation taux d'érosion spécifique Indice climatique de Fournier

4.5. 3 Recherche de relation entre dégradation spécifique et débit maximum annuel

La mise en graphique (figure 34 et 35) de l'érosion spécifique et du débit maximum annuel, mesuré au droit de la station hydrométrique donne une bonne corrélation, $R=0,93$.

L'équation de droite de régression est de la forme :

$$Es = 2.92 * Q_{\max}^{1.12}$$

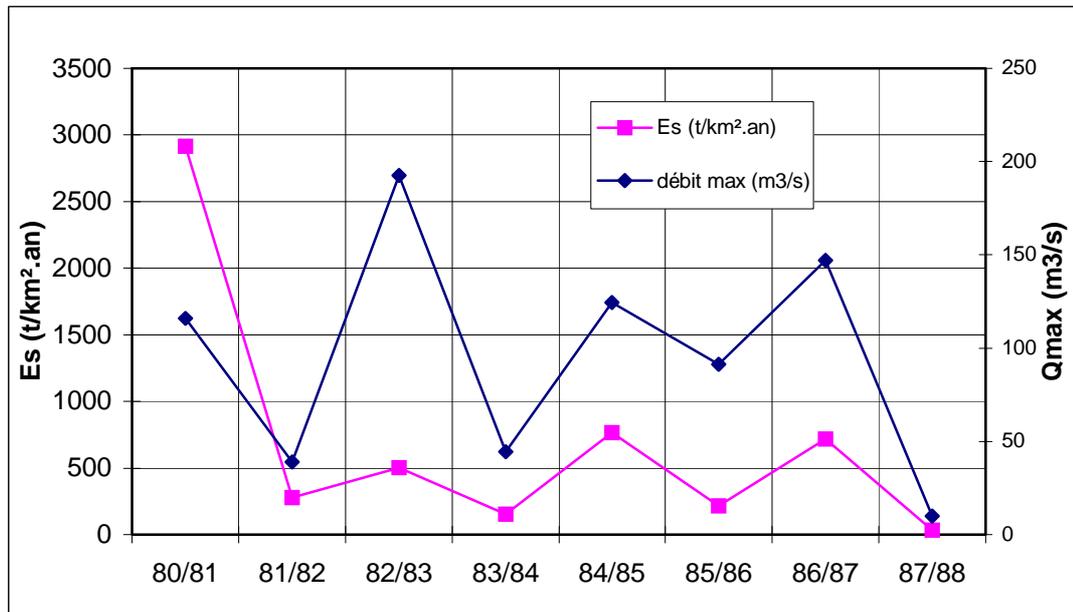


Figure 4.9 : Evolution du Taux d'érosion spécifique et du débit maximum annuel en fonction du temps

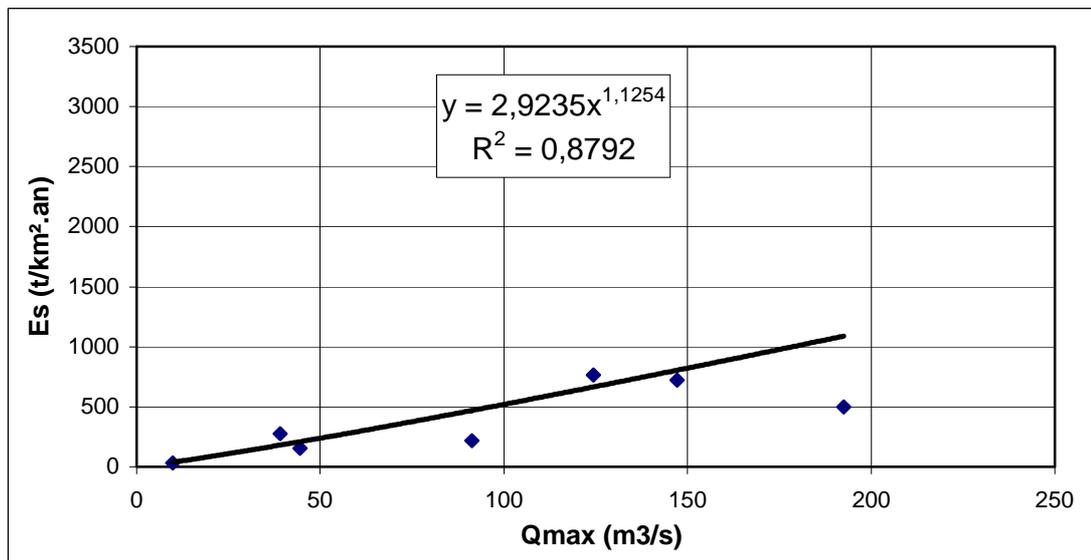


Figure 4.10 : Corrélation taux d'érosion spécifique Débit maximum annuel

4.6 Estimation du taux d'envasement du barrage de boukourdane

Les eaux de la retenue du barrage de Boukourdane sont destinées à l'alimentation en eau potable des agglomérations de Cherchell ,Sidi Ghiles ,Sidi Amar ,Nador et Tipaza (12hm³)ainsi que l'irrigation de la vallée de l'oued El Hachem et les régions de Hadjout et du Sahel.

Les valeurs du taux d'érosion spécifique dans le bassin de l'oued El Hachem au droit de la station de Mesdour, estimé à partir de modèles régressifs permettant de calculer le volume de vase conséquent.

Donc pour une érosion spécifique réelle de 292,58 tonnes/km².an , une durée de vie de barrage « T » de 30 ans, une densité sèche des matériaux $\gamma_s=207\text{tonnes}/\text{m}^3$ et une surface du bassin versant au droit du barrage « S » de 156 km², l'apport en matériaux solides aboutissant dans la cuvette dont la formule est égale à :

$$V_s = E_s \cdot T \cdot S / \gamma_s$$

$$V_s = 0.507 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

A l'horizon 2030 le barrage de Boukourdane serait envasé de 0.52 % de sa capacité total.

4.7 Conclusion

Les résultats obtenus montrent que le transport solide dans l'oued *El-Hachem* est relativement faible de l'ordre de 292.58 tonnes/km².an, par conséquent la vitesse de sédimentation dans la retenue est lente .Ce résultat se répercute dans ce cas sur la concentration des lâchers d'eau opérant périodiquement par la vanne de fond du barrage qui est très faible et même le transport solide calculé à l'aval qu'est de 595 tonne/Km².an n'a pas donc d'effet sur le colmatage du fond alluvionnaire de l'oued. La réussite de l'opération de recharge de la nappe alluvionnaire de l'oued El –Hachem prene appuie du résultat trouvé [31].

CHAPITRE 5

EFFET DES LACHERS DE BARRAGE DE BOUKOURDANE SUR LA RECHARGE DE LA NAPPE

5.1. Introduction

Dans cette partie nous traiterons l'impact des lâchers du barrage de *Boukourdane* sur la réalimentation de la nappe. En effet, la réalisation du barrage de *Boukourdane* d'une capacité de $(97 * 10^6 m^3)$ à l'amont de la vallée de l'oued *El Hachem* a provoqué le rabattement de la nappe et même l'assèchement de certains puits.

Notre étude donne un constat des lâchers du barrage pour la réalimentation de la nappe dans les premiers résultats obtenus s'avèrent très encourageant afin de sauver le champs de captage [26].

5.1.1 Situation de la plaine alluviale de l'oued El-hachem

La plaine alluviale de l'Oued *El Hachem* est longue de 9500m et d'une largeur 80m. Elle longe la route Nationale *Alger-Cherchell* et ses deux extrémités sont matérialisées par liage de *Sidi Amar* au sud et le rétrécissement du massif de *Chenoua* au niveau de *Bordj Ghabrini* qui s'ouvre sur la mer. La superficie de l'oued *El Hachem* est d'environ 156 km².



Figure 5.1 : Vue général de l'oued El-Hachem à l'amont du barrage de Boukourdane

5.1.2 Hydrogéologie

5.2. Présentation de l'oued El- Hachem et la nappe

Oued *El Hachem* à l'amont de *Sidi- Amar* naît de la confluence des Oueds *Boukadir* de direction Ouest – Est en provenance de *Menaceur*, *Tegza*, *Nachef* et *Fedjana*. Ce dernier est de direction Nord-Sud semble constituer le prolongement de Oued *El Hachem*. (figure 5.2) constitution d'oued *El Hachem*

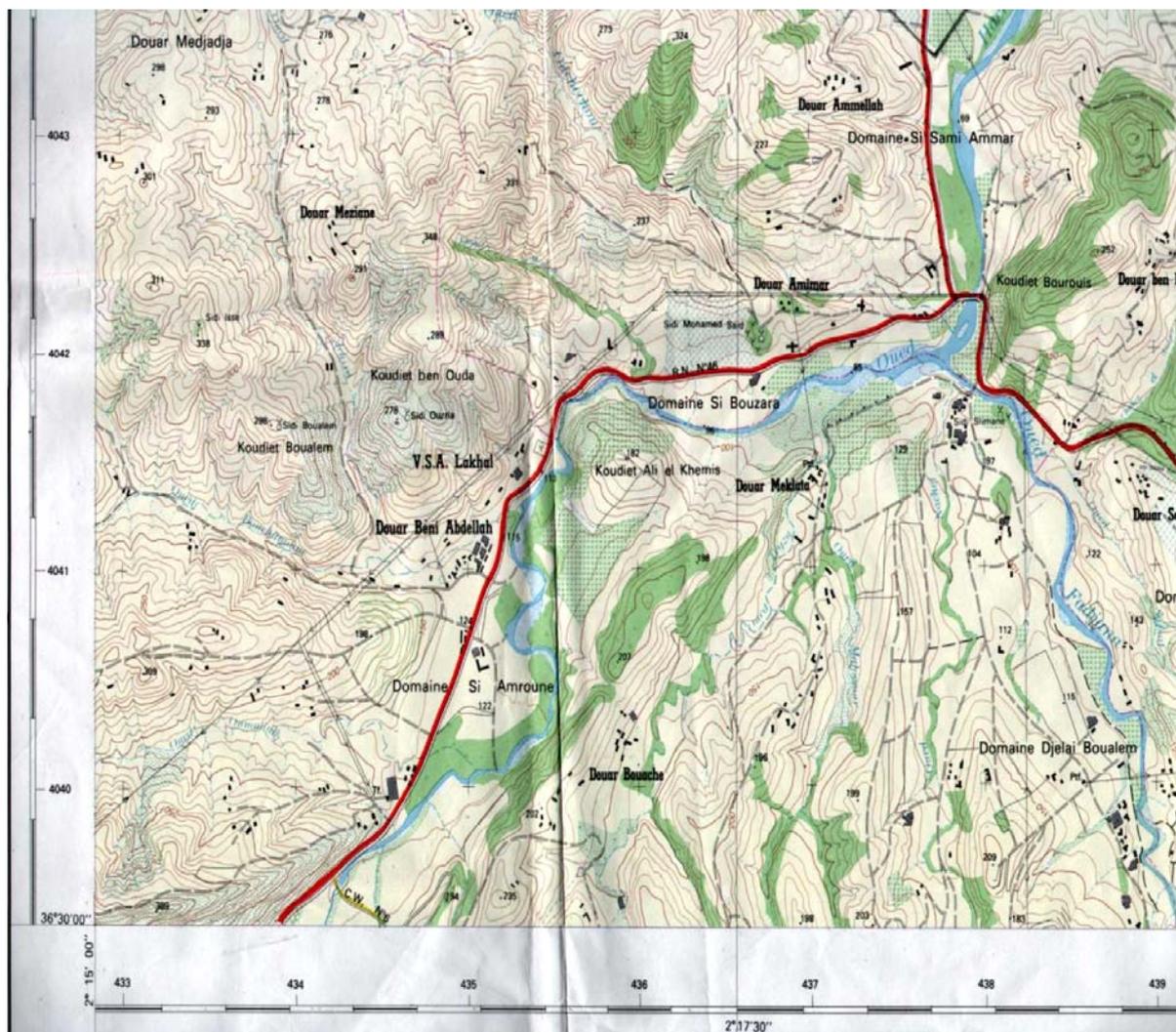


Figure 5.2 : Prolongement de l'Oued *EL-Hachem*

L'aquifère de la vallée de Oued *El Hachem* est d'âge plio-quaternaire. La nappe est tantôt libre, tantôt semi-captive, sous un recouvrement d'argile ou de marne d'épaisseur variable, ne dépassant jamais les 20 m.(ANRH)

Le niveau statistique de la nappe en régime libre est situé à une profondeur de 5 m en aval et de 20 m en amont. Oued *El Hachem* contribue à l'alimentation de la nappe.

Toutes les études réalisées sur la région de l'Oued *El Hachem* montrent que la seule formation intéressante du point de vue hydrogéologie est représentée par le remplissage alluvionnaire du quaternaire de la plaine. Ces dépôts du quaternaire sont essentiellement des galets, graviers, argiles sableuses, argiles rouges et limons de surface.

- La puissance maximale de ces dépôts issus des différentes périodes du quaternaire est environ *40 m*.
- Le substratum de cet aquifère est le plus ancien ; représenté par les marnes grises et bleues.
- La nappe est libre sur une grande partie de la plaine ce qui facilite l'infiltration des eaux de ruissellement ;
- Les transmissivités varient entre 10^{-2} à 10^{-4} *m/s* .

5.3.Constat sur l'état des lâchers du barrage de boukourdane et la piezometrie

Avant la mise en eau du barrage en 1992, la nappe alluviale a toujours bénéficié d'une recharge naturelle par le biais des eaux de ruissellement issues des précipitations bien que ces dernières années on assiste à une période de sécheresse.

En effet, la baisse sensible de la pluviométrie ces deux dernières décennies associées au remplissage du barrage, ont contribué à l'augmentation des volumes soutirés de la nappe en entraînant une baisse des niveaux piézométriques.

L'étude de faisabilité du barrage (rapport *Bonard Gardel* n° 2086 – 41 mars 1983) , devait y revoir après la mise en eau du barrage, des lâchers, afin d'assurer un débit minimum (débit écologique) permettant de maintenir les niveaux piezométriques .

❖ Avant les lâchers

D'après la campagne des mesures des niveaux piézométriques en 1996, lorsque la nappe alluviale était exploitée que par des puits des paysans. La surface piezométrique oscillait entre 0,44 m et 0,78 m de profondeur.

La surface des niveaux d'eau de la nappe enregistrés le jour des lâchers (27/04/98) variaient de 7,20 à 18,86 m (notons qu'on était encore en période de hautes eaux).

Cette baisse sensible du niveau d'eau de la nappe (piézométrique) s'explique par le fait que depuis la mise en eau du barrage de Boukourdane, la nappe ne bénéficie plus de conditions normales d'alimentation.

Le débit d'exploitation en 1972 était de 120l/s soutirés de la nappe. En 1996, il a chuté à 102l/s alors que les 11 forages d'AEP seulement sans les 72 puits de forages de l'agriculture, soutiraient plus de 250 l/s. Cette nappe était vraiment en surexploitation et les pompages puisent directement de ces réserves géologiques.



Figure 5.3 : Vue général de l'oued El-Hachem à l'aval du barrage de Boukourdane

❖ Après les lâchers

Après ces premiers lâchers, on pouvait remarquer à travers quelques mesures effectuées au niveaux des points d'eau (figure 38 et 39) que la profondeur des niveaux piézométriques commençait à s'atténuer comme le montre le tableau ci-dessous [35].



Figure 5.4 : L'eau évacué par les lâchers du barrage de Boukourdane

Tableau 5.1 : Piezometrie des points d'eau

Date	Pointd'eau1	Pointd'eau2	Pointd'eau3	Pointd'eau4	Pointd'eau5	Pointd'eau6
02/05/98	-6,82	-11,87	-11,60	-16,13	-12,30	-7,54
27/09/98	-3,30	-3,95	-4,70	-3,70	-4,35	-4,45
25/05/99	-3,60	-3,60	-7,70	-4,70	-6,70	-4,50
27/10/99	-4.25	-2.78	-4.,95	-2.,73	-6.4	-5
30/05/01	-6 ,72	-9,00	-4,7	-6,08	-11,45	-08,25
31/07/01	-5,03	-4,33	-3	-3,60	-8,75	-5,70
15/10/01	-3.35	-3.25	-3.60	-2.98	-6.75	-4.70
12/05/02	-6.75	-8.90	-7.10	-6.05	-10.7	-7.90
22/07/.2	-3.65	-3.65	-5.65	-3.40	-9.70	-5.10
29/06/03	-7.10	-7.95	-4.70	-5.80	-10.30	-5.70
12/08/03	-5.10	-7.05	-7.80	-4.80	-6.3	-6.5

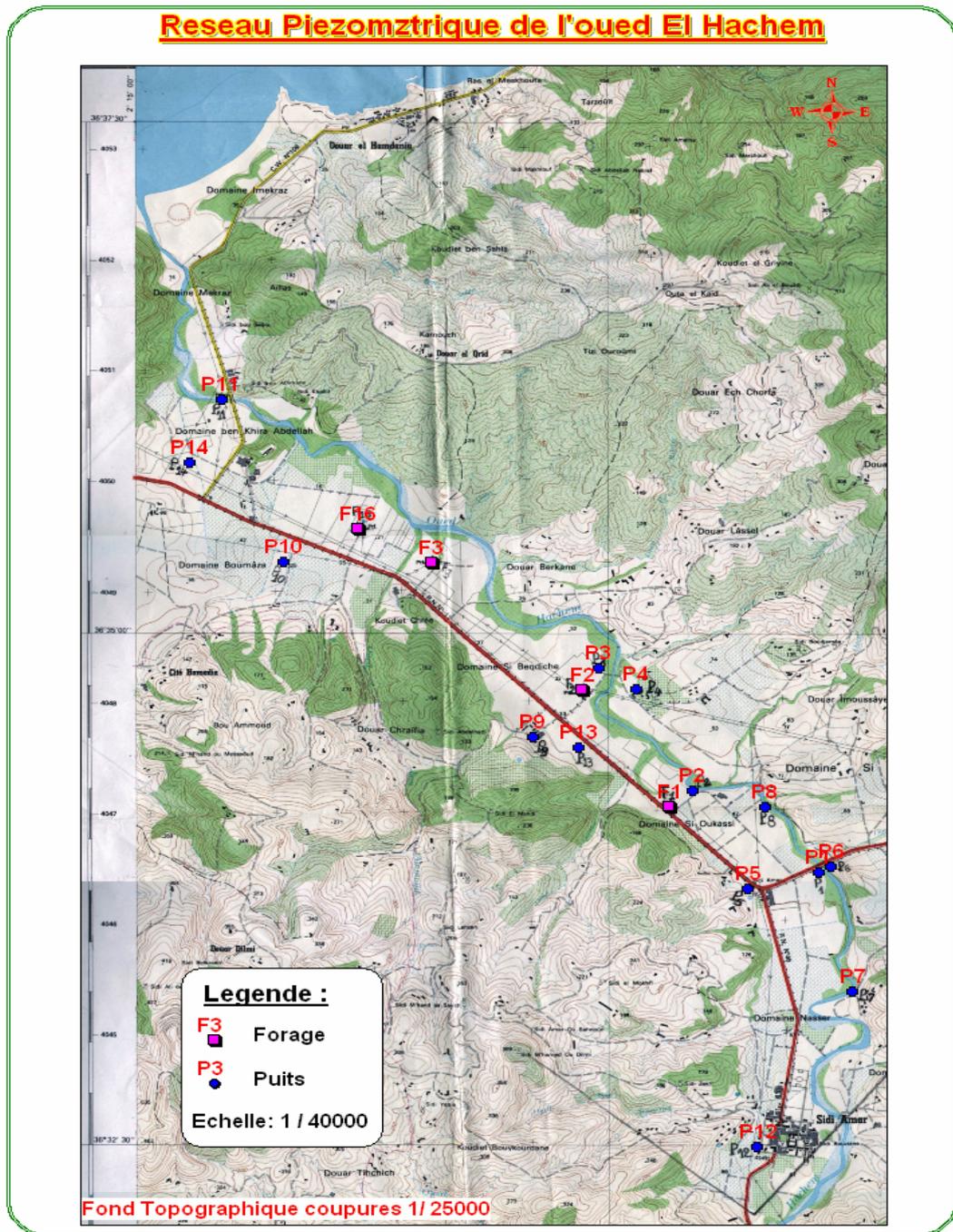


Figure 5.5 : Réseau de surveillance des eaux souterraines de la nappe Alluviale de l'Oued EL-Hachem

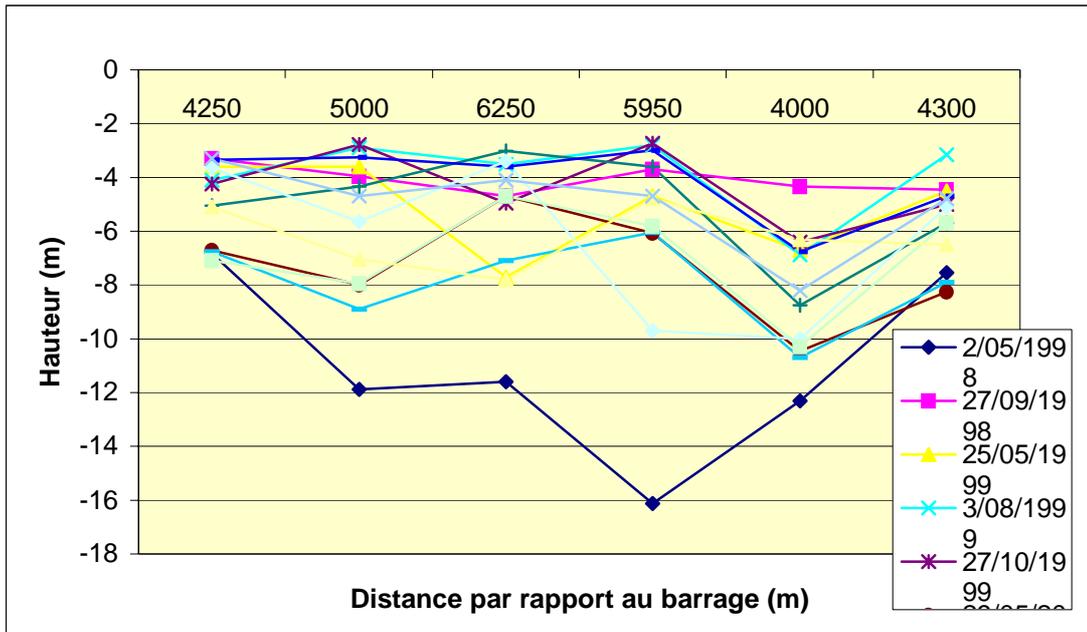


Figure 5.6 : Evolution spatio-temporelle de la profondeur d'eau du réseau piézométrique à l'aval du barrage de Boukourdane

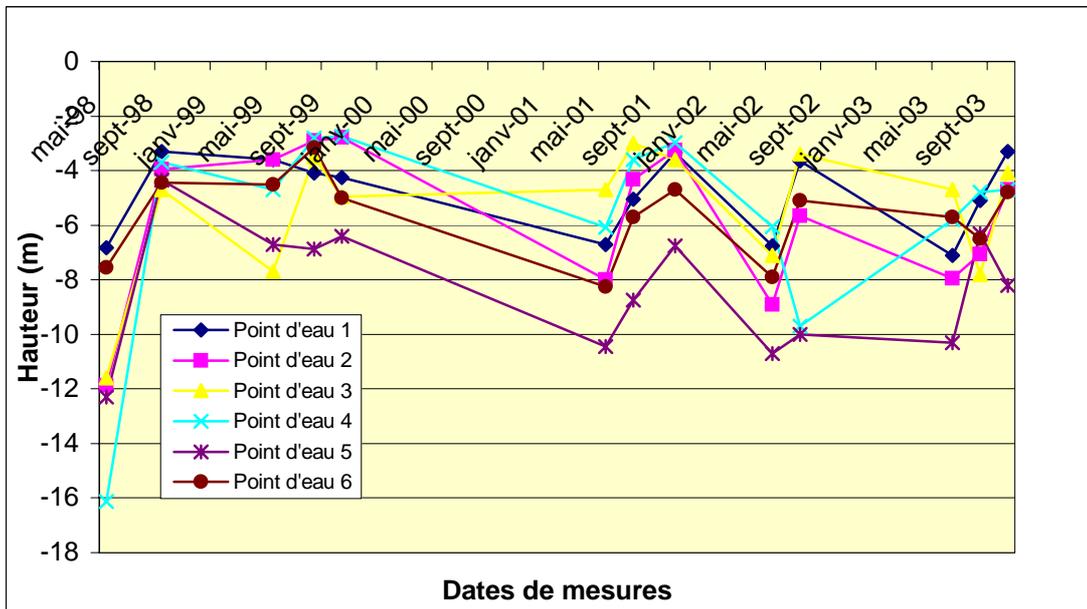
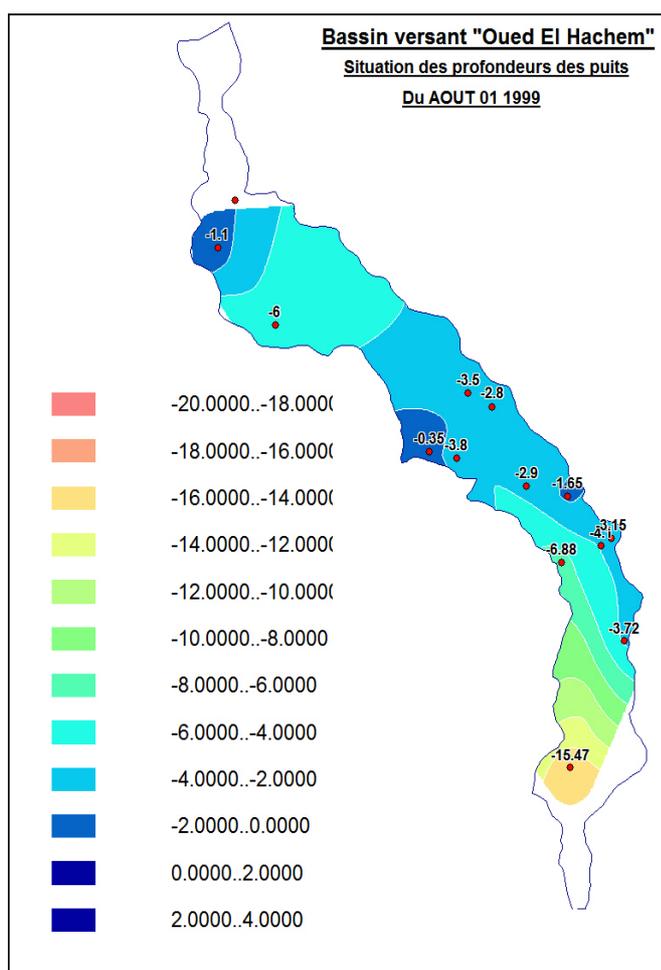


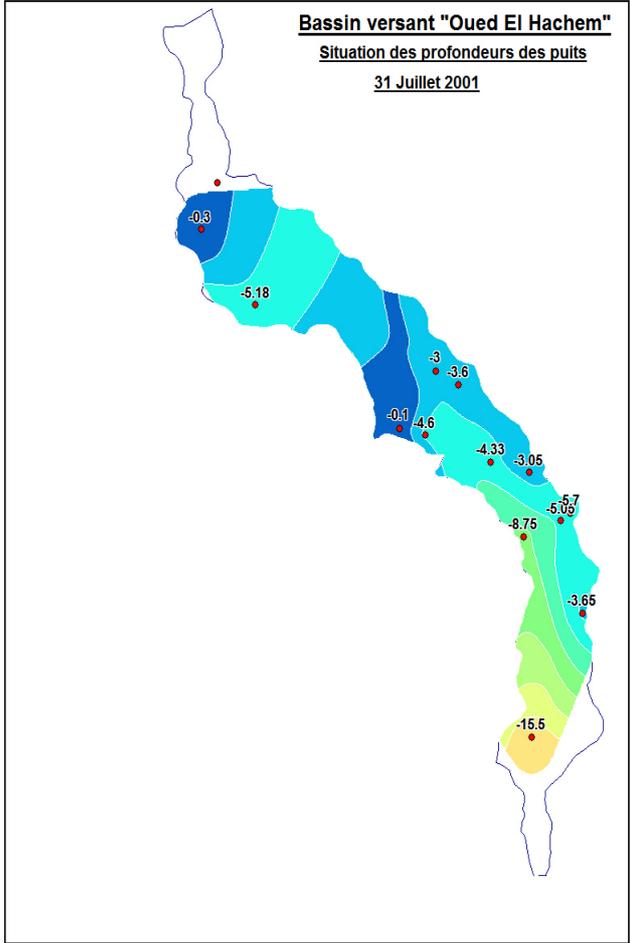
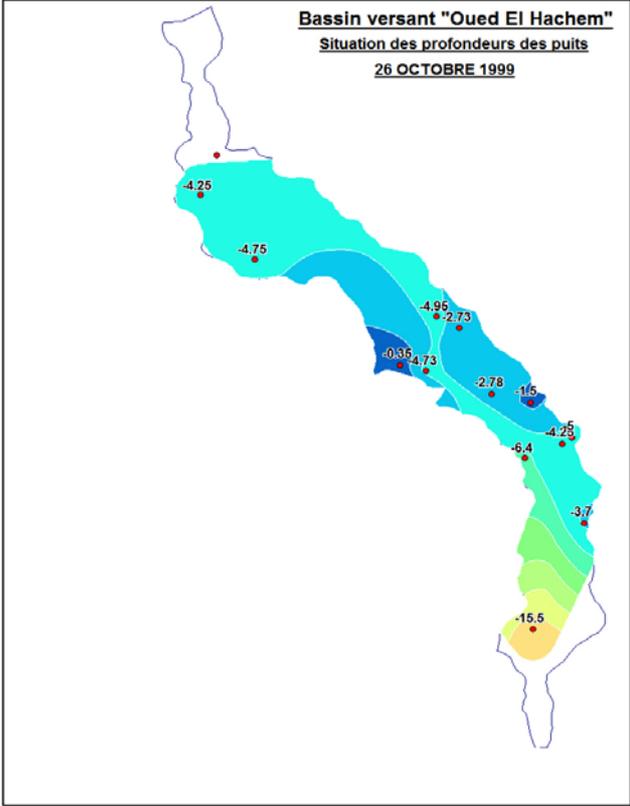
Figure 5.7 : Evolution des hauteurs d'eau du réseau à l'aval du barrage de Boukourdane

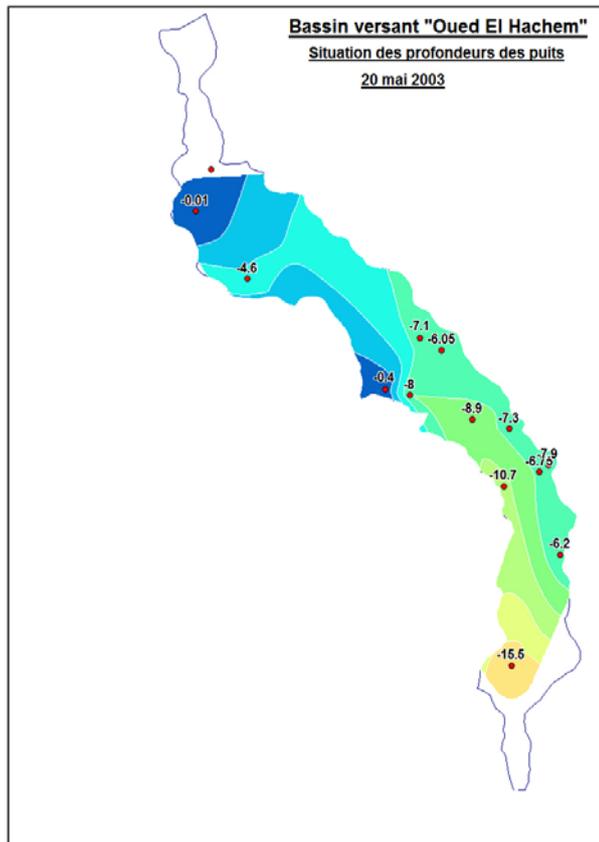
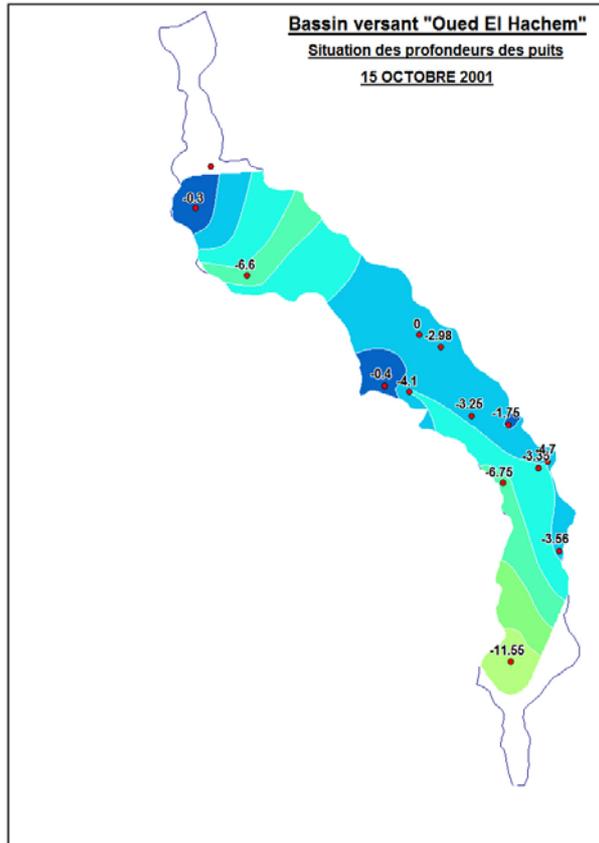
5.4. Analyse des résultats

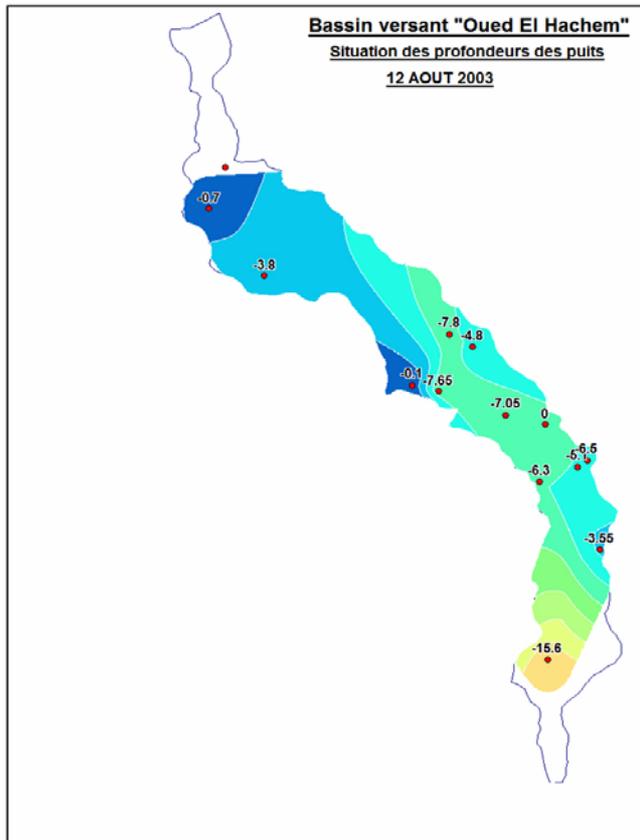
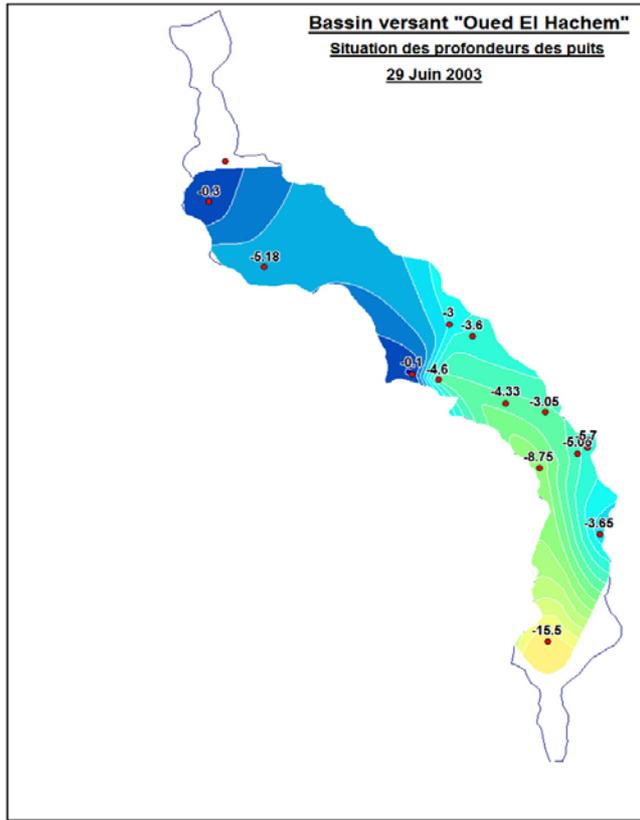
En comparant les résultats obtenus durant la dernière campagne piézométrique à ceux précédemment réalisés, nous remarquerons une remontée considérable des niveaux d'eau sur l'ensemble du réseau de surveillance traduit par une augmentation importante des niveaux statiques de l'ordre d'une dizaine de mètres. Confirmant ainsi la réussite de l'opération recharge artificielle de la nappe alluviale d'Oued *El Hachem* par des lâchers à partir du barrage de *Boukourdane*. C'est ainsi qu'en date du 27 avril 1998 qu'a eu lieu l'expérimentation des 1 lâchers du barrage pour alimenter artificiellement la nappe d'oued *El Hachem*.

Les figures ci-dessous montrent l'évolution des profondeurs de la nappe d'eau à l'aval du barrage de Boukourdane. Les différentes campagnes piézométriques effectuées avant et après chaque les lâchers du barrage des périodes :1999,2001,2002 et 2003 ;donnent des résultats satisfaisants.









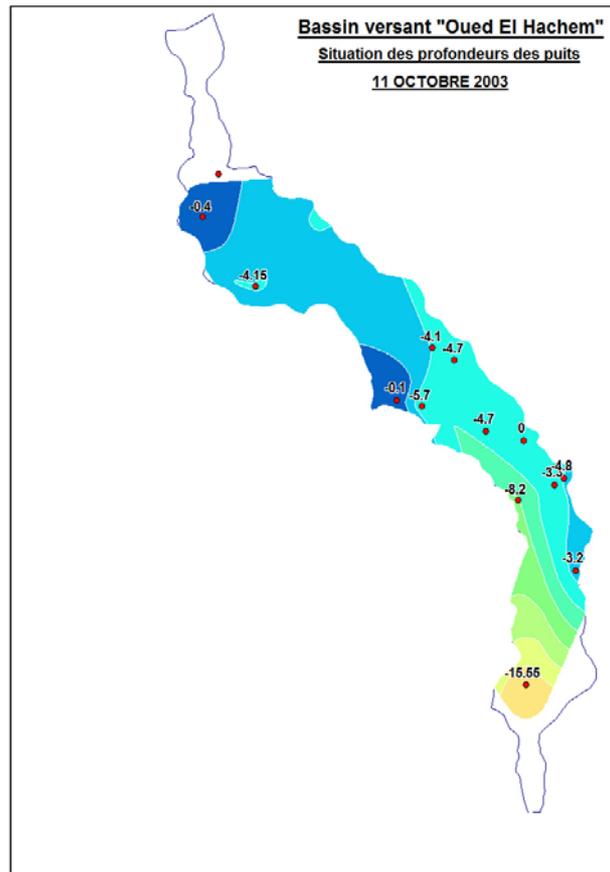


Figure 5.8: Evolution des profondeurs de la nappe d'eau du réseau à l'aval du barrage de Boukourdane

Le Volume lâché et volume infiltré d'après les jaugeages différentiels réalisés le 27 avril 1998 (ANRH) sont :

- *Volume lâché du barrage*

- La côte du barrage à l'heure d'ouverture de la vanne (8h 00) était à $100,25m$, ce qui correspond à un volume de $27798000m^3$.
- La côte du barrage à l'heure de sa fermeture (15 h 10 min) était à $100,02m$, ce qui correspond à un volume de $27317000m^3$, d'où le volume lâché est égal à $481\ 000\ m^3$

Tableau 5.2 : *Volume infiltré dans la nappe*

Lieu du jaugeage	Heure	Volume infiltré (m^3)
Pont RN 11	11 h 10 min 11,5	16,300
Pont RN 11	13 h 50 min 25,5	
<i>Bordj Ghobrini</i>	14 h 40 min 22,5	36,000

Le volume total infiltré est égale à $52,300(m^3)$, soit une infiltration de $10,87\%$ du volume lâché, un taux d'infiltration d'après les levées piézométriques, est très appréciable puisqu'il aura permis une remontée de la surface piézométrique dans les endroits les plus défavorable de la nappe (puits à sec) (ANRH).

Pour la réussite de l'opération de la recharge d'eau du barrage de *Boukourdane* dans le but de réalimenter la nappe alluviale de l'oued *El Hachem*, la DHW de *Tipasa* a réalisé des ralentisseurs de crues. Pour le ralentissement de la vitesse des eaux et permettant ainsi une meilleure infiltration aux coordonnées lamberts suivants :

- Premier ralentisseur X = 465,500 , Y = 362,650
- Deuxième ralentisseur X = 465,050 , Y = 363,140
- Troisième ralentisseur X = 463,650 , Y = 364,800

5.5. Conclusion

En Conclusion Nous pouvons dire que l'opération d'expérimentation de recharge artificielle de la nappe alluviale de l'Oued *El Hachem* par les lâchers des eaux du barrage de Boukourdane est une première dans son genre en Algérie. Elle est considérée comme étant le seul moyen disponible pour assurer la pérennité de la nappe qui s'avère bénéfique et suscite beaucoup d'intérêt.

Les résultats obtenus montrent que le transport solide dans l'oued *El-Hachem* est relativement faible. Par conséquent la vitesse de sédimentation dans la retenue est lente. Ce résultat se répercute dans ce cas sur la concentration des lâchers d'eau opérant périodiquement par la vanne de fond du barrage qui est très faible. Elle n'a pas donc d'effet sur le colmatage du fond alluvionnaire de l'oued.

L'étude de recharge de la nappe à l'aval du barrage par ces lâchers confirme ce résultat. Cette opération a rendu un grand service à l'environnement, à la faune, sans oublier la reprise des activités agricoles qui constituent la ressource majeure des populations rurales de la région.

CONCLUSION

Le présent travail est consacré à l'approche de la quantification des apports solides en suspension dans le but de prévenir l'envasement du barrage de Boukourdane sur l'oued El-Hachem.

Ce dernier étant destiné à l'alimentation en eau potable des agglomérations de Cherchell ; Sid Ghiles ; Sidi Amar ; et Tipasa, ainsi que l'irrigation de la vallée de l'oued El Hachem et les régions de Hadjout et de Sahel .

Tout au long de ce travail nous avons essayé d'exploiter au maximum les informations mises à notre disposition ayant pour objectif prioritaire l'estimation correcte de l'importance des apports solides et leur influence après les lâchers du barrage de Boukourdane .

A cet effet, nous avons pris en considération la définition des diverses formes d'érosion ,leur causes et mécanismes par l'intermédiaire de la cartographie qui constitue la base de l'inventaire préliminaires à toute étude du milieu physique, la méthode d'approche utilisée repose essentiellement sur l'élaboration des cartes de base suivantes :

La carte de relief ;

La carte des pentes ;

La carte lithologique ;

La carte d'occupation du sol ;

Le choix du bassin versant de l'oued EL Hachem comme champ d'application n'est pas arbitraire.

Effectivement il s'agit d'une unité hydrologique qui constitue l'impluvium de l'important barrage de Boukourdane.

Mise à part l'importance stratégique de cet ouvrage hydraulique dans la politique d'autosuffisance alimentaire, cette unité se caractérise par une diversité morphologique.

Les effets immédiats des différents processus morphogénétiques qui activent dans la zone étudiée risquent de provoquer à courte échéance un envasement accéléré du barrage de Boukourdane ceci entraînerait à terme une diminution sensible de sa durée d'exploitation.

A cet effet, le problème primordial qui s'annonce et celui de savoir comment agir et quels procédés, utilisés pour atténuer au maximum les effets de la morphogénèse sur l'envasement du barrage.

Ce travail se voulait une approche quantitative des apports solides en suspension et par charriage dans le but de se constituer des données utiles successibles de servir à l'étude de protection du barrage de Boukourdane contre le phénomène d'envasement.

Donc, nous avons utilisé des données hydrométriques fournies par l'ANRH, relatives aux débits instantanés et à la concentration en éléments en suspension au droit de la station de Mesdour à l'amont du barrage, et de Bordj-Ghobriné à l'aval de ce dernier. Sur une période allant de Septembre 1974 à Août 91 et Septembre 94 à Août 97 le transport solide en suspension est calculé dans cette étude au moyen de la teneur en suspension d'après l'équation $Q_s = C * Q_l$

Une série de 6 échantillons de matériaux solides effectués sur 03 sections dans le lit de l'oued EL Hachem, à l'amont du barrage de Boukourdane. On a fait une analyse granulométrique au laboratoire pour la détermination du ϕ moyen ϕ_{50} utilisé dans le calcul adopté pour la formule semi empirique.

Nous obtenons par conséquent une relation très significative mettant le rapport le débit solide en suspension et le débit liquide. Elle est de la forme

$$Q_s = 0.77 Q_l^{1.173}$$

Avec $R=0.93$

Au droit de la station de Bordj Ghobrini et une relation de la forme

$$Q_s = 1.60 Q_l^{1.50}$$

Avec $R=0.90$

Au droit de la station de Mesdour.

Sur la base de ces deux relations nous avons calculé le débit solide en suspension journalier pour une période 1974/75 à 1991/92 et de 1993/94 à 1997/98.

Les résultats trouvés sont transformés en tonnage annuel de matériaux en suspension.

- Deux relations mettant en rapport le débit liquide et le débit solide par charriage, elles sont de la forme :

$$G_s = 0.214 Q_l^{0.92}$$

Avec $R=0.92$

$$G_s = 11.851 Q_l^{1.182}$$

Avec $R=0.96$

« Le coefficient de rugosité étant pris en compte »

Respectivement à ces deux relations nous calculons les débits solides charriés journaliers sur toute la période.

Le volume total annuel de transport solide dans l'oued El-Hachem au droit des deux stations, est estimé par la somme des volumes en suspension et par charriage ; elle est de la forme :

$$W_t = Q_S + G_S$$

De l'analyse des résultats de transport solide dans l'oued El-Hachem nous déduisons la constatation suivante :

- Les débits solides charriés annuels sont toujours inférieurs.
- Le charriage dans le cas où l'on prendra en compte la rugosité du lit de l'oued est estimé à 17% de la suspension.
- Le taux d'érosion (Est en t/km².an) à titre de comparaison, les résultats retrouvés s'avèrent très comparables à la valeur moyenne calculée.
- Ceci prend appui dans la recherche de corrélation entre le taux d'érosion spécifique calculé et quelques paramètres hydro-climatiques et le débit maximum annuel, a permis de retrouver des relations hautement significatives.

Les résultats obtenus montrent que le transport solide dans l'oued El-Hachem est relativement faible, par conséquent la vitesse de sédimentation est lente dans la retenue. Cela se répercute sur la concentration des lâchers d'eau qui opèrent périodiquement par la vanne de fond du barrage qui devient très faible.

Cette dernière n'a pas d'effet sur le colmatage du fond alluvionnaire de l'oued, ce qui favorise la réalisation de ouvrages de recharge. L'étude de la recharge de la nappe à l'aval du barrage par ces lâchers depuis l'année 1998/1999 jusqu'à 2002/2003 confirme ce résultat.

A la fin nous souhaitons que notre travail a permis une bonne compréhension des diverses formes d'érosion, par l'intermédiaire de la cartographie géomorphologique détaillée et la quantification de leur contribution dans la fourniture des sédiments en suspension et par charriage à l'exutoire du cours d'eau.

Ce qui servira de base la définition d'une méthodologie de lutte contre l'érosion en vue de l'accroissement de la durée de vie des aménagements hydraulique est sauvegarde du milieu physique.

REFERENCES

1. Touaibia, B., « Quantification de la salinité et du transport solide ; cas du bassin versant de l'oued Deurdeur ». Institut national agronomique Alger Thèse de Magister (1986) .
2. Andrae, A., « Nouveau procédés de mesures en hydrologie », Editions Dunod, Paris, France (1970) .
3. Azzedine, G., « Hydrologie et utilisation de la ressource en eau en Algérie » (1986) .
4. Remini, B., « Comment s'ensavent les barrages ? Première journée (1997).
d'étude sur l'érosion des sols et l'envasement des barrages ;Université ; inst Génie-Rural
- 5 . Arabi, M., « Hydro pluviométrie et transport solide dans le bassin versant de l'oued Mina », Thèse Unique Université de Louis Pasteur (1991) .
- 6 . Chatal, M., « Le bassin versant de l'oued El-Djemaa, Evolution morphodynamique et perspectives d'aménagement -approche méthodologique-» Thèse de Magister en Géographie, (1996).
7. Sundborg, A., « Sedimentation problems in river basin studies and reports in hydrological programme »UNESCO –Paris (1982)
8. Ramez, P., « Le transport solide et sa modélisation séminaire spécialisé. Erosion et le transport solide » UNESCO-Paris (1996).
- 9 . Chaumont, M., PAQUIN, C., « Carte pluviométrique de l'Algérie»(ANRH), (1971).
10. Demmak, A., « Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides en Algérie septentrionale » Thèse de Docteur –Ingénieur Université de pierre et Marie Curie France 323p, (1982) .

11. Anrh , « Note technique sur l'évènement pluvieux du 09 au 10 Novembre (2001).
12. Réseau, Erosion, Bulletin) : « Environnement humain de l'érosion » Centre Orstom Université Montpellier , V15, 596p (1995).
13. Getz, « L'aménagement des zones marneuses dans les bassins versants des montagnes de l'atlas tellien semi aride –Schriftenreihe der GTZ 256p (1996) .
14. Quesnel, B., « Traité hydraulique fluviale appliqué » Edition Eyrolles –Pairs 273p (1973).
15. Graf,W.H., « Hdraulics of sédement transport »Tome 1-39 p Edition Mc Braw-Hill Book company; New york (1971) .
16. Saugreah , H. , « Etude de synthèse sur les apports solides en Algérie » (1969) .
- 17 . Gomer, D., Schweikle , V., Theisen , H-W., «Une détermination simple de la charge de ruissellement ,eaux et sols d'Algérie » p62-68 Alger (1991).
18. Tixeront, J., « Taux d'abrasion et teneur en suspension des cours d'eau en Algérie et de Tunisie»,(1960) ».
19. Larfi, B., « Prévision du transport solide dans le bassin versant de l'oued Isser ; application à l'envasement du barrage de Beni Amrane- Thèse de Magister ; Institut de génie rural- Université de Blida 90p, (2001).
20. Sadok, A. et Marche, C. « Essai d'explication et de quantification des morphologies des sédiment dans l'écoulement fluviale » , CAN.J.CIV.ENG. volume 21 ,PP490-498 (1994).
21. Meddi, M., « Hydro pluviométrie et transport solde dans le bassin versant de l'oued Mina » Thèse Unique –Université Louis pasteur ,(1992) .
22. Gtz, « Projet pilote d'aménagement intégré du bassin versant à sols marneux sous climats semi aride méditerranéennes » ANRH, (1996).

23. Halimi, Abdelkader, « L'Atlas blideen climats et étages végétaux » OPU Alger 480 p, (1980) .
24. Khouli , M., « Contribution à l'étude hydrogéologique de la plaine alluviale de oued El-Hachem » 142p, (2001).
25. Scanvic-yves, J., « Utilisation de la télédétection dans les sciences de la terre »153p (1983) .
- 26 . Bneder., « Etude de développement rural intégré de treize communes montagneuses » Rapport N°2, (1992) .
27. Bouzouidja S : « Contribution à l'étude d'aménagement du bassin versant du cours d'eau de la Chiffa.(2001).
28. Anrh et gtz, « Actes du colloque sur l'érosion des sols et l'envasement des barrages », Institut Goethe d'Alger , (1991).
29. Lebreton ,Claude, J.,« Dynamique fluviale Edition Eyrolles Paris 209p, 1974) .
30. Fournier, F., « Climat et érosion , la relation entre l'érosion du sol par l'eau et les précipitations atmosphériques.Presses Universitaires de France ,Paris.,(1960) .
- 31.Tadrist, N. & Remini, B., « Etude du transport solide dans l'oued El-Hachem et ses effets sur la recharge de la nappe à partir des lâchers du barrage de Boukourdane » , 5^e Symposium International de l'eau, Cannes du 23 au 27 juin 2003.
- 32.Tadrist, N. & Remini, B., «La recharge artificielle de la nappe de la nappe alluviale par les lâchers du barrage de Boukourdane », Conférence international des limnologues d'expression Française 27 juillet au 1^{er} août 2003, Montréal (CILEF –2003).
- 33.Sidi moussa , F., « Note sur la recharge artificielle de la nappe alluviale de l'Oued *El Hachem* » ANRH (1997) .

34. Achit, M., « Contribution à l'analyse multivariée de la variable transport solide cas du bassin versant de l'oued Mina (Wilaya de Rélizane) », (1996).
35. Tadrist, N., « L'effet des lâchers du barrage de Boukourdane (Algérie) sur l'alimentation de la nappe », Université de Moulay Tahar de Saida ; le 5 & 6 novembre 2001.
36. Tadrist, N. & Remini, B., « Le transport solide dans l'oued El- Hachem et ses effets sur la recharge de la nappe à partir des lâchers du barrage de Boukourdane » ; colloque international de l'eau dans le bassin Méditerranéen : Ressource et développement Durable ; Monastir (Tunisie) du 10 au 13 Octobre 2002.
37. Greco, J., « L'érosion la défense et la restauration des sols le reboisement en Algérie. Publication du ministère de l'Agriculture et la révolution agraire Alger 393 p, (1966) .
38. Karim, & Kennedy J.F., « Menu of couple velocity and sediment discharge relation for rivers Journal of hydraulic engineering » , vol .116 N°8 ,(1990).
39. Pnud/ o.p.e « Ressource en eau dans les pays de l'Afrique du nord » .Projet RAB/80/011.Rapport technique ; volume 1, (1987) .
40. Réseau, érosion, « Lutte anti érosive en sierra » Equatoriale, V13 (1993) .

