

République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة جيلالي بونعامة خميس مليانة
Université Djilali Bounaama Khemis Miliana
Faculté des sciences de la nature et de la vie et des sciences de la terre
Département de: Biologie



Mémoire de fin d'étude

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

***Domaine** : Sciences de la Nature et de la Vie*

***Filière** : Biologie*

***Spécialité**: Eau et bioclimatologie*

Estimation de l'erreur de quantification de l'érosion hydrique par deux approches différentes

Présenté par :

M^{elle} BESSADI Habiba

M^{elle} BOUCHARREB Khedidja

Soutenu le : 17 Juin 2015, Devant le jury :

***Président** : Mr AMRANI Rachid*

MAA

UDBKM

***Promotrice**: Mme BOUAICHI Ilhem*

MAB

UDBKM

***Examinatrice** : Mme MOSTEFAOUI Hassiba*

MAB

UDBKM

Année universitaire : 2014/2015

Remerciements

Nous tenons à remercier ALLAH qui a veillé sur nous et qui nous a donné la volonté de poursuivre notre formation c'est à lui que nous devons cette récompense.

Nous tenons à adresser notre profonde gratitude et nos vifs remerciements à toutes les personnes qui nous ont apporté leur aide, en particulier :

A notre promotrice M^{me} BOUAÏCHI Ilham, pour ces Conseils et ces consultations qui nous ont tout aidé à la réalisation de notre travail.

Le président et les membres de jury

- *Mr AMRANI Rachid qui a bien voulu accepter d'être président de jury.*
- *M^{me} MOSTEFAOUI Hassiba qui a accepté la lourde tâche d'être examinatrice pour notre travail.*

Nous remercions l'ensemble des enseignants du département de biologie, spécialité Eau et Bioclimatologie qui ont veillé à notre formation durant tout au long de notre période d'étude ainsi que pour leur aide et leur disponibilité.

Aux responsables de l'ANRH de Blida ;

Aux ingénieurs du barrage Sidi Yacoub ;

Nous tenons également, à présenter nos remerciements à ceux qui ont contribué de près ou loin par leur connaissance dans les différents domaines à la réalisation de ce travail.

A L'ensemble du service de la bibliothèque et aux chefs du département hydraulique et informatique de l'université de Chlef.

A Tous ceux qui nous ferons l'honneur de tenir ce mémoire

A Toutes les personnes de l'Université Djilali Bounaama de Khemis Miliana

A Toutes et à tous, on vous dit Merci

Dédicaces



Je dédicace ce modeste travail :

✚ *A mes chers parents qui m'ont aidé durant toutes les années d'étude ;*

✚ *A mes chères, frères et sœurs :*

MOHAMED, son fils ABDELLEAH.

YOUCEF, sa femme et sa fille marwa

Mes sœurs, Saliha, Fatma, Kheira, Zohra, et leurs enfants,

Choaib, Younes, Mohamed amine, Yassine, Imad, Ahmed.

Et à mes autres sœurs Djamila et ghania.

✚ *A toutes les amies intimes : Sihem, Lamia, Soumia, Meryam.*

✚ *A Ma binôme Habiba et sa Famille.*

✚ *A ma promotrice M^{me} Bouaichi Ilhem pour ces conseil et ces consultations qui m'ont tout aidé a la réalisation de mon travail.*

✚ *A toute ma famille du petit au grand.*

✚ *A tous mes amis et amies et a tout ceux qui m'ont connu de près ou de loin.*

Khadîdja

Dédicaces



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

Je dédicace ce modeste travail :

A mes chers parents qui m'ont aidé durant toutes les années d'études.

A mes chères frères ; Abd-el-Kader, Sofiane, Khaled, Azzedine.

A mon cher fiancé Farouk pour ses encouragements et son aide considérable.

A mes grands parents

Toute la famille : Bessadi, Djellouli, Hayoun, Sahnouni

A toutes les amies intimes : Linda, Amel, Farida, Nassima

Ma binôme Khadidja et sa famille

A toute ma famille du petit au grand

A ma promotrice M^{me} Bouaichi Ilham. Pour ces Conseils et ces consultations qui m'ont tout aidé à la réalisation de mon travail.

Ainsi qu'à ma promotion Master 2 Eau et Bioclimatologie 2014-2015

HABIBA

Résumé

Compte tenu de la complexité du phénomène de l'érosion hydrique dans notre pays, liée à une importante hétérogénéité des sols, à un couvert végétal très épars et par endroits inexistant, et à une pluviométrie mal répartie aussi bien dans l'espace que dans le temps, un essai de quantification de la variable aléatoire "érosion hydrique" est entrepris.

L'objectif à atteindre est de déceler les erreurs de calculs de cette variable afin de prendre un choix quand à la méthode de son estimation.

Les deux méthodes utilisées pour le calcul sont : l'estimation par données hydrométriques de la station OULED Ben AEK et par levés bathymétriques de barrage Sidi Yacoub, cette approche nous permettra par la suite de confirmer ou d'affirmer le choix de la méthode de calcul.

A l'afin de notre travail nous avons pu calculer l'erreur relative de quantification de la variable aléatoire « érosion hydrique » en prenant la méthode bathymétrique comme référence, d'après les résultats obtenus, l'erreur relative est de l'ordre de **9%** sans lâchées et **15%** avec lâchées.

Mots clés : érosion hydrique, erreur, estimation, hydrométrie, bathymétrie, Sidi Yacoub.

Abstract:

Given the complexity of the phenomenon of water erosion in our country, due to significant heterogeneity of soils, vegetation cover very sparse and non-existent places, and poorly distributed rainfall both in space and in time a quantification of the random variable test "water erosion" is undertaken.

The goal is to identify calculation errors of this variable to take a choice when the method for its estimate.

The two methods used for the calculation are: estimation hydrometric station data Ouled Ben AEK and bathymetric surveys of Sidi Yacoub dam, this approach will allow us afterwards to confirm or affirm the choice of the calculation method .

At the order of our work we were able to calculate the relative error quantification of the random variable "water erosion" taking bathymetric method as a reference, according to the results obtained, the relative error is of the order of dropped 9% without and 15% with dropped

Key words: water erosion ,error ,estimation ,hydrometric ,bathymetric ,Sidi Yacoub.

ملخص:

يعتبر الانجراف المائي ظاهرة من الظواهر المعقدة في بلادنا ، مرتبطة بتباين الأراضي ، وتنوع التربة وندرة الغطاء النباتي ، حيث لا نجده في بعض الأماكن، وكذلك التساقط الغير منتظم للإمطار في الزمان والمكان . الهدف من هذه الدراسة هو كشف أخطاء الإحصاءات لهذا المتغير من أجل اختيار الطريقة الصحيحة لتقديره.

الطريقتين المعتمدتين للإحصاء هما: الإحصاء بالمعطيات الهيدرومترية لمحطة أولاد بن عبد القادر و الإحصاء بقياس الأعماق لسد سيدي يعقوب و هذه الدراسة تسمح لنا بتأكيد أو نفي طريقة الإحصاء . مع طريقة في اخر دراستنا تحصلنا على على حساب الخطأ النسبي للمتغير العشوائي " الانجراف المائي " الأعماق كمرجع، تم الحصول علي 9% بدون صادرات السد و 15% مع وجود صادرات السد

الكلمات الدالة : الانجراف المائي , أخطاء , إحصاء , الهيدرومترية , قياس الأعماق , سيدي يعقوب

Liste des Abréviations

ABH : Agence du Bassin Hydrographique de Chlef Zahres.

A.N.B.T : Agence National des Barrage et transferts.

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydraulique.

A : surface du bassin versant

Bv : bassin versant

Es : érosion spécifique

P : périmètre du bassin versant

L_r : la longueur du rectangle équivalent

La : la largeur du rectangle équivalent

K_C : Indice de compacité de Gravilius

I_g : Dénivelée spécifique

D_d : Densité de drainage

D_s : dénivelée spécifique

T_C : Temps de concentration

L_P : Longueur du thalweg principal

C_t : Coefficient de torrentialité

σ : Ecart type

Δ : Paramètre à caler, homogène à un temps

ΔH : dénivelée entre les courbes de niveau

Q_i : Débit instantané

P_{moye} :plui moyenne

a : Paramètre d'échelle

x₀ : Paramètre de position

K : coefficient de forme

q₀ :l'ordonné de point de convergent

S.y: Sidi yacoub.

irr: irrigation.

AS : Araire Saison.

Bes: Besoins.

Vol : Volume

Super : superficie

Le : lame d'eau écoulée

S AEK : station de ouled ben abdelKa

La liste des figures.

Numéro	Titre	page
Figure n°02	situation géographique du bassin versant du barrage de sidi yacoub.....	23
Figure n°03	la carte géologique du bassin versant du barrage de Sidi Yacoub.....	25
Figure n°04	bassin versant d’oued El Ardjem et son réseau hydrographique	27
Figure n°05	le rectangle équivalent.....	29
Figure n°06	la carte topographique du bassin versant d’Oued El Ardjem	31
Figure n°07	courbe hypsométrique et répartition altimétrique du bassin versons Oued El l’Aarjem.....	32
Figure n°08	profil en long d’Oued El Ardjem et ses Affluents.....	39
Figure n°09	Représentation de bassin versant de la station hydrométrique ouled Aek.....	43
Figure n°10	courbe volume-Hauteur barrage Sidi Yacoub.....	48
Figure n°11	Relation débit liquide – débit solide à la station de Ouled Ben Aek.....	53
Figure n°12	Variation de l’apport solide en fonction de l’apport liquide (cas avec lâchées.....	60
Figure n°13	La variation de l’apport solide en fonction de l’apport liquide (cas sans lâchées).....	62

Liste des tableaux

Numéro	Titre des tableaux	Numéro de page
01	Valeurs de α pour différentes perméabilités.....	14
02	Lithologie du bassin versant de l'Ardjem.....	19
03	répartition altimétrique du bassin versant de Oued EL Ardjem.....	23
04	la répartition des moyennes altimétriques.....	25
05	la densité de drainage $D_d = D_{dp} + D_{dt}$	28
06	paramètres de calcul du profil en long.....	29
07	Vent et évapotranspiration de la région de Sidi Yacoub.....	30
08	Température moyenne de la région de Sidi Yacoub.....	31
09	Évaluation Du Lamé D'eau	31
10	Pluie de la région de Sidi Yacoub.....	32
11	Les Caractéristique de barrage Sidi Yacoub	34
12	La variation des débits liquides et les débits solides de la station Ouled Ben AEK.....	41
13	Résultats de calculs des différents modèles à la station de 012311 Ouled Ben AEK.....	42
14	Répartition interannuelle de l'apport liquide et solide à la station 012311 sans lâchers.....	46
15	Répartition interannuelle de l'apport liquide et solide à la station 012311 avec lâchers.....	47
16	Représente les résultats de calcul érosion spécifique de la station 012311.....	48
17	représente erreur d'estimation érosion.....	49

TABLE DES MATIERES

Remerciement	i
Dédicace	ii
Résumé.....	iv
Liste des abréviations	v
Liste des figures.....	vi
Liste des tableaux.....	vii
Introduction générale.....	01

Chapitre I : Aperçu bibliographique

I.généralité sur les barraages.....	04
I .1.définition de barrage.....	04
I.2 .principaux éléments du barrage.....	04
I.3. les principaux usages des eaux des barrages	04
I.4.la bathymétrie	05
I.5.remplissages et lâchées d'eaux du barrage.....	05
I.5.1. définition de la lâchées du barrage	05
I.5.2. les étapes de fonctionnement du barrage	06
II .l'érosion.....	06
II.1. Définition de l'érosion.....	06
II.2.les types d'érosion.....	06
II.2.1.érosion hydrique.....	07
II.2.2.origine et mécanisme.....	07
II.3.les formes de l'érosion hydrique.....	07
II.3.1. L'érosion en nappe ou "skeet érosion".....	07
II.3.2.L'érosion linéaire (micro-Channel).....	07
II.3.3. L'érosion par ravinement (Gully érosion).....	07
II .4.Facteurs de l'érosion hydrique.....	08
II .4.1. Le climat.....	08
II .4.2. Le sol.....	08
II .4.3.La topographie.....	09
II.4.4.Le couvert végétal.....	09
II .4.5.Les facteurs liés aux activités agricoles.....	09
II .4.5.1- Les cultures.....	09
II .4.5.2- Le travail du sol.....	10
II .4.5.3- Les machines agricoles.....	11
II .5. Quantification de l'érosion hydrique.....	11
II .5.1. Formule de Henin 1950.....	11
II .5.2. Formule de Wischmeier et Smith.....	11
II .5.3. Formule de Fournier (1960).....	12
II .5.4. Formule de Tixeront (1960).....	12
II .5.5. Formule de Graviilovic (1960).....	12

II .5.6. Formule de L'A.N.R.H (1970).....	13
II .5.7. Formule de la SOGREAH.....	13
III. Erosion des bassins versants.....	14
III.1. Transport Solide.....	14
III.2.Modes de Transport.....	14
III.2.1.Charriage.....	14
III.2.2.En Suspension.....	15
III.2.3.Suspension intrinsèque.....	15
VI.5.Conclusion	15

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

I. Introduction	17
I.1.Situation géographique.....	17
I.2. étude géologique de la région.....	18
I.3. études lithologique et stratigraphique.....	18
I.4.Le couvert végétal.....	20
I.5. Caractéristiques physiques du bassin versant.....	20
I.5.2.La forme du bassin.....	21
I.5.2.1.Indice de compacité.....	21
I.5.2.2.Rectangle équivalent.....	23
I.5.2.3.Paramètres de Relief.....	23
I.5.2.4.Altitude moyenne.....	24
I.5.2.5.indice de pente (roche) I_p	25
I.5.2.6.Indice de pente globale I_g	26
I.5.2.7.la dénivelée spécifique D_s	26
I.5.2.8.La pente moyenne I_M	27
I.5.2.9. La densité de drainage.....	27
I.5.2.10.Profil en long.....	28
I.6.Conditions climatiques et hydrologiques.....	30
I.6.1.Climat.....	30
I.6.1.Vent et évapotranspiration.....	30
I.6.2.La température.....	31
I.6.3.Pluviométrie.....	31
I.7.station hydrométrique d'Ouled ben AEK.....	32
I.8. Conclusion.....	34

Chapitre III : Collecte et traitement des données

I Introduction	36
II Représentation de la banque des données.....	36
II.1. Matériel et Méthodes utilisés.....	36
II.1.1. Les données utilisées	36
II.1.2.Logiciels utilisés	36
II.1.3 principale méthodes Utilisées.....	37
II.2.Calcul de l'érosion	37

II .2.1.calculé par méthode bathymétrique.....	37
II.2.1.1.volume envasé	37
II .2.1.2.nombre d'années	37
II.2.1.3.Erosion spécifique	38
II.2.1.4.Taux d'envasement	38
II .3.1.calculés par méthodes hydrométrique	38
II.3.1.1.méthode de travail	39
II.3.1.2.mise en forme et traitement des données	40
II.3.1.4. Relation : Débit liquide instantané – débit solide instantané	42

CHAPITRE IV : Quantification de l'érosion et estimation de l'erreur relative

I. Introduction	44
II. Résultats et discussions	44
II.1.Approche d'évaluation des apports solides dans les stations hydrométriques	44
III.1. Variabilité spatio-temporelle des apports liquides et solides	45
III.2. Quantification de l'érosion spécifique.....	48
III. 3. Estimation de l'erreur relative.....	49
Conclusion générale.....	51
Références bibliographiques.....	54

Introduction générale

Les ressources en eau en Algérie constituent l'une des principales richesses sur lesquelles reposent la prospérité et le développement du pays. Malheureusement ces ressources sont menacées par la perte de capacité de stockage des barrages due au phénomène d'envasement.

L'envasement ou l'alluvionnement est la conséquence naturelle de la dégradation des bassins versants. Il constitue actuellement une préoccupation aux projecteurs et aux exploitants d'un pays caractérisé par un taux d'accroissement démographique élevé, cause nécessaire pour conserver les réserves d'eaux existantes.

D'après [1], chaque année 45 millions de m³ de vase se déposent au fond de nos barrages, ce qui représente une perte de capacité annuelle égale à 0,7 % de la capacité totale. Cette estimation reflète une situation non alarmante. Par ailleurs, une dizaine de ces barrages sont fortement menacés par ce phénomène, puisqu'ils sont Envasés à plus de 50 % de leurs capacités totales. A titre d'exemple, le barrage Fergoug dans la willaya de Mascara connaît un taux d'envasement de 97,77%, celui de Bouhnifia est à 47,79%. En ce qui concerne la willaya de Tlemcen, le barrage Béni Bahdel et celui de Sidi Abdeli sont respectivement envasés à un taux de 13,28% et 3,08% [2].

Dans ce cadre, la présente étude vise à analyser l'état d'érosion du bassin versant du barrage Sidi Yacoub de capacité initiale de 268 Mm³, Devant les difficultés trouvées pour la maîtrise de l'alluvionnement, la définition de l'état d'érosion est obligatoire

Les levés bathymétriques du barrage de Sidi Yacoub et les données hydrométriques de la station d'Ouled Ben Abk (012311) qui est située à l'aval du barrage sur Oued Ardjem dans le sous bassin 0123 de l'Oued Cheliff, sont la base de cette étude, l'analyse statistique est l'une des méthodes efficaces permettant d'aboutir à des résultats satisfaisants. Une première étape vise à quantifier l'érosion selon deux situations qui se présentent (en prenant en considération les lâchées en AEP et en Irrigation des barrages, et en supprimant ces mêmes lâchées pour l'autre cas), une deuxième étape sert par la suite à estimer l'erreur relative de ces estimations, elles sont référencées par rapport à la valeur de l'érosion calculée à partir des levés bathymétriques du barrage de Sidi Yacoub.

Ainsi, notre document est divisé en quatre (04) chapitres distincts :

Le premier chapitre de cette étude présente brièvement des généralités sur l'érosion et le transport solide,

le deuxième comprend l'étude de la région, sa situation géographique ainsi que le bassin versant.

le troisième chapitre consiste à la collecte et traitement des données c'est le calcul par deux méthodes :(bathymétrique et hydrométrique).

Enfin le quatrième chapitre porte sur la quantification de l'érosion et l'estimation de l'erreur relative.

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

Généralité sur les barrages**I-Introduction**

Les ouvrages de mobilisation des ressources en eau sont des ouvrages destinés à recueillir l'eau pour la satisfaction de besoins divers. Ils sont nombreux et les principaux rencontrés en équipement rural sont abordés dans le présent cours. Il s'agit notamment des petits barrages, des boulais et de réservoirs divers [3].

I.1. Définition de barrage

Un barrage est un ouvrage artificiel ou naturel (résultant De l'accumulation de matériaux à la suite de mouvements de terrain), établi en travers du lit d'un cours d'eau, retenant ou pouvant retenir de l'eau. Les barrages ont plusieurs fonctions, qui peuvent s'associer : la régulation de cours d'eau (excréteur de crue en période de crue, maintien d'un niveau minimum des eaux en période de sécheresse), l'irrigation des cultures, l'alimentation en eau des villes, la production d'énergie électrique, la retenue de rejets de mines ou de chantiers, le tourisme et les loisirs, la lutte contre les incendies [3].

I.2. Principaux éléments du barrage

- une digue ou barrage principal.
- un évacuateur de crues.
- un ou des ouvrages de prise.
- un ouvrage de vidange. [3]

I.3. Principaux usages des eaux des barrages

- Agriculture irriguée.
- Production d'énergie.
- Alimentation en eau potable et industrielle.
- Abreuvement des animaux.
- Production halieutique.
- Navigation.

- Protection contre les crues.
- Activités récréatives.
- Lagunage.
- Soutien d'étéage.
- Protection contre les remontées d'eau salée [3].

I.4.la bathymétrie :

La bathymétrie est la science qui permet de mesurer les profondeurs des océans, mais également des barrages, des lacs, des rivières, et de tout élément liquide pour déterminer la topographie du sol.

Aujourd'hui les mesures sont effectuées en exploitant la réflexion d'ondes acoustiques à l'aide des sondeurs bathymétriques. La profondeur est déduite donc de la mesure du temps du trajet d'un signal acoustique réfléchi par le fond.

L'échosondeur ou sondeur est un appareil électronique de détection subaquatique placé sous la coque des navires. Il « lit » les fonds, mesure la profondeur et détecte la présence d'obstacles ou de poissons à la verticale du bateau.

Ces informations sont généralement transmises sous la forme d'une image défilant sur un écran.

I.4.1. les travaux de bathymétrie

- Dragage et suivi du dragage des barrages et des retenues d'eau.
- Calcul et suivi des évolutions des capacités des barrages.
- Morphologie des lits de rivières pour les études de reprofilage.

I.5. Remplissages et lâchées d'eau du barrage**I.5.1. définition des lâchées d'un barrage**

Evacuation contrôlée d'une fraction d'eau du barrage (soutien d'étéage, sécurité, production d'énergie...), le gestionnaire de barrage réalise les lâchers pour le soutien d'étéages qui sont décidés par la police de barrage. [5]

I .5 .2.Les étapes de remplissage d'un barrage

Etape 1 : 1h a 30 avant la pleine mer, les vannes se ferment. Le premier flot bute sur le barrage et les sédiments se déposent en aval du barrage, c'est une étape de décantation. L'eau ainsi décantée de ses sédiments limitera l'envasement de cours d'eau à l'amont.

Etape 2 : entre 1 heure et 10 minutes avant la pleine mer au plus tard, les vannes s'ouvrent et la marée remplit le Couesnon par sur-verse (par le dessus des vannes) avec l'eau la moins chargée en sédiments.la marée entre dans le cours d'eau.

Etape 3 : au début de la marée descendante, les vannes se ferment. Un volume d'eau de 70000 a 1700000 m³, selon les saisons et les marées, a été stocké. Plus le volume stocké est important, plus le lâchée d'eau sera long.

Etape 4 : 6 heures après la pleine mer, les vannes sont progressivement ouvertes (par le dessous des vannes), créant un lâchée d'eau progressif, sans vague ni déferlement, pendant une durée de 30 minutes a 3 heures .plus le lâchée d'eau est long, plus il est efficace dans le transport des sédiments.[5]

II. L'érosion**II.1. Définition de l'érosion**

Le terme érosion vient du latin « ERODERE » qui Signifie « Ronger », donc l'érosion est le détachement des particules du sol de leur emplacement initial pour les transportés en aval. Malgré que l'érosion a un effet néfaste sur les zones amonts, sauf qu'elle enrichit les plaines qui constituent les principaux terrains agricoles. [6].

II.2. Les type d'érosion :

- Erosion hydrique.
- Erosion éolienne.

II.2.1. Erosion hydrique :

L'érosion hydrique est composée d'un ensemble de processus complexes et interdépendants qui provoquent le détachement et le transport des particules du sol. Elle se définit comme la perte de sol due à l'eau qui arrache et transporte la terre vers un lieu de dépôt. [6].

II.2.2. Origine et mécanisme

La pluie et le ruissellement superficiel sont à l'origine de l'arrachage, du transport et du dépôt de la terre enlevée. L'arrachage est due à la fois aux gouttes d'eau (par rejaillissement) et aux eaux de ruissellement, dont le transport est assuré par elles [6].

II.3. Les forme de l'érosion hydriques**II.3.1. L'érosion en nappe ou "sket érosion"**

L'érosion en nappe est liée à 2 mécanismes :

- Le détachement des particules de terre causé par le choc de gouttes des pluies (effet splash).
- Le ruissellement lorsque l'intensité devient supérieure à la vitesse d'infiltration.

Cette forme d'érosion est caractéristique des sommets de bassin versant.

Le martèlement des pluies (splash) détache les particules et les maintient en suspension par turbulence. L'érosion en nappe a un effet érosif maximal au sommet des versants ou à l'aval d'un obstacle. Au bas des versants, au contraire, il s'agit d'accumulation. [6].

II.3.2.L'érosion linéaire (micro-Channel ou Rill érosion)

Un micro-filet ou une rigole est une dépression suffisamment petite pour pouvoir être supprimée par les façons culturales. Sur un bassin versant ou une parcelle, l'érosion en rigole succède à l'érosion en nappe par concentration du ruissellement dans les creux. A ce stade, les rigoles ne convergent pas mais forment des ruisselets parallèles. [6].

II.3.3. L'érosion par ravinement (Gully érosion)

La ravine est une rigole approfondie où se concentrent les filets d'eau. La rigole se transforme en ravine lorsque sa profondeur interdit son nivellement par des simples instruments aratoires. Le ravinement constitue un stade avancé de l'érosion. Les ravines peuvent atteindre des dimensions considérables.

L'approfondissement des ravines remonte du bas vers le haut de la pente (érosion régressive). Cette forme d'érosion peut transformer le paysage en "badlands" et explique également la sape d'ouvrages (ponts, radiers, digues filtrantes...). Lorsque l'aménagement des ravines n'est pas prolongé suffisamment en aval. [6].

II .4.Facteurs de l'érosion hydrique

II .4.1. Le climat

Le climat est un facteur important qui conditionne d'une façon directe le mécanisme de l'érosion. A l'échelle de la Wallonie, environ 5 à 10 % des précipitations annuelles contribuent au ruissellement de surface. Ce dernier phénomène est la cause des pertes en terre proprement dites.

Le ruissellement sur les terres peut prendre une forme «diffuse » quasi invisible à l'œil nu (la terre a l'air de « suinter ») ou se concentrer en rigoles naturelles ou formées par des traces de roues ou autres. Lorsque la topographie s'y prête, se formeront ensuite des ruisseaux, temporaires mais parfois rapides et violents, se dirigeant vers un cours d'eau, via des axes de vallons (secs en temps normal).

L'agressivité des **précipitations** vis-à-vis des sols dépend surtout de leur **intensité** (généralement exprimée en litres par seconde et par mètre carré ou en millimètres par heure). L'intensité de la pluie qui tombe compte beaucoup plus que la quantité totale tombée. Plus les pluies sont intenses, plus elles sont «érosives» et favorisent l'arrachement des particules de sol (et un petit peu leur déplacement). Ceci est dû au fait que, pour les précipitations de forte intensité, le diamètre des gouttes de pluie est en moyenne plus grand ; elles ont alors une **vitesse de chute** plus élevée et développent une plus forte énergie (cinétique) de frappe.

II .4.2. Le sol

Indépendamment des aspects de modification de l'état de la surface des terres liés à la pyrotechnie et aux modalités de travail du sol, la sensibilité intrinsèque d'un sol à l'action érosive (érodibilité) dépend :

- de sa granulométrie : les sols les plus fragiles pour ce critère sont les sols de type limoneux ;
- de sa structure : des agrégats stables seront plus résistants à l'arrachement et à l'entraînement par l'eau ;
- quelque peu, de son taux de matières organiques: un gain d'1 % correspond à une diminution de l'érodibilité d'environ 10 % ;
- globalement, de la perméabilité des couches de surface : lorsque la perméabilité des couches de surface est faible, elle favorise une fréquence de saturation accrue du sol superficiel et donc un ruissellement de surface plus conséquent.

L'humidité du sol est également un paramètre à ne pas négliger pour ses conséquences sur le risque d'érosion : plus le sol est humide avant un événement pluvieux, plus le ruissellement sera favorisé. Cette humidité dépend des conditions climatiques, du sol et du développement de la végétation. [6].

II .4.3.La topographie

La pente joue un rôle important sur la vitesse du ruissellement, et d'autant plus que la longueur de parcours est importante (accumulation progressive des flux).

La combinaison « longueur-pente » d'une parcelle est donc un paramètre incontournable du problème érosif : une parcelle longue mais de pente moyenne peut être globalement aussi sensible à l'érosion qu'une parcelle plus courte sur pente forte.

A titre d'exemple, la quantité annuelle de sol érodé (moyenne sur plusieurs années climatiques représentatives) à partir d'une parcelle agricole cultivée uniformément ayant une longueur suivant la pente de 100 mètres sera 6 fois plus élevée si la pente est de 10 % que si la pente est de 3 %. [6].

II.4.4.Le couvert végétal

Un principe simple, plus un sol est couvert, plus ce couvert est dense et permanent et plus ce sol sera protégé du pouvoir érosif des gouttes de pluie et des flux de ruissellement.

L'augmentation de la capacité d'infiltration due au complexe « sol-végétation » de sols bien drainés de même qu'une densité de racines élevée contribuent à limiter ces effets. En résultante, la combinaison «sol peu couvert-pente forte » est particulièrement défavorable en matière d'érosion hydrique.

Un couvert végétal complet assure une excellente conservation de l'eau et du sol. [6].

II .4.5.Les facteurs liés aux activités agricoles

II .4.5.1- Les cultures

Si on garde à l'esprit qu'il est important de maintenir le sol couvert le mieux et le plus longtemps possible, il devient aisé en principe de classer les types de cultures et les rotations culturales en catégories favorables ou défavorables. On pourra apprécier aussi l'intérêt de mesures agissant dans le sens d'une couverture maximale des sols [6].

II .4.5.2- Le travail du sol

Plusieurs facteurs peuvent entrer en considération dans le cadre de l'évaluation de l'impact du travail du sol sur l'érosion hydrique des sols :

- un travail du sol qui affine trop le sol en surface (préparation du semis, etc.) est à proscrire car il favorise la mise en boue lors de précipitations subséquentes. Le sol de surface « Pulvérisé » a perdu sa cohésion, Il se sature rapidement : flux boueux, croûtes de battance, imperméabilisation de surface en sont les conséquences ;

- les sols labourés de manière appropriée (sol ressuyé, époque et modalités adéquates) voient en général leur capacité d'infiltration améliorée. Cependant le labour peut les rendre plus sensibles à l'érosion, surtout sur les terrains en pente;

- certains sols ont une meilleure capacité d'infiltration pour un travail du sol limité, d'autres pas : dans le second cas, restant plus compacts et plus cohésifs en surface, les sols pourront être moins fragiles (érodibilité moindre) mais ils risquent cependant d'être plus fréquemment agressés suite à l'accroissement du ruissellement (érosivité globalement plus élevée) ;

- l'orientation des sillons : en sols bien infiltrant, pour des pluies pas trop excessives et des pentes ni trop fortes ni trop irrégulières, les sillons orientés perpendiculairement à la pente peuvent en principe constituer des microréservoirs d'infiltration « sillons d'infiltration ». D'une manière générale, s'ils sont installés légèrement en oblique par rapport à la courbe de niveau, ils peuvent constituer des micro-chenaux « sillons chenaux », les eaux étant à conduire alors vers un chenal ou fossé de récolte approprié. Dans les deux cas, existe cependant le risque d'accentuation du problème érosif lors de précipitations importantes (orages) du fait du débordement des sillons de capacité insuffisante ou profitant de malfaçons locales. Ces techniques demandent donc des conditions de milieu et de mise en œuvre rigoureuses, surtout dans le cas du sillon d'infiltration, les rendant difficiles à appliquer la plupart du temps. [6].

II .4.5.3- Les machines agricoles

Les traces de roues inhérentes au passage des machines agricoles peuvent favoriser la concentration des rigoles d'eau de ruissellement et accentuer ainsi le problème de l'érosion et des boues. [6].

II.5. Quantification de l'érosion hydrique

La quantification de l'érosion hydrique peut se faire soit :

- Par la mesure directe du transport solide au niveau des stations de mesure.
- Par des formules expérimentales.

On citera dans ce qui suit quelques formules les plus utilisées.

II .5.1. Formule de Henin 1950

Cette formule symbolise la relation existante entre l'érosion pluviotile et les facteurs susceptibles de la favoriser ou de la limiter. La quantification de l'érosion spécifique "Es" est donnée par la formule (1.1)

$$Es = \frac{Ip \cdot I \cdot S}{K \cdot Ve} \quad (1.1)$$

Avec

Ip : Intensité des précipitations (mm/h).

I : Pente du bassin versant; Les facteurs "IP" et "I" favorisent l'érosion

S : Susceptibilité des sols.

K : Perméabilité (m/s).

Ve : Végétation. [6].

IV .5.2. Formule de Wischmeier et Smith (Universal Soil Loss Equation -1958)

Il s'agit d'un modèle d'érosion, permettant d'évaluer les zones à haut risque et de quantifier les pertes de sol moyennes annuelles. Le modèle permet l'estimation des quantités de sédiments qui seront transportées par cours d'eau.

La formule s'écrit. [7].

$$A = R K L S C P \quad (1.2)$$

Avec

A : pertes annuelles de sol (t/ha/an)

R : facteur d'agressivité climatique.

K : facteur .

LS : facteur pente.

C : facteur agronomique.

P : facteur des aménagements antiérosifs. [6].

II .5.3. Formule de Fournier (1960)

$$Ass = As = \frac{1}{36} \left(\frac{P_m}{P_{am}} \right)^2 2.65 \left(\frac{h}{s} \right)^2 0.46 \quad (1.3)$$

Avec

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

P_m : précipitations moyennes mensuelles du mois le plus pluvieux (mm)

P_{am} : Précipitations moyennes annuelles (mm)

h : dénivelée moyenne (m)

S : superficie du bassin versant (km²).

II .5.4. Formule de Tixeront (1960)

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

Ass : $354E^{0.15}$ (1,4) : Pour les bassins Tunisiens.

Ass : $92E^{0.21}$ (1,5) : Pour la région Est Algérien.

Ass : $200 E$ (1,6) : Pour la région centre Algérien.

Avec :

Ass : apport solide spécifique en t/km²/an

E : Ecoulement en mm. [6].

II .5.5. Formule de Gravidovic (1960)

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

$$Es = 3,14 . T . P_o \bar{Z} \quad (1.7)$$

Où :

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

$$T : \text{coefficient de température} : T = \sqrt{\frac{t_0}{10}} + 0.1 \quad (1.8)$$

Avec :

t_0 : température moyenne annuelle en °C.

P_0 : pluie annuelle en (mm).

$$Z : \text{coefficient d'érosion} : Z = y \cdot [x.a.] (\sigma + \sqrt{I \text{ moy}}). \quad (1.9)$$

Où :

Y : valeur du coefficient de résistance du sol à l'érosion.

[x.a.] : Coefficient de régularisation du bassin versant, se rapportant à la protection des sols, des influences des phénomènes atmosphériques des forces érosives liées aux conditions naturelles. Il est aussi tabulé.

σ : équivalent numérique des processus visibles et nettement prononcés dans le Bassin versant.

I moy : indice de pente moyenne du bassin versant.

II .5.6. Formule de L'A.N.R.H (1970)

$$T_{ss} = 26,62 I_e + 5,071 IP + 9,77 Ct - 593,59 \quad (1.10)$$

Où :

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

I_e: indice lithologique (%).

IP : indice des précipitations (%).

Ct : coefficient de torrencialité.

Cette formule est applicable dans les conditions suivantes : **I_e > 10% et IP > 300**

II .5.7. Formule de la SOGREAH 2007 :

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

$$Ass = E^{0.15} \quad (1.11)$$

Avec :

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

α : Coefficient dépendant de la perméabilité du sol, donné au Tableau ci dessous

E : Ecoulement annuel (mm) [6].

Tableau 1.1 : Valeurs de α pour différentes perméabilités SOGREAH 2007

Perméabilité	Forte	Moyenne	Moyenne à faible	Perméabilité faible	imperméable
α	8.5	75	350	1400	3200

III .Erosion des bassins versants

L'érosion hydrique correspond à la séparation entre la particule et son support, sans inclure le transport et la sédimentation, même s'il se produit toujours un micro-transport .Ce phénomène est très répandu en Afrique du nord.

Tous ce matériel érodé est transporté plus ou moins rapidement jusqu'aux cours d'eau. Il comprend des particules fines en suspension, des sédiments grossiers charriés, et de la matière dissoute. Ce sont les crues d'automne qui causent le plus d'érosion. [8].

III.1. Transport Solide

Le processus d'érosion, entraînement, transport, dépôt de sédiments est très complexe ; le détachement des particules dans le processus d'érosion se produit suite à l'énergie cinétique de l'impact de la goutte de pluie, ou les forces générées par l'écoulement de l'eau, dès que la particule se détache elle est entraînée et transportée, ce transport dépend des dimensions et du poids de la particule, aussi des forces exercées par l'écoulement sur la particule .[9].

III.2.Modes de Transport

Le transport solide total de sédiments est l'ensemble du transport des particules qui passent dans une section de la cour d'eau, les sédiments sont transportées par plusieurs modes. [10]

III.2.1.Charriage

Si les particules restent en contact étroit avec le fond, elles se déplacent en glissant, roulant ou sautant. Ce mode concerne les particules relativement grandes.

III.2.2.En Suspension

Les particules restent occasionnellement en contact avec le fond, elles se déplacent par bonds et restent souvent entourées d'eau. Cela concerne les particules relativement fines.

III.2.3.Suspension intrinsèque

Si les particules ne sont jamais en contact avec le fond, elles se déplacent en étant emportées par l'écoulement. Ceci concerne les particules très fines. [6]

Conclusion

Les moyens de lutte utilisés surtout en Algérie sont :

- Le reboisement, la restauration des sols, l'implantation des banquettes, la création des petit barrages (retenues collinaires), la plantation des cultures suivant les lignes de niveau, la plantation des végétations à longue tiges dans les oueds.

Il a signalé qu'un programme spécial de lutte contre l'érosion a été lancé par les services des forêts. Une superficie de 1,5 millions d'hectares sera traitée en 2010, à un rythme de 6700 ha par an. [14].

Introduction

Le barrage de Sidi Yacoub se trouve dans la wilaya de Chlef, à 28 km environ au sud de la ville. Il est implanté dans les gorges de l'oued Ardjem qui est l'un des principaux affluents de la rive gauche de l'oued Chlef. Sa construction a duré 36 mois. Le cout du barrage initial était de 50 milliards de centimes et après réévaluation, le cout a augmenté de 2 milliards de centimes.

Le barrage permet de constituer une retenue de 280 millions de m³. L'eau accumulée servira à l'irrigation et l'alimentation en eau potable. Par ailleurs, une usine au pied du barrage pour l'exploitation de l'énergie hydrique de l'Oued Ardjem est en cours d'étude.

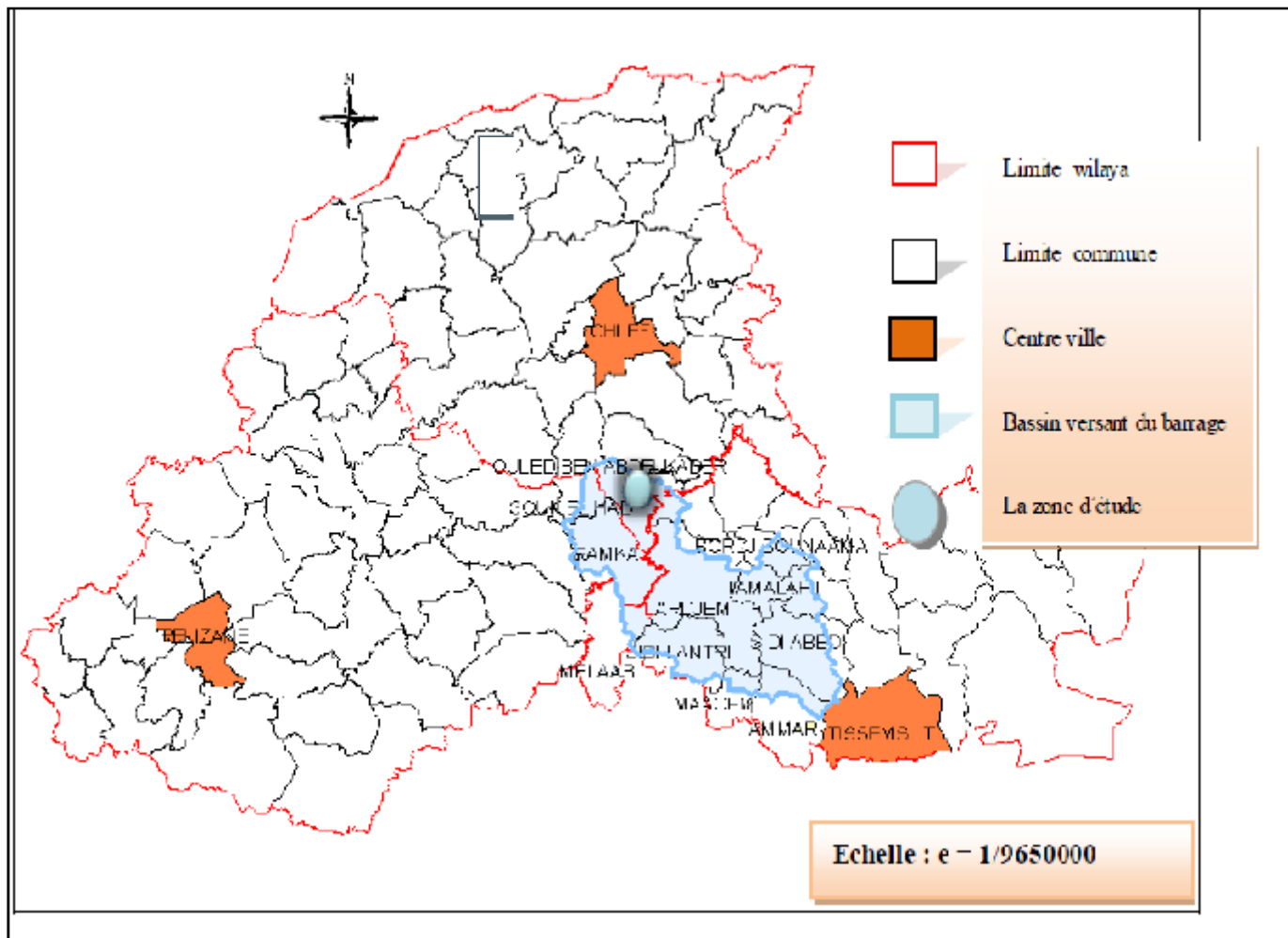
Le barrage de Sidi Yacoub est une digue en terre composé d'un noyau étanche, des filtres et des drains de protection ainsi que des recharges amont et aval. Le noyau étanche est une argile. Pour des raisons de plus grande sécurité sismique, il est implanté verticalement dans la partie centrale de la digue. La protection de noyau en argile consiste en filtres amont et aval composé de matériaux répondants à des critères granulométriques bien précis. Les recharges sont constituées semi-perméables de granulométrie étalée.[15]

I.1.Situation géographique :

Notre bassin versant est situé dans le massif de l'Ouarsenis qui appartient à l'Atlas tellien, il constitue un important chaînon montagneux compris entre la plaine de Chélif au nord, et la parallèle de Tiaret au sud .il présente des ensembles naturels très variés.

L'Oued El Ardjem dont l'exutoire se trouve à Sidi-Yacoub ; au sud de Chlef est orienté sud-nord-ouest.

Les limites de notre bassin s'étendent d'ouest en Est entre les parallèles 1°15'et du nord au sud entre les altitudes 35°58' et 35°36'.



Source : ABH Chlef

Figure(II.1): situation géographique du bassin versant du barrage de Sidi Yacoub.

I.2. étude géologique de la région :

Le massif de l’Ouarsenis est constitué par une bande de terrain en majeure partie crétacé, l’importance des reliefs y est fort variable, le massif draine des vallées profondes et étroites, la région est très accidentée.

I.3. études lithologique et stratigraphique :

Sachant qu’une grande partie de sédiments constituent l’Ouarsenis est charriée ; il est difficile d’établir des séries stratigraphiques continues.

Tableau (II.1) : lithologie du bassin versant de l'Ardjem [16]

Lithologie	Superficie (km ²)	Superficie (%)
Trias	21,5	2,48
Crétacé moyen Albien et clansaysien	362,2	41,88
Crétacé supérieur	11,6	1,34
Eiocène supérieur	183,3	21,19
Oligocène à faciès numidien	29,8	3,44
Oligocène à faciès Boughari ou Oranais	45,4	5,25
Miocène inférieur	69,4	8,02
Éocènes inférieur	30,6	3,53
Crétacé inférieur	11,4	1,31

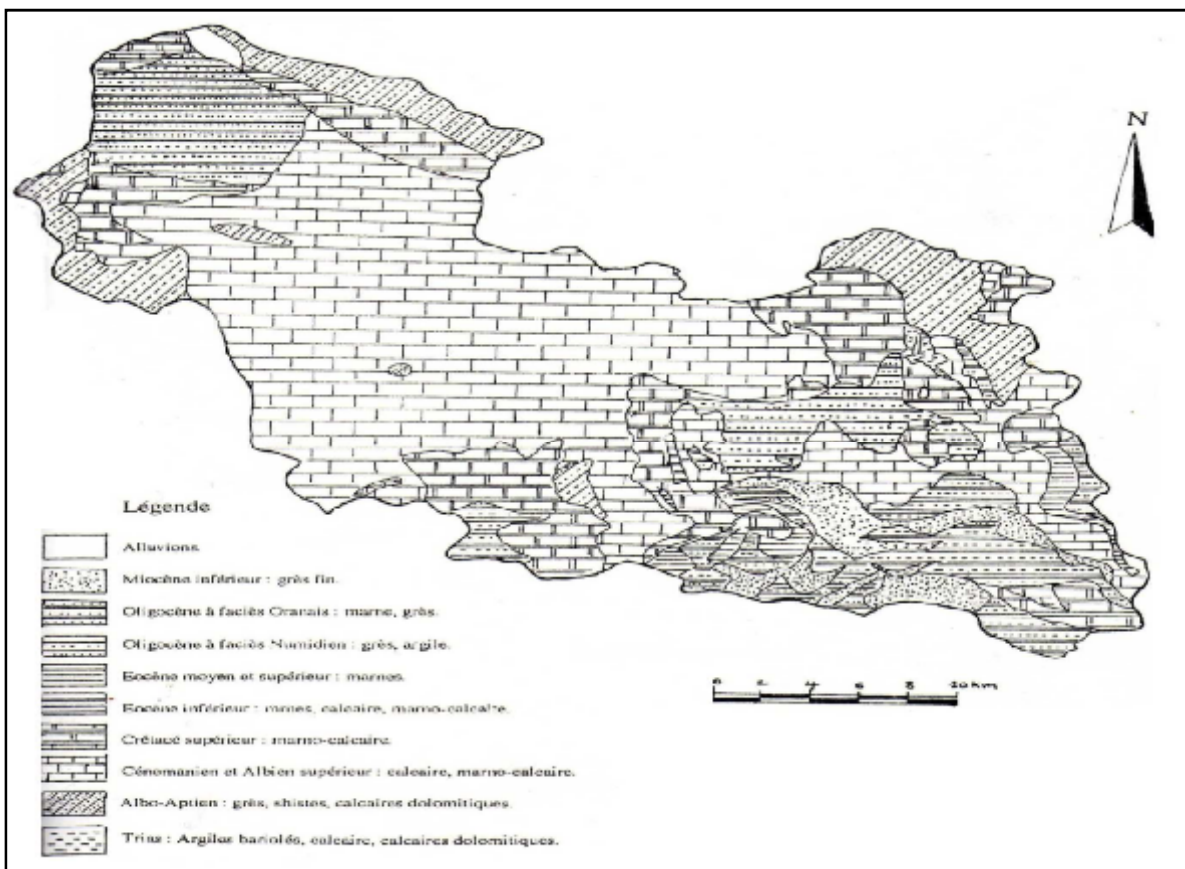


Figure (II.2) : la carte géologique du bassin versant du barrage de Sidi Yacoub. [17].

I.4. Le couvert végétal :

La végétation est un facteur déterminant de la rapidité du ruissellement superficiel, du taux d'évaporation et de la capacité de rétention du bassin. Le couvert végétal joue un rôle régulateur dans le régime d'écoulement.

Dans notre bassin, les forêts sont disposées dans la partie montagneuse et occupent la moitié d la nappe la surface, mais dans la partie basse, les forets occupent 4/5 de la surface.

I.5. Caractéristiques physiques du bassin versant du barrage Sidi -Yacoub:

La surface du bassin versant est de 918 km² sa longueur de 62,7 km. Son altitude varie entre 190 et 1200 m. l'altitude moyenne est de 723,3 m. le relief est vigoureux. Son indice de pente est de 48%.

Le pourcentage de boisement, d'environ 20%, est faible pour une région au relief abrupt. La foret se trouve d'ailleurs localisé dans les terrains les plus résistants à l'érosion. Les terres cultivées représentent 42,5%. D'après les services des forets de Chlef que tout le bassin versant d'oued l'Ardjem est très dégradé. [17].

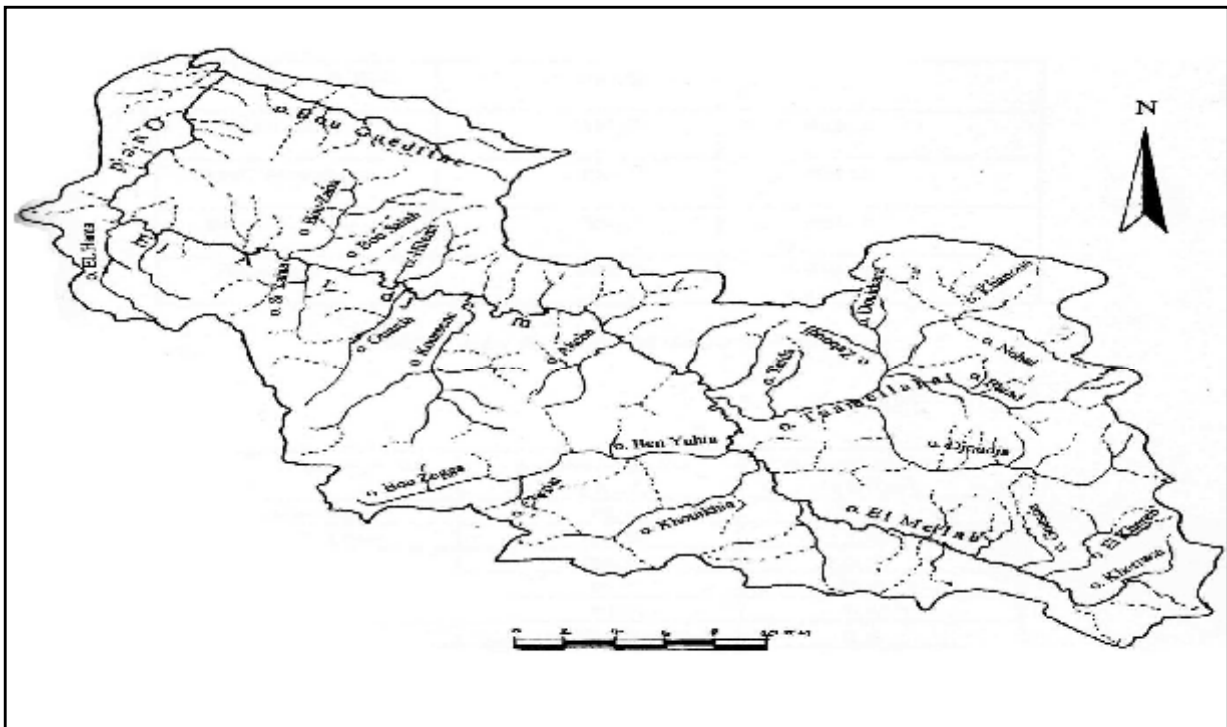


Figure (II.3.) : bassin versant d'oued El Ardjem et son réseau hydrographique [17]

I.5.2. La forme du bassin :**I.5.2.1. Indice de compacité :**

Cet indice se détermine à partir d'une carte topographique en mesurant le périmètre du bassin versant et sa surface. Il est proche de 1 pour un bassin versant de forme quasiment circulaire et supérieur à 1 lorsque le bassin est de forme allongée.

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (2.1)$$

Avec :

K_c : indice de compacité de Gravelius

A : surface du bassin versant (km²)

P : périmètre du bassin versant (km)

$$K_c = 1,44$$

$K_c = 1,44 > 1 \rightarrow$ notre bassin est de forme très peu allongée. [17]

I.5.2.2. Rectangle équivalent

C'est une transformation géométrique en un rectangle de dimension L_R et L_a ayant la même surface que le bassin versant réel. Si L_R et L_a représentent respectivement la longueur et la largeur du rectangle équivalent, alors ;

Le périmètre du rectangle équivalent vaut ; $p = 2(L_R + L_a)$

La surface $A = L_R \cdot L_a$

Le coefficient de compacité : $Kc = 0,28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}}$

En combinant ces trois relations, on obtient :

$$L_r = \sqrt{A} \frac{Kc}{1,128} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,128}{Kc} \right)^2} \right] \tag{2.2}$$

$$L_a = \frac{p}{2} - L_r$$

$$L_r = 62,72 \text{ Km} , L_a = 15,28 \text{ Km}$$

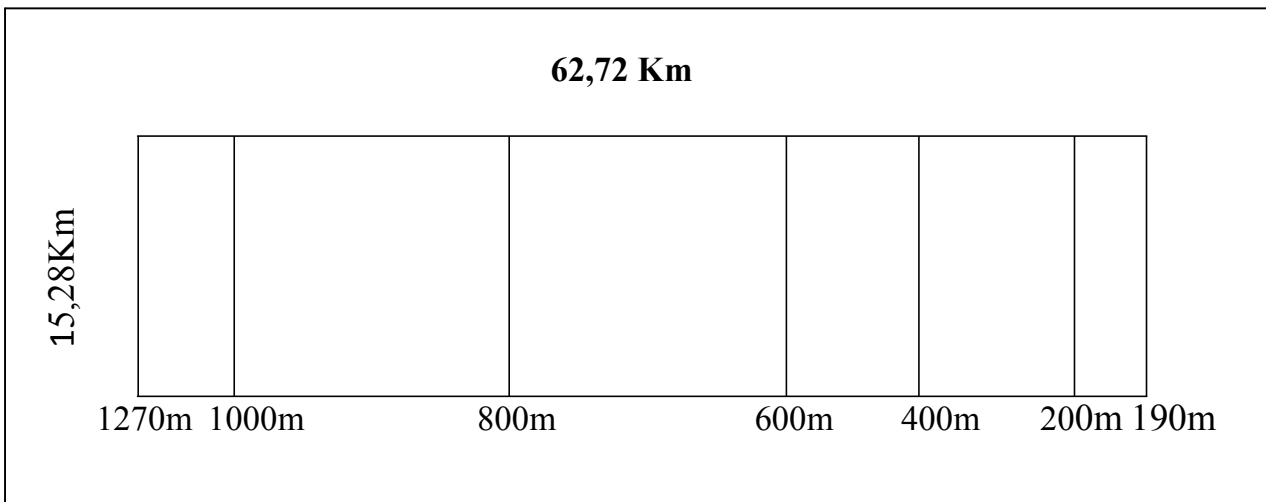


Figure (II.4): le rectangle équivalent [17]

I.5.2.3.1 Paramètres de Relief :

Le relief est un facteur essentiel, il détermine en grande partie l'aptitude au ruissellement des terrains, l'infiltration et l'évaporation, c'est un élément capital dans le comportement hydrologique d'un bassin.

a) Répartition des surfaces en fonction des altitudes :

Tableau (II.3): répartition altimétrique du bassin versant d'Oued L'Ardjem [16]

Altitude (m)	Superficie entre les courbes de niveau (km ²)	Superficie partielle (%)	Superficie cumulée (%)	Dénivelé (dj)
1270- 1200	1,2	0,13	0,13	70
1200-1000	69,6	7,58	7,71	200
1000-800	278,4	30,33	38,04	200
800-600	323,6	35,25	73,3	200
600-400	176	19,17	92,46	200
400-200	68,4	7,45	99,91	200
200-190	0,8	0,09	100	10

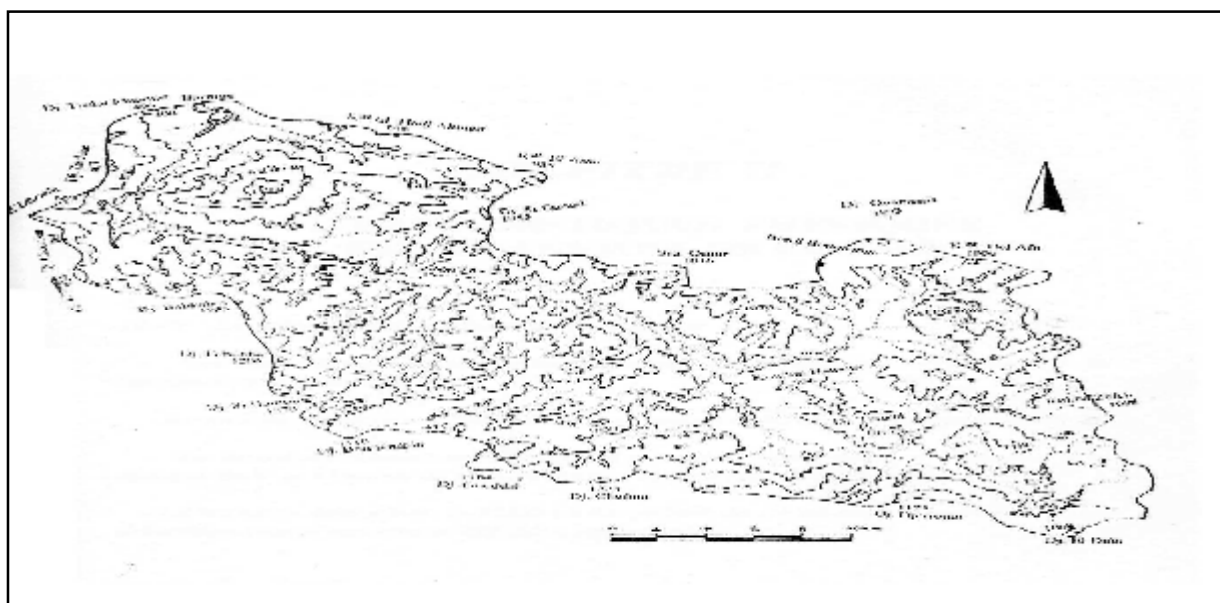


Figure (II.5) : la carte topographique du bassin versant d'Oued l'Ardjem. [16]

b) courbe hypsométrique ; (méthode altimétrique)

Cette courbe représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude. Elle porte en abscisse la surface (ou le pourcentage de surface) du bassin qui se trouve au-dessus (ou au – dessous) de l'altitude représentée en ordonnée .elle exprime ainsi la superficie du bassin ou le pourcentage de superficie au-delà d'une certaine altitude .

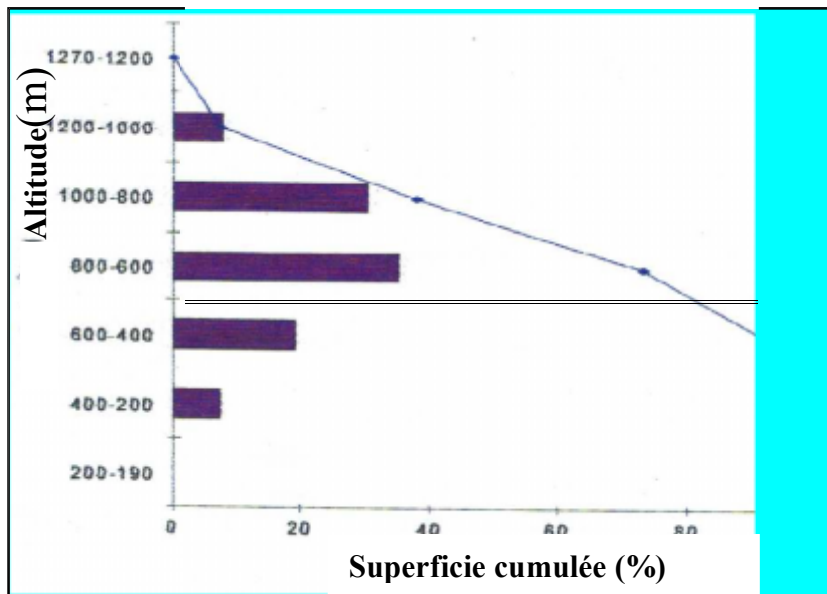


Figure (II.6): courbe hypsométrique et répartition altimétrique du bassin versant d'Ouad l'Aarjem. [17]

I.5.2.4.Altitude moyenne

Cette altitude se déduit directement de la courbe hypsométrique ou de la lecture d'une carte topographique. On peut la définir comme suit :

$$H_{moy} = \sum \frac{V_i}{S} \quad (2. 6)$$

Sachant que : $V_i = S_i \frac{h_{i1} + h_{i2}}{2}$

H_{moy} : altitude moyenne du bassin [m].

S_i : aire comprise entre deux courbes de niveau [km²].

V_i : altitude moyenne entre deux courbes de niveau [m].

S : superficie totale du bassin versant [km^2]

Tableau (II.5) : la répartition des moyennes altimétriques

Classe des altitudes	H_i (m)	S_i (km^2)	V_i ($\text{km}^2 \cdot \text{m}$)
1270 – 1200	1235	1,2	1482
1200 – 1000	1100	69,6	76560
1000 – 800	900	278,4	250560
800 – 600	700	323,6	226520
600 – 400	500	176	88000
400 – 200	300	68,4	20520
200 – 190	195	0,8	156

D'après la courbe hypsométrique on trouve :

$$H_{\text{moy}} = 720 \text{ m} \approx H_{\text{moyarith}}$$

I.5. 2.5. indice de pente (roche) I_p

L'indice de pente M. Roche (I_p), sert à déterminer la pente moyenne avec les données réelles du bassin versant.

$$I_p = \frac{1}{L_r} \sum_{i=1}^n (a_i d_i)^{1/2} \quad (2.3)$$

L_r : longueur du rectangle équivalent [km].

a_i : fraction en pourcentage de la surface, a_i comprise entre deux courbes de niveaux
 a distance de d_i

$$I_p = 30,52 / 62,72$$

$I_p = 0,48$

I.5.2.6.Indice de pente globale I_g :

L'indice de pente global I_g est donné par l'application de la formule suivant

$$I_g = \frac{D}{L_r} \quad (2.4)$$

D : la dénivelée qui est égale à $(H_{5\%} - H_{95\%})$ sont des altitudes entre lesquelles s'inscrivent 90%

L_r : la longueur du rectangle équivalant [km].

$$H_{5\%} = 1040$$

$$H_{95\%} = 370$$

$$I_g = (1040 - 370) / 62,72 = 10,682 \text{ m/ Km}$$

$I_g = 10,682 \text{ m/ Km}$

I.5.2.7.la dénivelée spécifique D_s :

La dénivelée spécifique D_s sert à comparer des indices de pentes du bassin de superficie différentes.

$D_s = I_g \sqrt{A}$	(2. 5)
----------------------	---------------

$D_s = 323,648 \text{ m}$

On place la dénivelée spécifique de notre bassin dans R_6 :

$50 < D_S < 500$, c'est -à-dire un relief fort selon la classification de l'o r s t o m

I.5.2.8. La pente moyenne I_M

La pente moyenne du cours d'eau détermine la vitesse avec laquelle l'eau se rend à l'exutoire du bassin donc le temps de concentration. Cette variable influence donc le débit maximal observé. Le calcul des pentes moyennes et partielles de cours d'eau s'effectue à partir du profil longitudinal du cours d'eau principal et de ses affluents.[16]

$$I_m = \frac{H(0.5l_1 + l_3 + 0.5l_4)}{s} \quad (2.7)$$

ΔH : dénivelée entre les courbes de niveau (m)

L_i : longueur des courbes de niveau (m)

S : surface du bassin versant (km^2)

$I_M = 21,62 \text{ (m / km)}$

I.5.2.9. La densité de drainage

La densité de drainage, introduite par Horton, est la longueur totale du réseau hydrographique par unité de surface du bassin versant :

Avec :

$$D_d = \frac{l}{A} \quad (2.8)$$

Avec :

D_d : densité de drainage totale [km / km^2]

L = la longueur totale de cours d'eau, [km]

A : superficie du bassin versant [km^2]

D_{dp} : densité de drainage total permanente (L : étant la longueur des talwegs qui coulent en permanence)

D_{dt} : densité de drainage temporaire (L : étant la longueur des talwegs coulent en temporairement)

Tableau (II-7): la densité de drainage $D_d = D_{dp} + D_{dt}$

Densité de drainage totale D_d		Densité de drainage permanente D_{dp}		Densité de drainage temporaire D_{dt}	
L (km)	D_d (km / km ²)	L (km)	D_{dp} (km/ km ²)	L (km)	D_{dt} (km / km ²)
4025,5	4,38	178,5	0,19	3847	4 ,19

I.5.2.10.Profil en long :

On a résumé dans le tableau ci-dessous les principales données du profil en long d'Oued l'Ardjem et ses principaux affluents

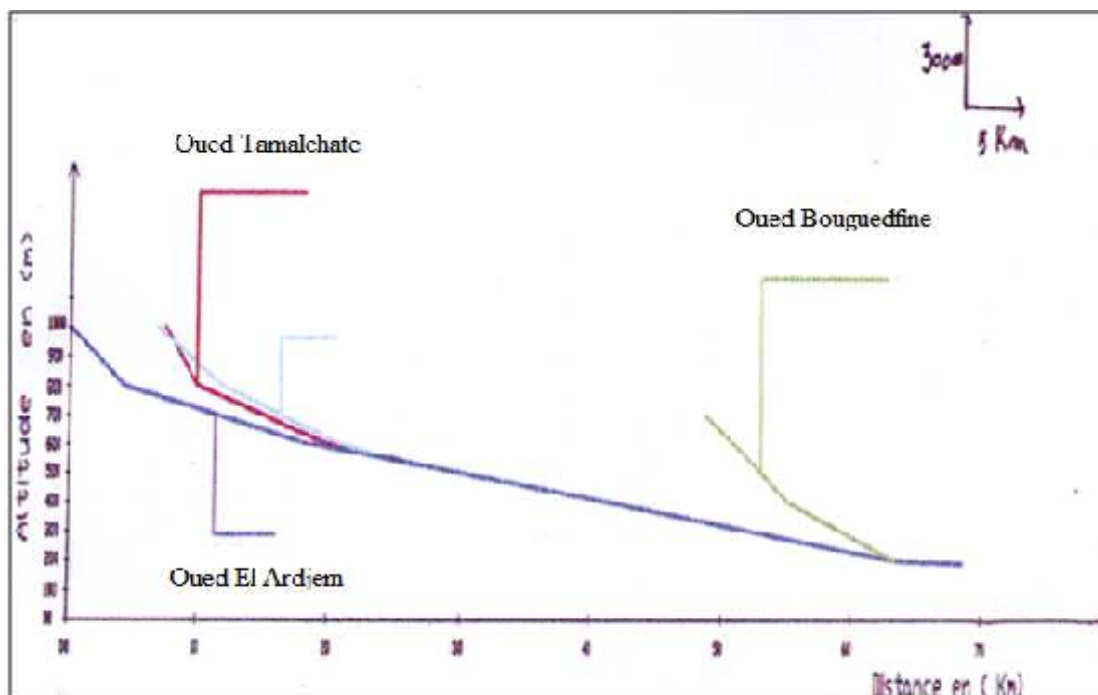


Figure (II.7) : profil en long d'Oued l'Ardjem et ses Affluents. [17]

Tableau (II-8) : paramètres de calcul du profil en long [17]

		Altitude (m)	Distance (km)	Dénivelée	Pente (%)
Oued Principal	Oued L'ardjem	1000 – 800	4,2	200	47,62
		800 - 600	14,6	200	13,69
		600 - 400	23	200	8,69
		400 - 200	22	200	9,09
		200-190	5,2	10	1,92
	Oued Bouguedfine	700 - 600	2,2	100	45,45
		600 - 400	4,2	200	47,62
		400 - 200	8,2	200	24,39
	Oued Tamalahate	1000 – 800	2,4	200	83,33
		800 - 600	10	200	20
		600 - 530	6,6	70	10,61
	Oued Bouzigza	1000 – 800	5	200	40
		800 - 600	9	200	22,22
		600 - 550	3,8	50	13,16

I.6. Conditions climatiques et hydrologiques :

I.6.1. Climat :

Le climat de notre zone d'étude est de type méditerranéen avec une longue période estivale sèche et chaude et une saison hivernale pluvieuse et froide, les valeurs de précipitation est très variable d'une année à l'autre au point de vue quantité et répartition. Tandis que les régions thermiques sont relativement homogènes. [17]

Tableaux(II.9) : vent et évapotranspiration de la région de Sidi Yacoub[18]

Année Mois	2000		2001		2002		2003		2004		2005		2006	
	vent	ETP	Vent	ETP	vent	ETP	vent	ETP	vent	ETP	vent	ETP	Vent	ETP
Jan	2,2	1,23	3,2	1,32	2,3	1,33	2,3	1,04	2,3	1,16	2,3	1,29	2,4	1,29
Fev	2,2	2,09	2,8	1,8	2,6	2,13	2	1,49	2,4	1,73	2,3	2,09	2,7	1,47
Mar	2,6	2,13	3,3	3,44	3	2,95	2	2,66	2,5	2,36	2,1	3,14	2,8	2,23
Avr	4	4,71	2,7	4,18	2,9	3,61	2,3	3,29	3,7	4	2,7	4,76	2,7	3,38
Mai	3,4	5,87	3,1	5,03	3,4	5,68	2,9	5,17	3,3	4,17	2,9	7,1	3,3	4,92
Juin	3,6	8,06	3,6	8,66	3,5	7,83	2,9	7,86	2,8	6,94	3,2	6,18	3,6	6,85
Juillet	3,2	8,15	3,1	8,23	3	7,24	2,4	7,5	2,7	7,67	2,9	8,38	3,9	7,73
Aout	3,1	8,11	2,9	7,43	2,8	6,1	2,8	7,36	2,6	7,12	3	7,34	3,2	6,66
Sep	2,3	5,28	2,9	5,23	2,7	5,19	3	5,43	2,9	15,75	2,3	4,76	2,2	5,21
Oct	2,6	2,81	2,8	4,14	2,6	3,48	2,3	2,85	2,2	3,44	2,2	3,1	2,3	2,67
Nov	2,9	1,6	2,6	1,6	2,2	1,7	2,5	1,57	2,1	1,6	2,2	2,08	2,4	2
Dec	3,2	1,58	2,3	1,09	2,3	1,29	2,6	1,14	2,9	1,17	2,2	1,2	2,3	1,32

Les données des évapotranspirations et la vitesse moyenne de vent inscrites ci-dessus au tableau sont relevées à partir des évapotranspirations mensuelles et annuelles éditées par les services du bureau assistance météorologique de Chalef.

I.6.2.La température :

D'après les données du bureau d'assistance météorologique de Chlef les températures moyennes durant les années 2000 jusqu'au 2007 sont les suivantes :

Tableau (II.10) : Température moyenne de la région de Sidi Yacoub [18]

Année mois	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Janvier	10	12,6	12	10,6	12,3	8,7	9,8	11,93
Février	13,7	12,5	13,1	11,1	13,7	8,8	10,9	14,19
Mars	16,1	18,4	15,6	15,9	14,3	14,5	15,8	13,37
Avril	23,5	17,9	16,8	17,3	17	17,8	19,9	16,41
Mai	23,6	20,6	21,9	21,5	18,4	24,2	24,5	26
Juin	27,7	28	28,6	30,1	26,8	28	26,9	26
Juillet	30,7	30,3	28,6	32,2	30,5	31,7	31,9	31
Aout	31,1	31,3	28,2	31,6	31,6	29,5	29,5	26,4
Septembre	25,7	26,5	25,4	27,1	43,8	24,9	25,8	26,4
Octobre	19,1	24,7	21,8	21,8	23,5	22,5	23,8	20,3
Novembre	15,7	14,3	16,1	16,2	14,6	14,9	17,1	14,6
Décembre	13,4	10,9	14,5	12,1	12,1	11,8	12,16	11,7

I.6.3.Pluviométrie :

Le bassin versant a une pluviométrie moyenne annuelle de 462,96 mm, calculée par la méthode de Thiessen à partir des observations des stations pluviométriques, sur une période de 20 ans.

Tableau(II.11) : Évaluation Du Lame D'eau [18]

Stations	Altitude(m)	Précipitations annuelles moyennes (mm)
Ouled Ben A.E.K	160,0	368,4
AinLellou	900,0	445,2
Bordj Bounaama	1050,0	605,3
Souk El Had	550,0	482,2
Tissemsilt	858,0	358,8

D'après le bureau assistance météorologique de Chlef, les données de la pluviométrie de la région de Sidi Yacoub sont :

Tableau (II.12) : pluie de la région de Sidi Yacoub [18]

Année mois	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Janvier		2,8	65,6	7,6	39,4	21,4	9,4	54	16,2
Février		0	18,4	5	22,2	51,6	46,6	79,8	36
Mars		19,4	2,6	13	3,6	18,8	24	16,8	42
Avril		21	30	7,8	27	18,4	6	5	52,8
Mai	0	5,8	30,4	13,6	22,8	79,2	1	50,6	0,4
Juin	0	0	0	0,2	2,8	12,4	0,4	7	0,4
Juillet	0	0,4	0	0,2	0,2	0	0	0,2	96,6
Aout	5,6	0	0,2	3,6	0,6	0,2	34	0	0
Septembre	33,4	20	7,8	0,2	0	12	27,6	15,2	65,6
Octobre	23,2	63,8	2,8	11,2	21	34,2	24,2	0,4	40,1
Novembre	34,4	48,2	46,2	43	18	23,4	52,6	1,8	20,4
Décembre	84	17,3	12,4	13,6	67	65,6	44	48,2	15,4
Total	180,6	198,16	199,4	129	223,6	329,2	269,8	279	385,9

Source : ONM Chlef

I.7.station hydrométrique d'OULED BEN ABDELKADER:

La station hydrométrique de OULED BEN ABDELKADER (012311) est située à l'aval du barrage de sidi yacoub dans le bassin versant de Oued l'Ardjem, elle donne les mesures et enregistrements des hauteurs d'eau des oueds. Aussi Mesure des débits ainsi les prélèvements pour le calcul des concentrations des sédiments en suspension et de la salinité.

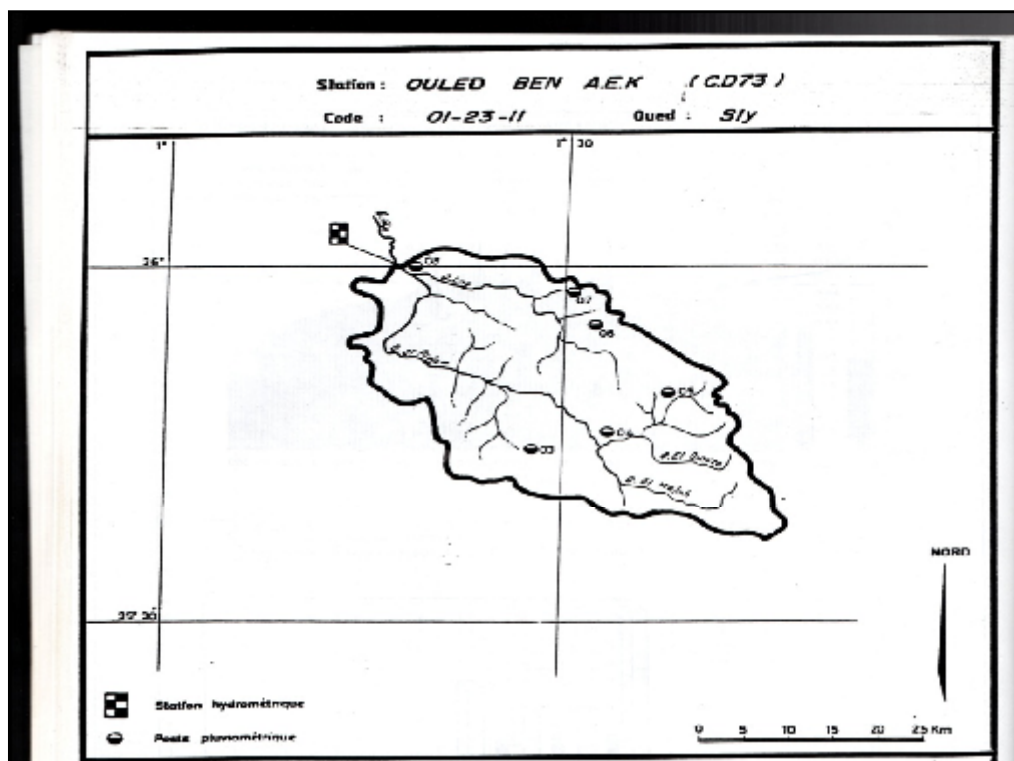


Figure (II.8): Représentation de bassin versant de la station hydrométrique ouled AEK[19]

➤ **Donnée morphométriques du bassin versant d'Ouled Ben AEK 012311**

X : 372,55 km

Y : 301,72 km

- Altitude minima (m) : 160
- Altitude maxima (m) : 1661
- Altitude moyenne (m) : 717
- Surface (km²) : 1225
- Périmètre (km) : 145
- Longueur du rectangle équivalent (km) : 45,5
- Longueur du thalweg principal (km) : 79
- Densité de drainage (km/km²) : 436
- Indice de compacité : 1,16
- Indice de pente de roche : 0,15

Tableaux (II.12).des caractéristiques du barrage Sidi Yacoub

	Paramètres	Symbole	Unité	De barrage SY
Caractéristiques de Forme	Superficie	S	Km ²	918
	Périmètre	P	Km	156
	Indice de compacité de Gravelius	K _c	-	1,44
	Longueur du rectangle équivalent	L	Km	62,72
	Largeur du rectangle équivalent	L	Km	15,28
Caractéristiques Topographiques	Altitude maximale	H _{max}	m	1270
	Altitude minimale	H _{min}	m	190
	Altitude moyenne	H _{moy}	m	720
	Altitude 5%	H _{5%}	m	104
	Altitude 95%	H _{95%}	m	370
	Indice de pente globale	I _g	%	10,68
	Indice de pente de Roche	I _p	%	0,48
	Pente moyenne du bassin versant	I _m	%	21,62
Densité de drainage	D _d	Km/Km ²	4,38	

I.9. Conclusion

L'analyse de ces différents paramètres physiques et géomorphologiques (lithologiques) permettra une meilleure compréhension des causes des variations des régimes hydrologiques du bassin versant de Sidi Yacoub et par conséquent leur contribution dans la genèse du transport solide. Leur interaction détermine la variabilité des phénomènes hydrologiques dans le temps et dans l'espace.

I. Introduction

L'érosion hydrique est lié plusieurs facteurs tels que les précipitations, la dégradation des sols, le relief, le manque de couvert végétal, par l'action de sécheresse ou par l'intervention humaines (parcours extensif, labour dans les hautes montagnes et exploitation abusive des forêts) tout ces processus entraînent un fort drainage des matériaux en amont suivi d'un envasement des retenues en aval. [4]

II. Représentation de la banque des données

Toutes les recherches qui sont faites sur l'érosion hydrique en cause de plusieurs facteurs naturelles ou par l'intervention tout ces processus entraînent un fort drainage des matériaux en amont suivi d'un envasement des retenues en aval il s'agit donc une estimation de l'érosion spécifique.

Les données nécessaires pour cette étude sont:

II.1. Matériel et Méthodes utilisés**II.1.1. Les données utilisées**

- les levées bathymétriques de barrage en exploitation de la zone d'étude ; (ANBT, 2004).
- les débits liquides instantanés obtenus à partir des barèmes d'étalonnage établissent par l'ANRH 2015.
- les concentration journalières instantanées obtenues a partir des fiches d'analyse des eaux.
- Un fichier traité sous forme d'annuaire de débit moyen journalier.
- Les hauteurs d'eau instantanées saisies par l'ANRH.
- Un fichier des données de lâchers du barrage (AEP.IRR.AFLUENT) (ANBT ,2015).

II.1.2. Logiciels utilisés

- Copy right (2007) : téléchargeable gratuitement.

II.1.3.principale méthodes Utilisées

- méthode bathymétrique ;
- méthode hydrométrique.

II.2.Calcul de l'érosion

Basé sur les données des derniers levés bathymétriques, cette valeur est prise comme référence, les résultats de quantification de l'érosion par la méthode hydrométrique sont comparés à la valeur de référence par l'estimation de l'erreur relative.

II .2.1.calcul par méthode bathymétrique

La hauteur de vase ou hauteur morte, est la partie du barrage non exploitable car elle est complètement couverte de vase, sa détermination est très importante et nécessaire pour la bonne exploitation et le fonctionnement dans les meilleures conditions possibles du barrage de Sidi Yacoub

L'érosion est ainsi calculée en se basant sur les notions suivantes :

II.2.1.1.volume envasé

C'est le volume de vase déposé au fond des retenues des barrages, exprimé en hm^3 , il est calculé à partir des derniers levés bathymétriques en cours, il est égal à :

- La différence des volumes entre la capacité initiale et la capacité finale du dernier levé bathymétrique pour les barrages non dévasés ;
- La différence des volumes entre la capacité initiale et la capacité finale du dernier levé bathymétrique plus le volume dévasé pour les barrages déjà dévasés.

II .2.1.2.nombre d'années

Le nombre d'années pris en considération pour ramener le volume envasé du total à l'annuel est la différence en année entre celle du dernier levé bathymétrique effectué et l'année de mise en eau du barrage.

II.2.1.3.Érosion spécifique :

- L'érosion spécifique est le volume de vase déposé annuellement sur la surface de chaque bassin versant, elle est exprimée en $T/Km^2.an$ ou $T/ha.an$.

II.2.1.4.Taux d'envasement :

- Est le rapport entre le volume de vase sur la capacité initiale du barrage, il est exprimé $t/ha.an$

III. Calcul ES par la méthode bathymétrique :

Les dernier levées bathymétrique sont fait on 2004

On fait la différence entre la capacité initiale du barrage et la capacité finale (2004) avec une densité 1 à la fin on va deviser sur la surface du bassin versant du barrage nous avons obtenu une érosion spécifique de 15.53 tan/ha.an et un taux d'envasement de 9,7%

D'après [21], La classification des bassins versants selon le taux de l'érosion spécifique est tel que :

- Faible érosion, si $Es= 0$ à 3.2 T/Ha.an ;
- Moyenne érosion, si $Es=3.2$ à 10 T/Ha.an ;
- Forte érosion, si $Es=10$ à 32 T/Ha.an ;
- Erosion excessive, Si $Es>32 \text{ T/H.an}$
- Dans le cas du barrage de Sidi Yacoub l'estimation par la méthode bathymétrique donne un érosion de $15,53 \text{ T/Ha.an}$ classant son bassin versant de forte érosion.
 - Tracé des courbes Capacité- Hauteur d'après les levés bathymétriques

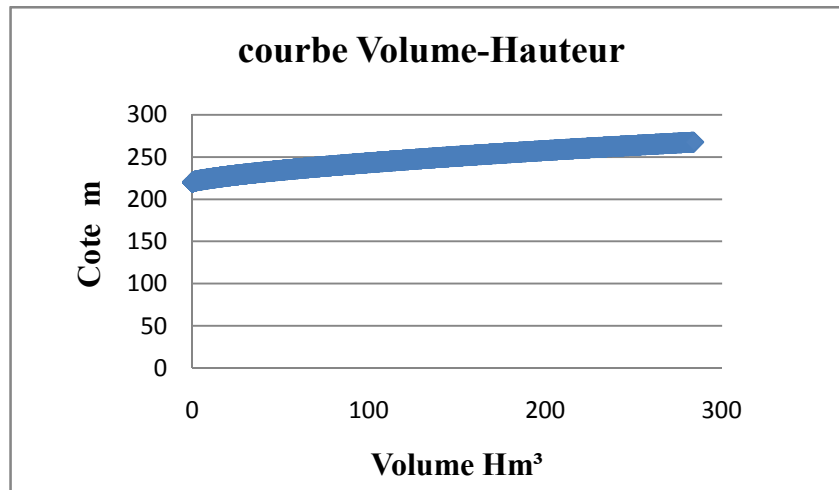


Figure III. 1: courbe volume-Hauteur barrage Sidi Yacoub

II .3.1.calculs par méthodes hydrométrique

II.3.1.1.méthode de travail

L'objectif à atteindre à travers le traitement des débits moyens journaliers est de voir comment se présente l'écoulement durant la période hydrologique 1990/1991 à 2011/2012. Quelles en sont les années sèches des années humides, pouvant nous aider dans la recherche de modèles entre le débit solide-débit liquide pour le bassin versant d'Oued El Ardjem.

Pour cela on a calculé l'hydraulicité de station hydrométrique. Il existe donc une relation entre les débits liquides et les débits solides. Pour calculer ces derniers, on procède comme suit: les débits liquides instantanés exprimés en m³/s sont transformés en débits solides instantanés par l'intermédiaire des concentrations qui sont exprimées en gramme par litre. [20]

En général cette méthode consiste à apporter les données point par point puis à ajuster une équation par la méthode des moindres carrés pour deux variables. On détermine des relations régressives entre deux paramètres ensuite on utilise ces relations pour calculer et combler les données manquantes. On se limite si possible aux méthodes de régression linéaire et baserons les travaux sur la méthode des moindres carrés.

Les principaux modèles régressifs sont :

- Le modèle linéaire: $Y = a + b X$
- Le modèle parabolique: $Y = a + b X + c X^2$
- Le modèle exponentiel: $Y = b e^{aX}$
- Le modèle puissance: $Y = b X^a$
- Le modèle logarithmique: $Y = b \ln X + a$

Le principe des moindres carrés a pour but de trouver l'équation d'ajustement qui rend minimum l'écart ou la différence entre les valeurs observées dans la réalité et les valeurs théoriques données par la courbe.

Le modèle puissance offre une bonne corrélation pour le regroupement des données par année. [20]

II.3.1.2. mise en forme et traitement des données :

L'homogénéisation des données consiste à déterminer des relations régressives entre deux variables mesurées, permettant ainsi de combler les lacunes et d'étendre les séries à partir de celles de données existantes. Avant la recherche d'un modèle régressif quelconque, les données sont mises en graphe, l'allure de ce dernier peut justifier l'existence d'une relation mathématique et orienter le choix du modèle. Cinq modèles régressifs sont utilisés : le modèle linéaire ; logarithmique ; parabolique ; puissance et exponentiel. Le choix du meilleur modèle est fait au vu des valeurs du coefficient de détermination R^2 .

Pour homogénéiser les séries du transport solide en suspension, plusieurs approches de traitement peuvent être tentées dont le but est de trouver un modèle mathématique pouvant expliquer la relation débit liquide- débit solide à savoir :

- échelle interannuelle ;
- échelle annuelle ;
- échelle mensuelles ;
- échelle saisonnière ;
- période humide et période sèche ;
- années humides et années sèches ;

- échelle journalière ;
- échelle instantanée.

Cependant, l’approche basée sur l’homogénéisation et l’extension des données à partir des données des hauteurs d’eau instantanées convertis en débits liquides en utilisant la relation débit solide – débit liquide développée à l’échelle mensuelle paraît meilleure que les autres approches proposées [14]. Cette variation est liée essentiellement au nombre de mesures du transport solide effectuées dans l’année considérée. [20]

Donc, l’approche liée à l’échelle mensuelle sera utilisée le long de notre calcul afin de quantifier le débit solide en suspension et cela pour la station hydrométrique choisie dans la zone d’étude, (Ouled ben AEK 012311)

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

Tableau III .2. La variation des débits liquides et les débits solides de la station d’Ouled Ben AEK

		Paramètres statistiques					
Variabiles Hydrométriques	Nombre Total d’Observations	Max	Min	Moyenne	Ecart-type	Coefficient de variation (Cv)	Etendue (Max - Min)
C (g/l)	3644	334,94	0,02	10,54	24,29	0,43	334,92
Ql (m3/s)		1032,60	0,0015	5,58	33,92	0,16	1032,58
Qs (Kg/s)		33024,32	0,001	172,55	1185,99	0,14	33024,31

II.3.1. 3. Relation : Débit liquide instantané – débit solide instantané

Dans cette étape, on regroupe pour chaque station hydrométrique les couples de chaque mois sur toute la période d’observation (27 années)

Suivant les valeurs de R² de chaque modèles régressifs et on va indiquées le modèle qui offre la meilleure corrélation.

Les résultats de calcul sont présentés dans le tableau (III.3) et les couples (Ql, Qs)

Tableau III .3: Résultats de calculs des différents modèles à la station d’ouled ben AEK

Echelle mensuelle	N	Modèle de régression et coefficient de détermination R ²					Modèle retenu Q.s. = f(Ql)
		Linéaire	Logarithmique	Polynomiale	Puissance	Exponentiel	
Septembre	309	0,31	0,12	0,74	0,54	0,41	0,4Ql ^{1,16}
Octobre	274	0,43	0,10	0,43	0,75	0,22	0,8Ql ^{1,24}
Novembre	392	0,69	0,24	0,69	0,71	0,19	3,08Ql ^{1,5}
Décembre	442	0,02	0,08	0,05	0,57	0,06	2,79Ql ^{0,98}
Janvier	376	0,71	0,27	0,94	0,84	0,17	8,7Ql ^{1,95}
Février	373	0,86	0,37	0,89	0,81	0,45	6,09Ql ^{1,47}
Mars	326	0,66	0,33	0,71	0,82	0,32	4,17Ql ^{1,59}
Avril	317	0,89	0,31	0,94	0,88	0,42	2,7Ql ^{1,43}
Mai	366	0,10	0,23	0,54	0,47	0,07	2,55Ql ^{1,27}
Juin	250	0,03	0,06	0,1	0,30	0,15	0,6Q ^{0,74}
Juillet	52	0,13	0,12	0,3	0,23	0,24	0,24Ql ^{1,18}
Août	179	0,09	0,08	0,09	0,56	0,48	0,23Ql ^{1,35}

N : nombre d’observations.

D’après le résultat du tableau ci-dessus les valeurs de R² indiquées par les différents modèles régressifs, le modèle puissance offre la meilleure corrélation.

II.3.1.5. Représentation graphique de la relation débit liquide – débit solide à l'échelle mensuelle :

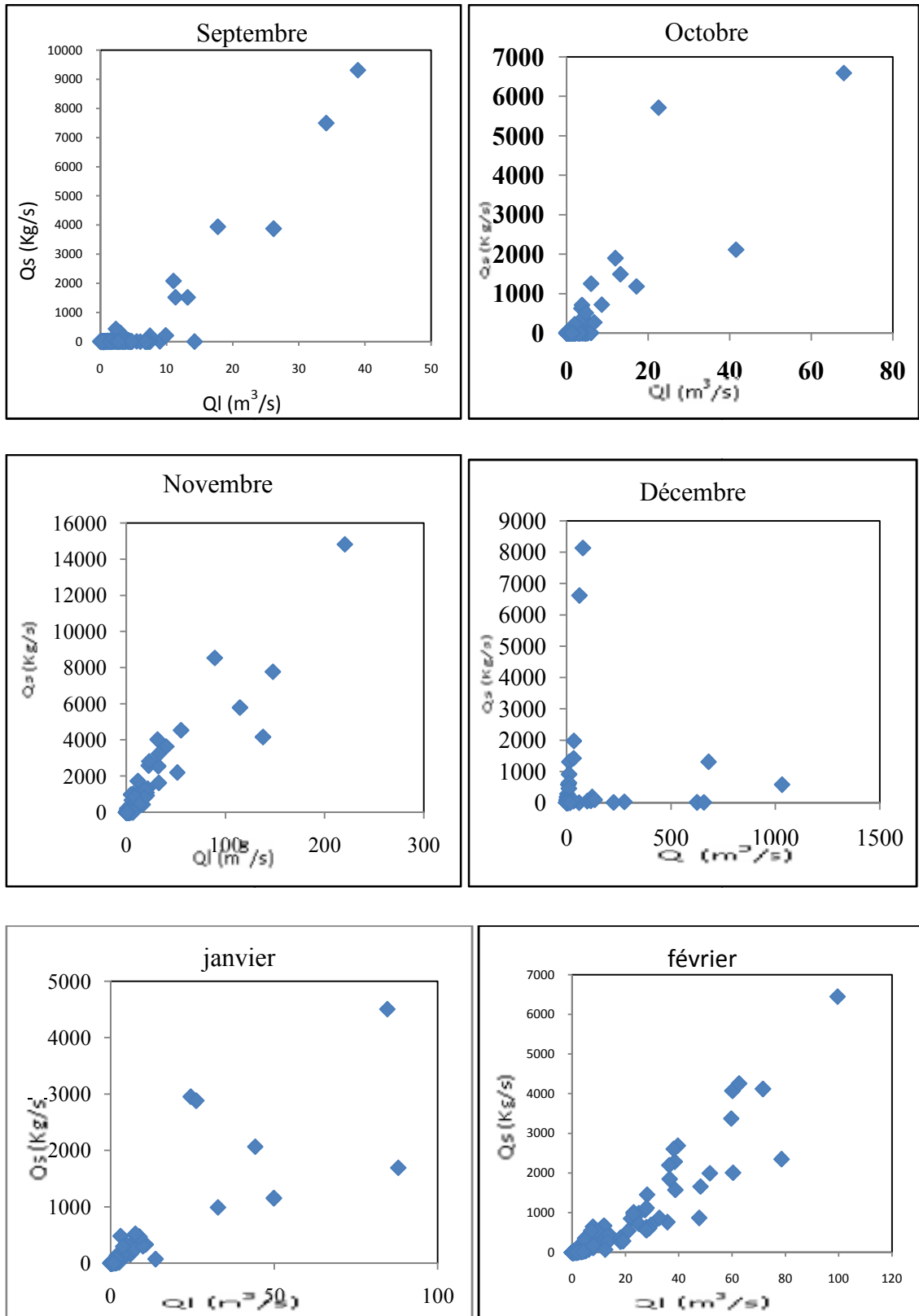


Figure III.3: Relation (débit liquide – débit solide) à la station d'Ouled Ben AEK(Suite)

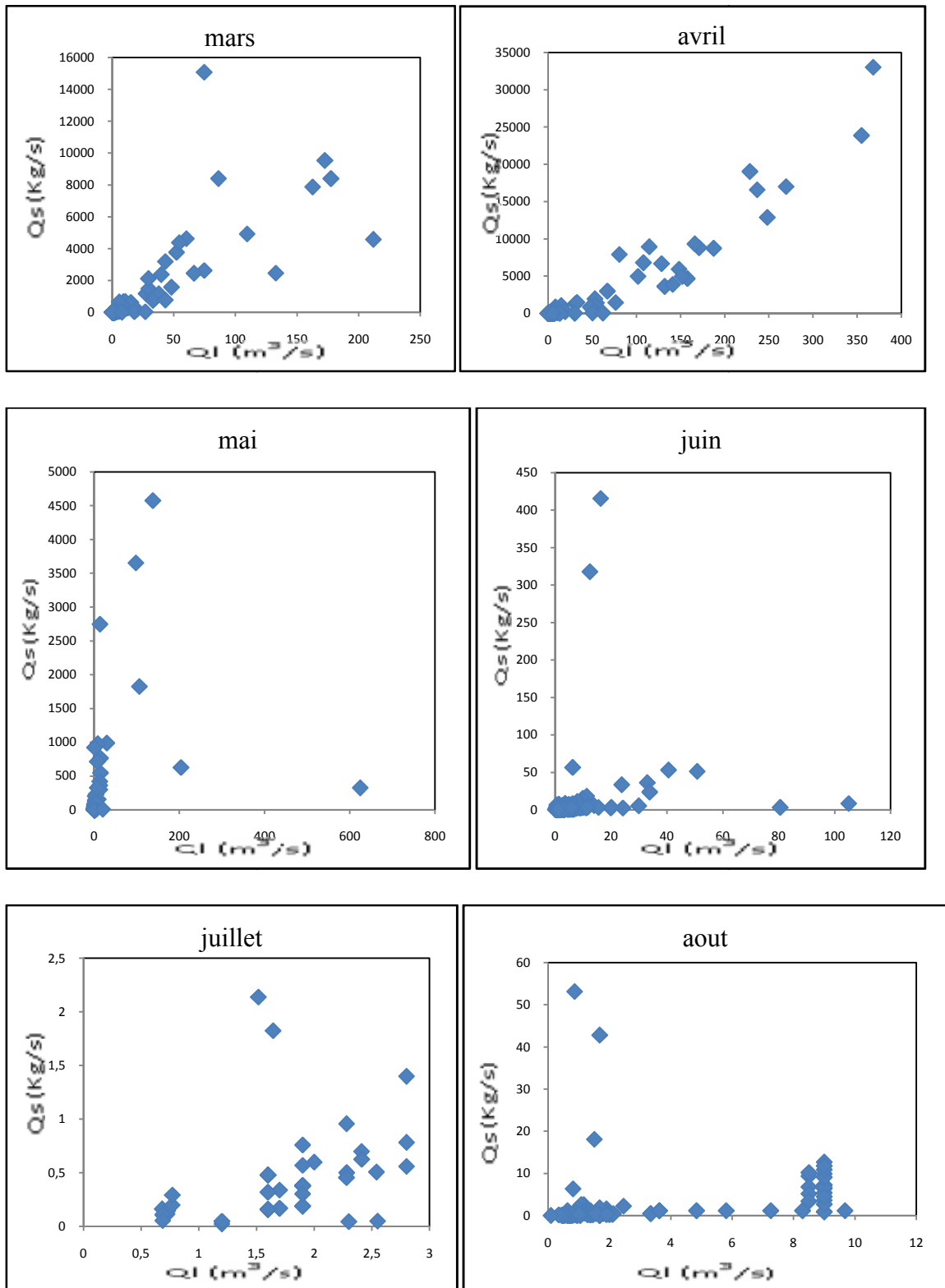


Figure III.4: Relation (débit liquide – débit solide) à la station d’Ouled Ben AEK.

(Suite et fin)

Les résultats obtenus après analyse de la régression montrent que pratiquement le modèle puissance explique en moyenne 60% des relations. Dans ces circonstances, nous avons essayé de contribuer à une modélisation statistique du transport solide en suspension (échelle mensuelle), afin de pouvoir évaluer les apports solides transités à la station hydrométrique d'Ouled AEK (Oued L' Ardjem et de ses affluents)

Les relations établies servent ainsi pour l'extension des séries courtes, le contrôle des observations et le comblement du manque d'information

Introduction

Il est important d'évaluer l'exactitude des estimations de l'érosion hydrique, provenant de n'importe quel modèle, pour cela, la valeur calculée à partir des levés bathymétriques du barrage est prise comme référence, par la suite les deux autres valeurs estimées à partir des données hydrométriques en prenant en considération les lâchées des barrages pour la première estimation et en supprimant ces mêmes lâchées pour la deuxième estimation, nous allons essayer par ce qui suit de montrer l'influence des lâchées des barrages sur de l'érosion hydrique et ceci en estimant l'erreur relative par rapport à la valeur trouvée par la méthode bathymétrique.

I. Résultats et discussions :

I.1. Approche d'évaluation des apports solides dans les stations hydrométriques :

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

$$Q_s = a Q_t^b \quad (4,1)$$

Avec a et b sont des paramètres empiriques sont généralement déterminés par régression linéaire,

Nous considérons une série de mesure de concentrations :

$$C_i = (C_1, C_2, \dots, C_i, \dots, C_n) \quad (4,2)$$

Et une série de débits :

$$Q_i = (Q_1, Q_2, \dots, Q_i, \dots, Q_n) \quad (4,3)$$

Généralement, nous disposons beaucoup plus de données de débit que de données de concentrations,

Les méthodes de calcul des flux dans les cours d'eau ont fait l'objet de nombreux travaux, (le choix de la méthode de calcul dépend essentiellement de la fréquence d'échantillonnage et de la qualité des données acquises).

Pour ce genre de calcul, nous pouvons distinguer les méthodes statistiques basées sur l'utilisation des moyennes et les méthodes déterministes qui s'appuient sur la relation « débit solide – débit liquide ».

Le fait de quantifier le transport solide au droit des stations hydrométriques avec des données instantanées ou des moyennes, entraîne des résultats très différents les uns des autres, Ainsi, la meilleure méthode de quantifier le transport solide en suspension est de faire une extension des données sur toute la période d'observation (27 ans) à partir des valeurs des hauteurs d'eau instantanées, [11], Le nombre de ces valeurs correspondant a la station hydrométrique d'Ouled Ben AEK est de 24 917 observations.

I.2. Variabilité Spatio- temporelle des apports liquides et solides

La répartition intra-annuelle et interannuelle des apports liquides et solides du bassin versant au droit de la station d'études est montrée dans le tableau (IV.2, IV.3). Généralement, les apports solides minima mensuels sont enregistrés en Eté, cette saison est caractérisée par une faible pluviométrie et par conséquent un faible écoulement superficiel, Il est à remarquer cependant que les apports solides minima ne correspondent pas forcément au mois caractérisé par le plus faible apport liquide .Le transport solide d'Automne reste le plus élevé, dépassant significativement les autres saisons, Cette variabilité s'explique par la variation du couvert végétal (sols nus) durant l'été et la nature agressive des pluies d'Automne [23 ;24]. Ces facteurs permettant aux premières crues d'Automne de transporter des quantités considérables de sédiments après une longue saison sèche caractérisée par de fortes températures et par la destruction des agrégats du sol par ces dernières, L'énergie produite par les premières pluies ainsi que le faible taux de couverture végétal en cette saison y contribuent.

Tableau IV.1. : Répartition interannuelle de l'apport liquide et solide à la station cas avec lâchées.

Année	Al (Mm ³)	As (10 ⁶ tonne)	Année	Al (Mm ³)	As (10 ⁶ tonne)
1985-86	62,14	2,05	1999-00	16,84	0,03
1986-87	32,30	0,696	2000-01	55,60	0,90
1987-88	39,01	0,119	2001-02	48,46	0,25
1988-89	46,45	0,05	2002-03	25,17	0,21
1989-90	39,76	0,14	2003-04	9,81	0,043
1990-91	29,77	0,30	2004-05	9,81	0,014
1991-92	37,99	2,006	2005-06	22,50	0,700
1992-93	25,41	0,15	2006-07	22,5	0,15
1993-94	28,36	0,26	2007-08	8,21	0,045
1994-95	104,93	2,43	2008-09	47,97	0,68
1995-96	116,57	5,12	2009-10	59,64	0,67
1996-97	77,22	1,8	2010-11	56,56	0,68
1997-98	64,01	1,03	2011-2012	74,35	0,97
1998-99	43,54	0,41	Moyenne	41,74	0,862

La variation de l'apport solide en fonction de l'apport liquide est donnée par la figure suivante.

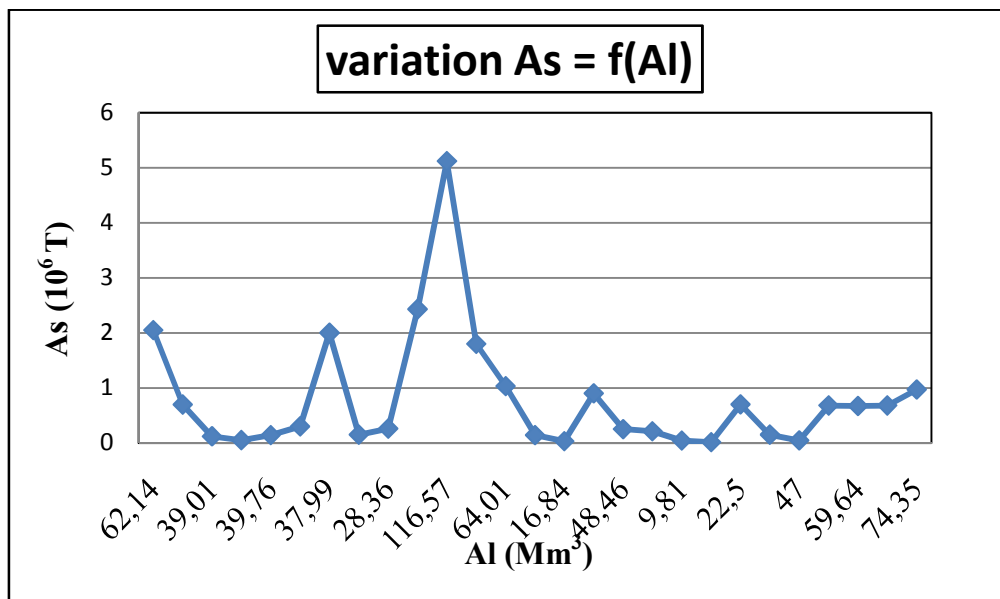


Figure IV. 1 : Variation de l'apport solide en fonction de l'apport liquide (cas avec lâchées)

La variation de l'apport solide en fonction de l'apport liquide est une variation proportionnelle dans la majorité des années sauf à quelques exceptions où l'apport solide présente des valeurs

élevées même en présence de débit liquide moins important ceci est du généralement aux périodes de fortes crues qui succèdent les périodes de sécheresse.

Tableau IV. 2 : Répartition interannuelle de l'apport liquide et solide à la station cas sans lâchées.

Année	Al (Mm ³)	As (10 ⁶ tonne)	Année	Al (Mm ³)	As (10 ⁶ tonne)
1985-86	62,14	-	1999-00	16,84	0,029
1986-87	32,30	-	2000-01	55,60	0,58
1987-88	39,01	-	2001-02	48,46	0,19
1988-89	46,45	-	2002-03	25,17	0,10
1989-90	39,76	-	2003-04	9,81	0,027
1990-91	29,77	0,18	2004-05	9,81	0,014
1991-92	37,99	1,28	2005-06	22,50	0,149
1992-93	25,41	0,08	2006-07	22,5	0,113
1993-94	28,36	0,14	2007-08	8,21	0,027
1994-95	104,93	1,46	2008-09	47,97	0,486
1995-96	116,57	2,92	2009-10	59,64	0,657
1996-97	77,22	1,03	2010-11	56,56	0,46
1997-98	64,01	0,49	2011-2012	74,35	0,96
1998-99	43,54	0,29	Moyenne	41,74	0,681

La variation de l'apport solide en fonction de l'apport liquide est donnée par la figure suivante :

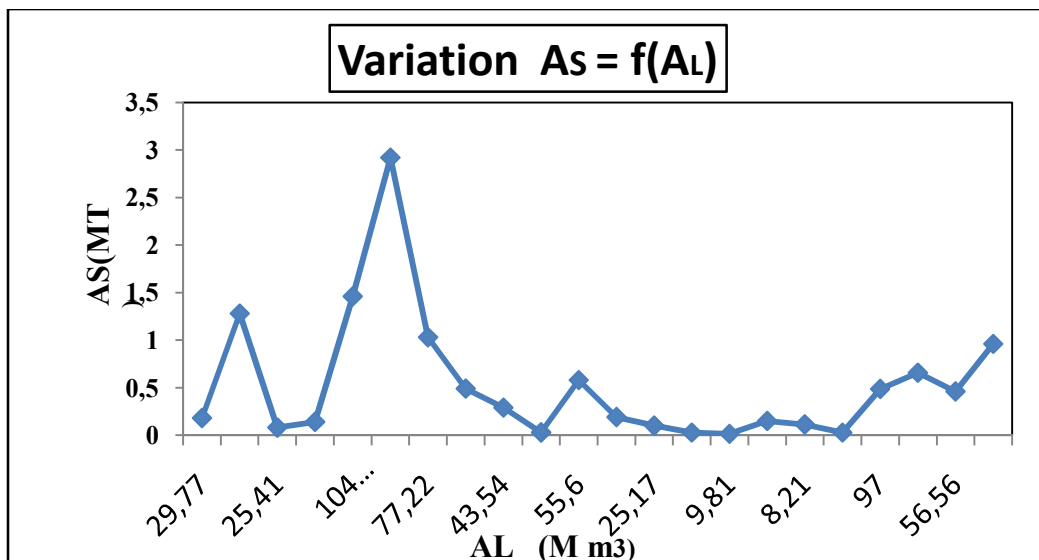


Figure IV. 2. La variation de l'apport solide en fonction de l'apport liquide (cas sans lâchées)

La variation de l'apport solide en fonction de l'apport liquide après quand a supprimé les lâchées du barrage est une variation proportionnelle dans la majorité des années sauf à quelques exceptions où l'apport solide présente des valeurs élevées même en présence de débit liquide moins important ceci est du généralement aux périodes de fortes crues qui succèdent les périodes de sécheresse.

D'après la répartition interannuelle de l'apport liquide et solide à la station 012311, nous obtient les résultats suivant :

- Les lâchées concernent l'AEP et l'Irrigation.
- La moyenne des apports liquides sont les même dans les deux cas (avec ou sans lâchers) .
- La moyenne des apports solides est différente dans les deux cas, les apports sont plus élevés dans la réparation interannuelle de l'apport solide avec lâchers.
- La période d'observation doit être la même afin de pouvoir comparer les résultats pour cela nous la prenant de 1990/1991 à 2011/2012 soit 22 ans, dans le but de calculer l'érosion hydrique.

II .Quantification de l'érosion spécifique

L'érosion spécifique est ainsi calculée à partir des apports solides évalués précédemment, elle est le rapport entre ces apports et la surface affectée à chaque station hydrométrique, les résultats sont données dans le tableau suivant,

Tableaux IV.3.Représente les résultats de calcul érosion spécifique de la station 012311

Estimation d'érosion	Apport solide moyen Interannuel (10⁶ T)	Surface du BV (Km²)	T/Ha ,an
Avec lâchers	0,862	484	17,82
Sans lâchers	0,681		14,02

- Ces valeurs sont estimées sur une période de 22 ans.
- Le taux d'érosion estimé avec lâchées est plus élevés que celui estimé sans lâchées des barrages, dans ce cas on peut dire que les lâchées de barrage ont une influence importante sur l'estimation d'érosion hydrique.

III. Estimation de l'erreur relative

L'erreur relative est calculée selon la formule $E \% = \frac{\Delta x}{x} * 100$ sachant que :

Relative

$\Delta x = x_{\text{mesuré}} - x_{\text{relative}}$ avec : $x_{\text{mesuré}}$: érosion avec et sans lâchées.

$x_{\text{relatives}}$: érosion à partir des levés bathymétriques.

Tableaux .IV.4.représente erreur d'estimation érosion

Méthode de quantification de l'érosion spécifique	Erosion spécifique T/ha.an	Erreur %
Levés bathymétriques	15,53	-
Avec lâchers	17,82	15
Sans lâchers	14,02	9

Une analyse de l'état d'envasement de la retenue du barrage de Sidi Yacoub par la méthode des levés bathymétriques a montré que la retenue présente une perte de 15,53 T/Ha .an de sa capacité initiale pendant 22 ans d'exploitation ,et la quantification de l'érosion par les données de la station hydrométrique d' Ouled Ben AEK (012311) a montre que la retenue présente une perte de 17 ,82 T/Ha.an avec les lâchées et de 14, 02 T/ha/an depuis 1990/1991 jusqu'a 2011/2012 .

L'erreur de quantification de l'érosion est de 15% avec lâchées et de 9% sans lâchées, ces valeurs restent acceptables, néanmoins pour plus d'exactitudes, l'estimation de l'érosion hydrique en supprimant les lâchées des barrages reste la meilleure manière d'exprimer le taux d'érosion dans le cas de l'utilisation des données hydrométriques.

Conclusion générale

Devant l'importance du phénomène de l'érosion hydrique, sa quantification précise est devenue une nécessité pour les projets de planification et de gestion. La non disponibilité des mesures fréquentes surtout celle de la concentration en matière en suspension au niveau des cours d'eau de cette région, nous a emmené à faire appel aux modèles d'estimation, un essai de quantification de la variable "érosion hydrique" a été entrepris.

Les deux méthodes utilisées pour le calcul sont la bathymétrie et l'hydrométrie, cette étape a été poursuivie par le calcul de l'erreur d'estimation relative.

À partir de la situation et la présentation de la région d'étude, nous pouvons conclure en premier lieu que les caractéristiques du milieu prévoient l'existence d'une érosion plus ou moins remarquable, la pente moyenne qui est de **21,62 m/km** a une influence directe sur la vitesse de l'eau. Les caractéristiques biogéographiques montre une insuffisance de la végétation toute l'année et les surfaces souvent soumises à la pâture.

Concernant les conditions climatiques, nous pouvons voir que notre région est située dans une zone semi aride avec une de précipitation moyenne de 323.62mm.

L'analyse des données, basée sur la méthode de régression en vue de la recherche de la meilleure relation débit solide, débit liquide aboutit à accepter la modèle régressive puissance et l'utiliser dans la quantification de l'érosion.

➤ Une analyse de l'état d'envasement de la retenue du barrage de Sidi Yacoub par la méthode des levés bathymétriques a montré un taux d'érosion de **15,53 T/Ha.an** sur une moyenne de 22 ans ;

➤ La méthode hydrométrique appliquées sur les données de la station d'Ouled Ben Aek (012311) qui est située non loin à l'aval du barrage a donné un taux d'érosion de **17,82 T/Ha.an** en prenant en considération les lâchées et un taux d'érosion de **14.02 T/Ha.an** en supprimant ces mêmes lâchées.

➤ Le choix de prendre en considération et de supprimer les lâchées pour l'étape précédente est une préoccupation majeure dans l'estimation de l'érosion hydrique au droit des stations hydrométriques se trouvant à l'aval des barrages, car c'est considéré anthropique modifiant ainsi l'estimation réelle de ce phénomène.

A l'afin de notre travail nous avons pu calculer l'erreur relative de quantification de la variable aléatoire « érosion hydrique » en prenant la méthode bathymétrique comme référence, d'après les résultats obtenus, l'erreur relative est de l'ordre de **9%** sans lâchées et **15%** avec lâchées.

De ce fait, nous pouvons conclure d'après les valeurs de l'erreur relative que les lâchées des barrages influent significativement sur la quantification de l'érosion hydrique par les données des stations hydrométriques dans le cas de la localisation de ces dernières à l'aval des barrages.

Référence bibliographique

- [1] **Remini B. 2008** ; La surélévation des barrages: une technique de lutte contre L'envasement - exemples algériens. Revue La Houille Blanche, N°5 pp. 103-108
- [2] **El Watan. 2010** ; Agence des barrages hydro-canal Chott Chergui: le barrage du Fergoug envasé à 97.77%. Journal quotidien. Article écrit par H Sahraoui. Mercredi 20 Octobre 2010 , 6078: 10.
- [3] **Milogo.A, Août 2009** : ouvrages hydrauliques P 07
- [4] **El Younssi Y** ;Caractéristiques hydrologique et géomorphologique du bassin versant du N'FIS : conséquences sur l'envasement du barrage lallatakerkoust. PP.32-42.
- [5] http://www.projetmontsaintmichel.com/organisez_votre_visite/lachers_d_eau_du_barrage.html
- [6] **Ammari ;2012** .Vulnérabilité à l'Envasement des Barrages (cas du bassin Hydrographique des Côtiers Algérois) Thèse de Doctorat Université Mohamed Khider – Biskra, PPPP.13-14-16-17-19.
- [7] - **Schmitt A ; 1992**. Hydraulique Agricole, l'eau, le sol, la plante : conservation des eaux et des sols. EIER.
- [8] **Larhyss Journal ;2003**. ABDELKADER BENKHALED & BOUALEM REMINI (2003) Variabilité temporelle de la concentration en sédiments et phénomène d'hystérésis dans le bassin de l'Oued Wahrane (Algérie), Hydrological Sciences Journal. P. 48
- [9] **Vanoni A ;1977**. Sédimentation engineering. ASCE, Hydraulique Division P.19.
- [10] - **Graf W ; 2000**. Hydraulique Fluviale. Presse Polytechnique Romande.
- [11] **Moukhchane ;M**. différentes méthodes d'estimation de l'érosion dans le bassin versant de Nakhla (Rif occidental, Maroc),p.30
- [12] **FAO 1983**. Garder la terre en vie : l'érosion des sol ses causes et ses remèdes bulletin pédologique 50, P.62
- 10[13] **FAO 1980**. Conservation des ressources naturelles en zones aride et semi- arides Cahiers FAO : conservation des sols, vol.3, 135, P.41
- [14] **Achite M**. Erosion hydrique en Algérie du Nord : Ampleur, Conséquences & Perspectives Université des sciences et de la technologie d'Oran, Département d'Hydraulique, El M'Naouar, B.P 1505, ORAN (31000), Algérie,P.5.

- [15] **ANBT (SY)** .agence national des barrages et transfert Chlef.
- [16] **(ABH) 2008** .Agence du bassin hydrographique chlef.
- [17] **khalidi Y et Belabdi M, 2007**. « contribution à l'étude de l'état d'envasement de barrage de SIDI YACOUB » thèse d'ingénieur .université de Chlef.
- [18] **ONM** .services du bureau assistance météorologique de CHLEF
- [19]**AGENCE NATIONALE DE RESSOURCE EN EAU ;1981**. Annuaire hydrologique de l'Algérie.
- [20] **Chenaoui.B ; 2001**. Quantification de l'érosion à partir des différentes stations hydrométriques de l'oued Mina. Thèse de magister. Centre universitaire de Mascara. Algérie
- [21] **Touaïbia.B ;2000**. Erosion-Transport solide-Envasement des barrages. Cas du bassin versant de l'oued Mina. Thèse de doctorat. INA. Algérie.
- [22] **Achite M et Meddi M ;(2005)**.Variabilité spatio-temporelle des apports liquide et solide en zone semi aride. Cas du bassin de l'oued Mina (nord ouest Algérien Rev. Sci. Eau. 18(spécial), pp : 37-56.
- [23]**MEddim; 1992**. Étude d'érosion et du ruissellement sur bassins versants expérimentaux dans les monts de Beni-Chougrane (Ouest d'Algérie). Zeitschrift fu Géomorphologie.p45
- [24]**RakoczilA ; 1981**. Problems of sédiment gauging in gravel-beds, XIX congress, New Delhi, India., p 105