

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de L'enseignement Supérieur et la Recherche Scientifique



École Nationale Polytechnique

Département d'Hydraulique

Laboratoire de Recherche des Sciences de l'eau



Mémoire de Fin d'Etudes
en Vue de l'Obtention d'un Diplôme d'Ingénieur d'Etat en
Hydraulique

Intitulé :

**CAPACITE DU TRANSPORT SOLIDE DES
COURS D'EAU ET DECANTATION DES
SEDIMENTS AU NIVEAU DES RETENUES**

Réalisé par :
Mr : M.MEDIOUNI

Dirigé par :
Dr : M.BERKANI

Promotion –Juin 2006

Résumé

ملخص

بدون شك الماء عنصر هام لاستمرار الحياة ولهذا السبب يجب علينا ضرورة المحافظة عليه وذلك بتحديد كمية المواد العالقة المتدفقة عبر مجاري المياه السطحية. هذا العمل المتواضع يعتمد على تقريبتان رياضيتان، أولا رسم بياني، الغرض منه تحديد حجم المواد المتحركة بعمق مجاري المياه السطحية، والثاني علاقة رياضية تهدف إلى تحديد كمية المواد العالقة في حوض سد بني عمران.

الكلمات المفتاحية: حوض, بني عمران, التدفق السائل, التدفق الصلب.

Résumé

L'eau est sans doute un élément crucial pour la continuité de la vie et pour cela il faut qu'on la garde saine en quantifiant les fines en fluctuation.

Notre modeste travail est basé sur deux approches, une graphique, qui a pour but de déterminer le volume charrié dans les rivières, et la deuxième mathématique basé sur des hypothèses simplificatrices pour estimer la quantité des sédiments maintenues en suspension dans la retenue de Beni-Amrane.

Mots clés : retenue, Beni-Amrane, débit liquide, débit solide.

Abstract

Water is undoubtedly a crucial element for the continuity of the life and this reason it is necessary that one keeps it healthy by quantifying fines in fluctuation.

Our modest work is based on two approached, graphics, the purpose of which are to determine the volume carted in the rivers, and the second mathematics based on simplifying assumptions to estimate the quantity of the sediments maintained in suspension in a reserve the Dams of Beni-Amrane.

Key words: reserve, Beni-Amrane, liquid flow, solid flow.

Remerciements

Je remercie de tout mon cœur mes parents qui m'ont soutenus et qui continueront à me soutenir dans tous les projets que j'entreprendrai.

Je tiens à exprimer mes remerciements les plus sincères à mon docteur de thèse Berkani, pour ses efforts fournis afin de mener à bien ce projet.

Je tiens aussi à exprimer ma profonde gratitude à Melle Benmamar, dont le soutien sans faille a été d'une immense contribution à la réalisation de ce travail.

J'exprime ma reconnaissance à Monsieur Mouloudi pour leur précieuse aide.

Que tous ce qui ont contribué de près ou de loin, dans ma formation ainsi qu'à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

A ma Mère et mon Père

A mes Chères Grands Parents

A mon frère Hichem ainsi qu'à mes sœurs Lamia et Asma

A toute la famille particulièrement tonton Omar et tata Oldjia

A mes amis en particulier Othmane, Chérif, Hafid, Mamiche, Hichem, Smail, Lakhder,
Mourad, Samir, Hadi, Amen, Samy, Kenza, Mahdi, Malik, Fouad, Terek, Mezian...

Je dédie ce travail.

Chocri

Table des matières

INTRODUCTION GENERALE	1
<u>CHAPITRE I</u>	<u>GENERALITES</u>
1. L'EROSION HYDRIQUE	3
1.1. INTRODUCTION	3
1.2. LES AGENTS DE L'EROSION HYDRIQUE.....	3
1.2.1. INTENSITE ET AGRESSIVITE DES PRECIPITATIONS.....	3
1.2.2. RUISSELLEMENT	3
1.2.3. ETAT HYDRIQUE INITIAL	6
1.3. FORMES DE MANIFESTATIONS DE L'EROSION HYDRIQUE	7
1.3.1. EROSION EN NAPPE	7
1.3.2. EROSION LINEAIRE	7
1.4. QUANTIFICATION DE L'EROSION HYDRIQUE.....	7
1.4.1. FORMULE DE WISCHMEIER ET SMITH (1978).....	7
1.4.2. FORMULE DE FOURNIER (1960)	8
1.4.3. FORMULE DE TIXERONT (1960).....	8
1.4.4. FORMULE DE LA SOGREA.....	8
1.5. METHODES DE DEFONCE CONTRE L'EROSION HYDRIQUE	9
1.5.1. LES INTERFLUVES.....	9
1.5.2. LES COURS D'EAU.....	11
2. TRANSPORT SOLIDE	12
2.1. INTRODUCTION	12
2.2. INTRODUCTION AU TRANSPORT SOLIDE.....	12
2.2.1. TRANSPORT SOLIDE PAR CHARRIAGE.....	12

4. BASE DE DONNEES :	31
----------------------	----

CHAPITRE III	FORMULATION DU PHENOMENE
---------------------	---------------------------------

1. INTRODUCTION.....	32
2. DYNAMIQUE DES COURS D’EAU	32
2.1. DETERMINATION DU VOLUME CHARRIE.....	32
2.2. SIGNIFICATION DU VOLUME CHARRIE	34
3. DECANTATION DES SEDIMENTS :	35
3.1. FORMULE DE LA HAUTEUR D’EAU CLAIRE.....	36
3.2. ESTIMATION DE LA MASSE DEPOSEE	36
5. CONCLUSION :	40

CHAPITRE IV	RESULTATS ET INTERPRETATIONS
--------------------	-------------------------------------

1. INTRODUCTION.....	41
2. VOLUME CHARRIE PAR L’OUED.....	41
3. EVALUATION DE LA MASSE DECANTEE.....	41
3.1. VARIATION DE LA MASSE DECANTEE EN FONCTION DE LA DISTANCE	42
3.2 VARIATION DE LA MASSE DECANTEE EN FONCTION DU TEMPS	45
4. DISCUSSION DES RESULTATS.....	48
5. CONCLUSION	49
CONCLUSION GENERALE.....	50

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

ANNEXES

Introduction

Introduction
Générale

Introduction générale

Pour situer notre thème de projet de fin d'études qui fait partie des travaux de recherches sur la sédimentation des retenues au niveau du laboratoire des sciences de l'eau, il est nécessaire de rappeler les différentes approches pour aborder ce phénomène.

En effet, l'envasement des barrages n'est pas spécifique à l'Algérie, mais se rencontre partout où l'on doit régulariser les cours d'eau, si bien que la lutte contre la sédimentation devient une préoccupation essentielle des exploitants et des chercheurs pour la préservation du potentiel hydraulique mobilisé à des prix de revient onéreux.

Or, la sédimentologie, qui aborde la question d'érosion, du transport solide et de sédimentation, commence toujours à affirmer ses doctrines par différentes approches qui peuvent être résumées en trois catégories comme suit :

Première catégorie

Les recherches visant à estimer l'érosion en intégrant les facteurs naturels du bassin versant et les débits solides.

Deuxième catégorie

Concerne le processus de distribution, de tassement et de Consolidation des sédiments transportés et ayant pour objectif d'améliorer l'efficacité des méthodes de dévasement.

Troisième catégorie

S'intéresse à la dynamique des cours d'eau, dont l'objectif est de déterminer leur capacité de transport solide.

L'objectif essentiel de ces trois approches, est la recherche des lois d'érosion, de transport, et de dépôt des sédiments afin l'envasement.

Notre étude s'intéresse dans sa première partie à la dernière catégorie, afin d'évaluer le volume sédimentaire que peut charrier le cours suite aux apports solides en période de la crue, et de le comparer au volume sédimentaire provenant des affouillements, et l'érosion du lit du cours d'eau pour estimer enfin sa capacité

de transport de ce dernier. La deuxième partie concerne l'étude de l'évolution de la décantation des sédiments qui arrivent dans la retenue, et maintenus en suspension dans l'eau calme du barrage. Cette étude, où il n'y a pas d'écoulement est basée sur la résolution d'un système d'équations établi avec des hypothèses simplificatrices. Elle complétera, les différentes approches par modélisation numérique en 3D et 2D du mécanisme hydrodynamique des retenues. En effet, ces modèles très complexes ayant demandé un support informatique important pour la résolution du système d'équations en écoulement turbulent ont permis de suivre l'évolution et la localisation des zones des dépôts. Or ces zones de sédiments décantés pendant la crue ne représentent en réalité qu'une faible quantité de ce qui est transporté, le reste constitué de très fines particules se maintient en suspension pour se décanter en plusieurs jours ou plusieurs mois dans l'eau calme de la retenue. C'est que nous proposons d'étudier dans la deuxième partie, il s'agit d'une estimation quantitative de cette décantation avant d'envisager son application à des formes géométriques complexes de la retenue. La configuration type qui fait l'objet de notre étude est représentée par la retenue de Beni Amrane où les particules sédimentaires en suspension se décantent au cours du temps. Pendant cette décantation apparaît dans le réservoir deux zones distinct : une zone d'eau claire dépourvue de particules, et la zone de dépôt des particules sédimentaires.

Chapitre I

Généralités

Chapitre I
Généralités

Chapitre I

Généralités

1. l'érosion hydrique

1.1. Introduction

L'érosion des sols correspond au "détachement " et au "transport" des particules de sol, par différents agents (gravité, eau, vent, glace), de leur emplacement d'origine à un endroit de "dépôt" à l'aval. Dans tous les cas, ces mouvements de sol sont des processus discontinus à fortes variations spatio-temporelles, difficiles à décrire sous forme d'équations mathématiques.

Les deux agents principaux de l'érosion hydrique sont les précipitations et le ruissellement superficiel. Toutefois un grand nombre de facteurs (intensité et agressivité des précipitations, caractéristiques du sol, pentes et longueur de pente, le couvert végétal et l'état hydrique initial) et de mécanismes affectent la relation "chute de pluie - ruissellement- entraînement des terres".

1.2. Les agents de l'érosion hydrique

1.2.1. Intensité et agressivité des précipitations

La désagrégation de la structure et le détachement des particules sous l'impact des gouttes de pluie résultent du "travail" exercé par les gouttes à la surface du sol. Il est donc lié à l'énergie cinétique des gouttes E_c .

$$E_c = \frac{1}{2} m V^2 \quad (I.1)$$

où, m est la masse de la goutte (kg) et V la vitesse (m/s), E_c l'énergie cinétique (joules).

L'évaluation de l'énergie cinétique des gouttes reste un bon critère d'évaluation de l'agressivité des pluies. Il existe d'ailleurs une relation empirique reliant l'intensité d'une pluie et son énergie cinétique (Remini, B. 1997).

$$E_c = 11.9 + 8.73 \cdot \log I_p' \quad (I.2)$$

avec, E_c : Energie cinétique en $\text{j/m}^2/\text{mm}$;

I_p : intensité de pluie en mm/h .

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

L'impact direct des gouttes de pluie provoque aussi l'entraînement et la projection des particules dans toutes les directions. Ce rejaillissement peut être important. Les relations quantifiant cette masse de sol détachée (D_p) sont en général de la forme (Poessen, J. 1984).

$$D_p = a \cdot E_c^b \quad (\text{I.3})$$

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

Ces processus de désagrégation de la surface du sol et d'érosion par rejaillissement conduisent à la fermeture des pores à la surface du sol, et à la réduction de son coefficient d'infiltration en formant une croûte de battance.

1.2.2. Ruissellement

Le ruissellement apparaît dès que l'intensité d'une pluie devient supérieure à la vitesse d'infiltration du sol. Il est nettement plus élevé sur sol nu que sous cultures. Les plus faibles ruissellements proviennent des pluies tombantes après une période sèche. Par contre, les ruissellements et les pertes en terres les plus élevées ont eu lieu à une époque où le sol est déjà très humide et dans le cas de pluies exceptionnelles et des orages d'automne et de printemps (Chebbani, R. et al. 1999).

Le ruissellement ne débute qu'après un cumul pluviométrique journalier de 18 à 20 mm (Laouina, A. 1998) sur sol sec même si les pluies sont intenses ou après un cumul de 4 mm sur sol humide et compact (Loup, J. 1974).

D'une manière générale, il est admis que la vitesse du ruissellement est le paramètre prépondérant de l'action érosive du ruissellement superficiel. En 1965, Meyer a proposé la relation suivante pour évaluer cette vitesse.

$$V_R = I^{0.33} \cdot Q_R^{0.66} / n^{0.66} \quad (I.4)$$

où V_R : vitesse de ruissellement ;

I : pente du terrain ;

Q_R : Débit du ruissellement ;

n : rugosité du sol.

Les facteurs qui régissent le ruissellement sont :

a . L'infiltration

Tous les sols sont plus ou moins perméables. Le coefficient de perméabilité qui représente la vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol dépend essentiellement de la porosité du sol.

La diminution de l'infiltrabilité, c'est-à-dire la diminution du coefficient de l'infiltration joue un rôle positif contre l'érosion puisqu'elle renforce la résistance au cisaillement des sols. L'équation de Coulomb donnant la charge de rupture (τ) montre le rôle des deux paramètres essentiels :

$$\tau = c + \sigma \cdot \text{tg}\varphi \quad (I.5)$$

avec, c : la cohésion qui dépend des forces capillaires et de la teneur en eau du sol.

φ : l'angle de frottement interne qui dépend de la porosité du matériau et donc de la compacité du sol.

b. Détention superficielle et rugosité du sol

Elle correspond à la capacité du stockage temporaire de la surface du sol vis-à-vis de l'eau. La détention superficielle se fait sous forme de flaques dans les micro-dépressions, dont la capacité du stockage est liée à la porosité.

c. Pente et longueur de pente

L'érosion augmente avec la pente. Il se développe une érosion en rigoles dix fois plus agressive que l'érosion en nappe (Roose, E. et al. 1998). Ce qui concerne la longueur des pentes, son influence sur la naissance des rigoles dépend des diverses interactions avec la rugosité et la perméabilité du sol, le type et l'abondance du couvert végétal.

d. Le couvert végétal

La couverture du sol est efficace pour réduire le ruissellement, plus particulièrement celle assurée par la strate herbacée et les résidus végétaux. Elle intervient vis à vis du sol par :

- L'interception nette : c'est une quantité de pluie reprise directement par l'évaporation, elle ne participe, ni à l'infiltration, ni au ruissellement.
- La dissipation de l'énergie cinétique : une partie de la pluie interceptée par le feuillage continue sa course jusqu'au sol. L'énergie cinétique des gouttes s'en trouve alors modifiée.

1.2.3. Etat hydrique initial

L'état hydrique du sol au moment d'une pluie a une très forte influence sur la dégradation, la formation des croûtes et la réduction de l'infiltrabilité résultante (Lucas, G. 1942).

L'état hydrique initial influence aussi la succion exercée à la surface du sol par les couches sous-jacentes et donc l'infiltration à travers de cette surface.

1.3. Formes de manifestations de l'érosion hydrique

1.3.1. Erosion en nappe

Elle se produit lorsque l'écoulement et l'érosion se font sur toute la surface du sol, ce qui provoque une usure homogène non perceptible dans la majorité des cas.

Ce type d'érosion entraîne des conséquences morphologiques fâcheuses suite à un décapage de l'horizon superficiel diminuant insidieusement sa réserve en éléments fertilisants et un entraînement préférentiel des particules les plus fines de la matière organique et du carbonate de calcium.

1.3.2. Erosion linéaire

Elle se manifeste lorsque la concentration des eaux conduit à la formation de chenaux de dimension croissante : griffes (quelques centimètres de profondeur), rigoles (incision dans la couche labourée), ravines (incision dépassant la couche labourée).

1.4. Quantification de l'érosion hydrique

Il existe plusieurs formules permettant la quantification de l'érosion hydrique, nous ne citerons que les plus utilisées :

1.4.1. Formule de Wischmeier et Smith (1978)

La formule de wischmeier et smith est donnée par :

$$P_s = E_p \cdot E_s \cdot F_{lp} \cdot F_p \cdot F_{am} \cdot F_v \quad (I.6)$$

avec, P_s : pertes annuelles du sol (t/ha/an),

E_p : érosivité des précipitations (N/h),

E_s : érodabilité du sol ou susceptibilité du sol à l'érosion (t.h/N.ha),

F_{lp} : facteur de longueur de pente (sans dimension),

F_p : facteur de pente (sans dimension),

F_{am} : facteur d'aménagement (sans dimension),

F_v : facteur de conservation des sols pratiqués (sans dimension).

1.4.2. Formule de Fournier (1960)

La formule de Fournier est exprimée par :

$$A_{ss} = (I/36) \cdot (P_m/P_{am})^2 \cdot (2.65) \cdot (h/S) \cdot (0.46) \quad (I.7)$$

Avec, A_{ss} : apport solide spécifique (t/km²/an) ;

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

P_{am} : précipitations annuelles (mm) ;

h : dénivelée moyenne (m) et S : superficie du bassin versant (km²).

1.4.3. 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.

$$\text{Pour les bassins tunisiens} \quad A_{ss} = 354 \cdot E^{0.15} \quad (I.8)$$

$$\text{Pour la région Est-algérien} \quad A_{ss} = 92 \cdot E^{0.21} \quad (I.9)$$

$$\text{Pour la région centre algérien} \quad A_{ss} = 200 \cdot E \quad (I.10)$$

Avec, A_{ss} : apport solide spécifique en (t/km²/an) ;

E : Ecoulement en mm.

1.4.4. Formule de la Sogreah

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

$$A_{ss} = \alpha \cdot E^{0.15} \quad (I.11)$$

avec, A_{ss} : apport solide spécifique en (t/km²/an).

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

E : Ecoulement annuel (mm).

Tableau I. 1 Valeurs de α pour différentes perméabilités

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

1.5. Méthodes de défonce contre l'érosion hydrique

L'érosion accélérée et le dépôt des sédiments posent souvent de sérieux problèmes, et sont la cause des modifications de l'environnement dans les bassins versants, à savoir, la destruction du couvert végétal et l'érosion des sols.

Du fait que l'érosion des sols est étroitement corrélée avec le ruissellement, la maîtrise de ce dernier est particulièrement importante.

Les méthodes de lutte contre l'érosion et la sédimentation reposent sur l'étude de leur nature et de leur évolution.

Le but des dispositifs de défense est de réduire ou d'éliminer les effets négatifs des processus observés.

1.5.1. Les interfluves

Les moyens de lutte contre l'érosion dans les interfluves peuvent être classés dans les catégories suivantes :

- Procédés agro-techniques;
- Restauration des forêts;
- Procédés hydrotechniques;

a. Procédés agro-techniques

L'un des procédés agro-techniques les plus efficaces est le choix des cultures adaptées, en tenant compte de leur capacité à protéger le sol.

Les herbes pérennes protègent de l'érosion et forment une couche fixant le sol, restaurent sa structure, et améliorant la capacité d'absorption et réduisant l'érodabilité.

Une autre méthode de protection consiste à cultiver selon les directions perpendiculaires à l'écoulement, parallèlement aux courbes de niveau (Ouamer Benhadj, M, Bouchelka, H. 1994).

b. Restauration des forêts

Lorsque la reforestation est possible, c'est un moyen efficace de conservation des sols. Les différents types de plantations ci-après sont particulièrement importantes:

- Ceinture forestière sur les terres agricoles pour régulariser le ruissellement, améliorer l'infiltration et protéger l'érosion éolienne.
- Bandes de forêts et bouquets d'arbres à l'intérieur du réseau hydrographique (dessin des chenaux d'écoulements) le long des ravines pennies et des vallées soumises à une forte érosion.

Les ceintures forestières protègent les sols par différentes façons. Elles réduisent la vitesse du vent et améliorent le microclimat. Les ceintures forestières sont très efficaces lorsqu'elles sont plantés en lignes perpendiculaires au ruissellement (le long des courbes de niveau), l'écoulement peut alors être dispersé et l'infiltration favorisée.

Cependant, une mauvaise disposition des ceintures forestières peut être la cause d'une intensification du ruissellement et de la formation de nouvelles rivières (Ouamer Benhadj, M, Bouchelka, H. 1994).

c. Procédés hydrotechniques

Les procédés hydrotechniques de protection comportent certains types de structures et ne sont utilisés que si cela se justifie économiquement, ou si d'autres procédés sont révélés non efficaces.

Ces procédés comprennent les fosses d'infiltration, les barrages de rétention avec des grandes surfaces de retenues, des terrasses le long des courbes de niveau, etc....

1.5.2. Les cours d'eau

L'érosion du réseau hydrographique est souvent la cause des difficultés et des pertes financières. Aussi est-t-il nécessaire de rechercher les moyens de protection contre l'érosion.

Il n'y a pas des méthodes universelles et l'on doit tenir compte des nombreux facteurs, notamment du prix et de la disponibilité sur place des matériaux de construction ainsi que des risques encourus. Nous avons retenu ici comme critère de classification la fonction des ouvrages (Ouamer Benhadj, M & Bouchelka, H. 1994).

a. Revêtement des berges

Le mode de protection des berges le plus courant est la mise en place d'un revêtement de protection fait d'un matériau résistant à l'érosion, comme les enrochements, le béton, végétation naturelle, etc...., est disposé directement sur le talus de la berge (Ouamer Benhadj, M & Bouchelka, H. 1994).

b. Freinage de l'écoulement

On peut obtenir un freinage de l'écoulement, en mettant en place des structures perméables parallèlement à la base des berges. La diminution locale de la vitesse réduit les risques d'érosion et facilite, lorsque les conditions sont favorables le dépôt des sédiments et la croissance de végétation le long des berges (Ouamer Benhadj, M & Bouchelka, H. 1994).

c. Aménagement hydraulique

Les barrages et autres ouvrages hydrauliques sont souvent de très grande taille, nécessitant la maîtrise des débits très élevés sous une forte charge (Ouamer Benhadj, M & Bouchelka, H. 1994).

On doit mettre en place des dispositifs efficaces pour dissiper l'énergie des écoulements à grande vitesse et pour empêcher des affouillements indésirables du lit à l'aval de l'ouvrage.

On utilise couramment les dispositifs suivants:

1- Bassin de dissipation.

2- Sauts de ski.

2. transport solide

2.1. Introduction

Le transport solide est par définition la quantité de sédiment transportée par un cours d'eau, il constitue la seconde phase de l'érosion. Il y a deux modes principaux de transport : le charriage et la suspension, ces deux types ont illustré dans la (figure I.1).

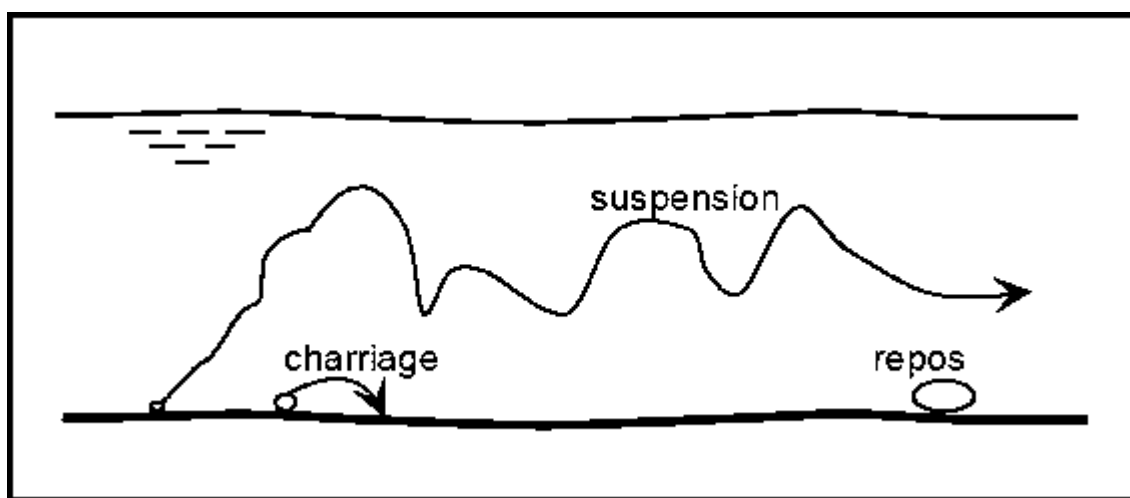


Figure I. 1 modes du transport solide

La répartition entre ces deux types du mécanisme dépend essentiellement de la dimension des matériaux rapportés à la vitesse de l'eau et à la turbulence de l'écoulement.

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

2.2. Introduction au transport solide

2.2.1. Transport solide par charriage

a. Définition

Le charriage désigne le transport sur le fond d'éléments non cohésifs. Les particules se déplacent par un mouvement de roulement ou de glissement au voisinage immédiat du fond du cours d'eau concerné, ou encore par saltation, c'est-à-dire de

succession des petits sauts au cours desquels les particules quittent le lit durant de courtes périodes.

Le transport solide par charriage concerne plutôt les particules grossières, typiquement de diamètre supérieur à 0,5 mm. Les particules plus fines, donc plus légères sont transportées par suspension.

b. Description du phénomène

Sur un lit de matériaux sans cohésion, les grains isolés sont soumis aux forces de pesanteur et aux forces hydrodynamiques.

- ◆ Les forces de pesanteur sont des forces stabilisatrices ou capacité de résistance à l'entraînement.
- ◆ Les forces hydrodynamiques sont des forces déstabilisatrices (traînée et portance), dues à l'écoulement.

La grandeur physique explicative de ce mode de transport « le charriage » est la contrainte hydrodynamique critique « τ_c ».

Les grains constituant l'interface (solide–liquide) ne peuvent être mises en mouvement par l'action du fluide sauf si la contrainte du fond « τ » est supérieur à la contrainte critique « τ_c ». Ce mouvement se traduira par un transport solide sur le fond dans le sens de l'écoulement.

La contrainte sur le fond s'exprime par la formule :

$$\tau = \rho \cdot g \cdot R \cdot J \quad (\text{I.12})$$

avec τ : contrainte sur fond ;

J : la pente de charge régulière de l'écoulement ;

R : Rayon hydraulique de la rivière.

Pour cela, on dit que le transport par charriage est un phénomène à seuil, le début du mouvement revient à comparer directement la force déstabilisatrice due à l'écoulement, à la capacité de résistance au mouvement des matériaux qui tapissent le fond du lit.

c. Pavage du fond

Dans les rivières, avec un fond constitué de matériaux caractérisés par une grande dispersion granulométrique, les grains les plus petits peuvent être déplacés par une certaine vitesse du courant, tandis que les plus gros sont moins facilement emportés, ils sont arrangés en couche d'une épaisseur réduite, protégeant les couches inférieures des sédiments. Cette couche de surface a un effet protecteur sur les couches sous-jacentes. On désigne ce phénomène par le terme de « Pavage du lit ».

Au cours de ce pavage, le courant liquide va avoir tendance à se charger des matériaux correspondant aux granulométries dont le débit critique d'entraînement est dépassé, mais en laissant sur place les plus gros qui vont constituer une couche protectrice qui arrêtera l'érosion.

Lorsque le pavage est terminé, le transport solide s'interrompt.

Il reste que le pavage du lit est un phénomène complexe qui dépend aussi bien du débit et de la profondeur que de la forme du lit et de sa composition granulométrique (Ouamer Benhadj & Bouchelka. 1994).

2.2.2. Transport solide par Suspension

a. Définition

Le transport par suspension est le deuxième type de transport dans un cours d'eau. La charge en suspension constituée de matériaux dont la taille et la densité leur permet dans des conditions d'écoulement déterminées de se déplacer sans toucher le fond du lit. Il concerne les matériaux fins, argiles et colloïdes et quelquefois de silts.

Ces éléments fins sont maintenus en suspension par la turbulence et la quantité de ces matériaux, qui proviennent de l'érosion des bassins versants, due au ruissellement des eaux de pluie.

b. Description du phénomène

La suspension, c'est-à-dire le maintien des particules en mouvement à une certaine distance au-dessus du fond est un phénomène dû uniquement à la turbulence de l'écoulement

Au fur et à mesure que la vitesse du courant s'accroît dans le cours d'eau, l'intensité de la turbulence et l'épaisseur de la couche turbulente s'accroissent également. On arrive finalement à un stade où les particules en saltation atteignent une hauteur au-dessus du fond où les forces ascensionnelles fluctuantes dues à la turbulence dépassent le poids des particules.

À partir de ce moment, les particules ne suivent plus une trajectoire bien définie; au lieu de cela, elles suivent des trajectoires aléatoires dans l'épaisseur du fluide, voir la (figure I.1).

Donc la condition fondamentale du maintien des particules en suspension est par conséquent la production d'énergie turbulente dans le liquide. Les fluctuations transmettent cette énergie aux particules en empêchant aussi leur mouvement vers le fond.

Une formule donnée par W. Kresser, définit le critère d'apparition des phénomènes de suspension qui consistent à définir la vitesse « U » d'écoulement du liquide pour lequel la poussée du liquide sur les grains de diamètre « D » permet la mise en suspension des grains quartzeux de 0,2 à 0,85 millimètres de diamètre dans les écoulements naturels en rivière. Ce critère correspond à la formule:

$$U^2 = 360 \cdot g \cdot D \quad (\text{I.13})$$

Cette équation peut être écrite sous la formule suivante:

$$\tau = 360 \cdot (\gamma \cdot g / C^2) \quad (\text{I.14})$$

En désignant par " τ " la tension tangentielle de l'écoulement qui correspond à l'apparition des phénomènes de suspension, par " γ " le poids volumique du liquide et par " C " le coefficient de Chezy.

avec, $U = C \cdot \sqrt{h \cdot J}$ et $\tau = \gamma \cdot h \cdot J$

En désignant par "h" la hauteur du liquide qui s'écoule et par "J" la perte de charge régulière.

2.2.3. Quelques données sur le transport solide

a. données Algériennes

Les bassins versants du Tell algérien dominés par un climat semi-aride sont caractérisés par une pluviométrie saisonnière et interannuelle irrégulière. Cette irrégularité a un impact direct sur l'action érosive et notamment sur le transport solide en suspension. Ce dernier dépend de plusieurs facteurs dont l'agressivité des averses, l'état du sol et la turbulence de l'écoulement.

Les valeurs de la dégradation spécifique varient d'un bassin à un autre et d'une région à l'autre.

Nous citons par exemple, 1160 (t/km²/an) pour l'oued Mazafran (côtiers algérois), 2300 (t/km²/an) pour l'Isser à Lakhdaria, 490 (t/km²/an) pour oued Soummam à Sidi Aïch, 680 (t/km²/an) pour oued Medjerda à Souk Ahras (Bourouba, M. 1997) et 150 (t/km²/an) pour la Macta au barrage Cheurf (Bourouba, 1998).

Les crues de l'automne et du printemps sont responsables de l'essentiel du transport solide. En effet, pendant l'été connu pour ces chaleurs intenses, le sol se dessèche, se fissure, se fragmente et voit son couvert végétal réduit, ce qui permet aux premières averses de l'automne de laver le sol de ces éléments fins détachés. Pendant le printemps qui succède à la saison hivernale froide et pluvieuse, les crues coïncident avec des versants saturés et déblayés. L'activité érosive dépend alors des mouvements des masses et des sapements des berges qui se produisent dans les zones mal protégées au bas des versants. On assiste alors pendant ces crues à une croissance rapide du volume ruisselé et de la turbidité. Ces périodes des crues de l'automne et du printemps représentent une courte période de forte érosion qui dure entre 2 et 4, mois mais responsable de la majeure partie du transport solide. Le reste de l'année est à érosion faible (Terfous al. 1999) ; (Bourouba, 1997) ; (Bourouba, 1998).

Annuellement, le comportement morphologique irrégulier des bassins versants algériens passerait d'une année à l'autre d'un régime méditerranéen à érosion élevée

et à écoulement abondant au régime de la zone tempérée caractérisée par un écoulement abondant et une érosion faible ou encore au régime de la frange aride à érosion élevée et à faible écoulement (Bourouba, 1998).

b. Données mondiales

Tableau I. 2 : Quelques données mondiale sur transport solide

Pays	Rivière	Surface du bassin versant (Km ²)	Volume spécifique moyen de transport solide (t/km ² /an)
Chine	Jaune	715000	2640
	Yang	1025000	491
	King	57000	7190
Inde	Domodar	200000	1400
	Kosi	61000	2800
	Mohunadi	132000	465
Iran	Sefid rud	55000	750
Soudan	Abbara	1000000	650
Afrique du nord	Agrioum	657	3400
	Sebou	3470	320
U.S.A	Colorado	35000	735
	Mississippi	2977000	50
Italie	Pô	53500	300
France	Isère	11750	615
	Eroc	990	700
	Durance	3580	150

3. Alluvionnement des retenues

3.1. Généralités

3.1.1. Modification artificielle

Laissées à leurs cours naturels, les rivières transportent progressivement jusqu' à la mer des quantités importantes de sédiments arrachés aux versants par ruissellement des eaux de pluie.

En aménageant ces cours d'eau par la construction des barrages on modifie le transit naturel de ces sédiments qu'on piège dans les eaux calmes des retenues qu'elles comblent progressivement avec le temps. À long terme, cela pose de graves problèmes pour le maintien et la préservation du potentiel hydraulique mobilisé à un prix de revient élevé.

3. 1.2. Apports solides aux retenues

Les sédiments des cours d'eau sont transportés sous forme de charriage et en suspension.

À l'entrée d'une retenue, le transport de ces derniers diminue par suite de la chute brutale de la vitesse du cours d'eau ; les plus grossiers s'y déposent immédiatement, quant aux éléments fins, plus légers, ils continuent leur trajet en suspension jusqu'à se déposer en eaux mortes où ils se décantent lentement.

Cette décantation s'effectue là où en général les vitesses deviennent nulles, soit dans les sections mouillées les plus larges au pied amont du barrage.

3.2. Les facteurs influencent sur l'alluvionnement des retenues

3.2.1. Influence de la topographie de la retenue

La topographie de la retenue modifie l'envasement en modifiant les conditions de l'écoulement des courants. Cet effet est peu étudié et difficile à quantifier, mais déterminant pour la localisation des dépôts, tels que :

- Une forme tortueuse de la retenue pousse les sédiments vers l'amont.
- Un élargissement des vallées est le siège de dépôt et de disparition des courants de densités.

➤ Les méandres créent des zones d'eaux calmes qui favorisent les dépôts.

3.2.2. Influence du taux de renouvellement de la retenue

Le taux de renouvellement de la retenue (rapport : capacité/apport liquide annuel) à une grande importance pour le mécanisme de l'envasement ; il détermine le pourcentage des sédiments entrants dans la retenues et piégé, «efficacité du piégeage».

3.2.3. Influence du mode d'exploitation du réservoir

Un marnage important peut avoir deux effets :

➤ D'une part, la remise en mouvement de sédiment dans la partie découverte de la retenue, où la rivière va en général retrouver son lit d'origine et creuser son chenal parmi les sédiments précédemment déposés, de plus des talus glissent du fait de l'érosion progressive due au rétablissement du cours d'eau.

➤ D'autre part, dans la partie de la retenue restant immergée, la baisse des pressions interstitielles provoque des ruptures d'équilibre des sédiments déposés qui peuvent se manifester par des coulées boueuses ou des glissements de talus selon leur état de consolidation.

Ainsi, l'exploitation de la retenue à un niveau bas déplace l'alluvionnement vers l'aval. Ceci explique que dans la pratique on n'observe pas toujours un classement granulométrique régulier en fonction de la distance du barrage.

3.2.4. Influence de la présence d'affluents

Des affluents se jetant dans la retenue perturbent le mécanisme classique de l'envasement, surtout s'ils sont eux mêmes chargés en sédiments.

3.2.5. Influence de la présence de végétation

La végétation existant au fond de la retenue peut retenir une grande partie des sédiments et empêche probablement le maintien de tout courant de densité, en raison de la rugosité ainsi créée. De plus elle accélère la consolidation des argiles par le drainage naturel.

3.3. Effet de l'alluvionnement des retenues

Les principaux facteurs dont dépend l'alluvionnement des retenues, à savoir; les apports solide, le temps de rétention de ces apports, la densité des dépôts, le volume des sédiments déposés réduisent la capacité du stockage disponible et affectent la durée de vie de la retenue. Ce qui pose un problème supplémentaire aux ingénieurs chargés des approvisionnements en eau, qui comptent sur la capacité des réservoirs pour la stocker pendant le cycle pluviométrique annuel.

Aussi, ce problème a des effets appréciables sur la rentabilité des schémas d'aménagement proposés. En effet, des eaux très chargées en matériaux solides compromettent le bon fonctionnement des prises d'eau, des réseaux d'irrigation, des ouvrages hydroélectriques...

Ainsi, le phénomène d'envasement des retenues est sans aucun doute, la conséquence la plus dramatique de l'érosion des bassins versants et c'est aussi la cause principale de la réduction de la capacité des réservoirs de notre pays, où l'eau, de part son insuffisance et sa mauvaise répartition constitue un facteur limitant notre développement économique.

3.4. Maîtrise de l'alluvionnement des retenues

Parmi les procédés de lutte contre l'alluvionnement des réservoirs sont schématiquement préconisés par deux aspects : Prévention et dévasement.

Le premier aspect consiste à empêcher l'arrivée de sédiments dans la retenue, il s'agit d'agir à la source même du débit, en diminuant l'action du ruissellement par le reboisement du bassin versant et la plantation de banquettes (voir paragraphe I.5). Le second aspect utilisé est d'une part, l'évacuation des sédiments par vidange de fond et l'emploi des courants de densité par soutirage sélectif, et d'autre part le dévasement par moyen mécanique. Ce dernier est plus fréquemment utilisé, notamment lorsque les consignes d'exploitation interdisent toute perte d'eau ; son application à un type de barrage déterminé nécessite une connaissance approfondie du comportement des sédiments fins dans le mécanisme de l'envasement. Ce dernier reste en fait l'une des études les plus complexes en raison de la multiplicité

des types de retenues et les principaux facteurs qui peuvent influencer sur l'envasement.

4. Conclusion

Depuis longtemps, la description qualitative des formes d'incision et des formes d'accumulation a montré l'importance du jeu de l'érosion dans de nombreuses régions du monde, en particulier dans les pays méditerranéens. Une nécessaire quantification devrait être tentée grâce à des méthodes précises et économiques. Des essais ont été faits à l'échelle du bassin versant. En effet, les oueds de barrage présents dans certains bassins versants peuvent fournir des inductions sur la vitesse et l'ampleur de la sédimentation.

Chapitre II

Présentation de la région d'étude

Chapitre II

Présentation de la région d'étude

1. Introduction

Le débit liquide et le débit solide sont les deux entités qui vont nous servir dans notre travail. C'est pour cela, avant de présenter la région d'étude, il est utile de présenter ces deux facteurs.

1.1. Définition du débit liquide

C'est la masse d'eau traversant une section donnée d'un cours d'eau par unité de temps.

1.1.1. La mesure des débits Liquides

Pour mesurer le débit d'un écoulement naturel (cours d'eau, canal, dérivation...), il existe quatre grandes catégories de méthodes.

- a) Les méthodes "volumétriques" (ou jaugeage capacitif) permettent de déterminer le débit directement à partir du temps nécessaire pour remplir d'eau un récipient d'une contenance déterminée. Ces méthodes ne sont généralement pratiquées que pour des débits très faibles, quelques litres par seconde au plus.
- b) Les méthodes « d'exploration du champ de vitesse » consistent à déterminer la vitesse de l'écoulement en différents points de la section, tout en mesurant la surface de la section mouillée. Ces techniques nécessitent un matériel spécifique (moulinet, perche...) et un personnel formé à son utilisation.
- c) Les méthodes « hydrauliques » tiennent compte des forces qui régissent l'écoulement (pesanteur, inertie, viscosité...). Ces méthodes obéissent aux lois de l'hydraulique.
- d) Les méthodes « physico-chimiques » prennent en compte les variations de certaines propriétés physiques du liquide (concentrations). Ces méthodes consistent à injecter dans un cours d'eau un corps en solution, et suivre l'évolution de sa concentration en fonction du temps .ces méthodes appelées aussi méthodes

« par dilution » ou encore « chimique »

Toutes ces méthodes de mesures des débits nécessitent généralement un régime d'écoulement fluvial, sauf les jaugeages chimiques, qui sont appropriés en cas d'écoulement torrentiel (Benalouane, 2005).

1.2. Définition du débit solide

Il y a plusieurs définitions existantes :

- Dictionnaire français d'hydrologie de surface (Roche, 1989):

Poids total des matériaux transportés par un cours d'eau, d'une manière ou d'une autre, passant à travers une section par unité de temps. (Généralement exprimée en $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$) ;

- Dictionnaire de l'eau (AQTE, Québec, 1981):

Masse des sédiments transportés par unité de temps à travers la section transversale d'un cours d'eau ;

- Glossaire international d'Hydrologie (1992):

Débit de matériaux transportés à travers une section donnée d'un cours d'eau.

1.3. Mesure du débit solide

En pratique, on mesure une concentration des matières en suspension (MES), qui correspond à la quantité des matériaux en suspension recueillie à travers une membrane poreuse (la taille moyenne des pores est en général de $0,2 \mu\text{m}$). Elle s'exprime en Kilogrammes par litre d'eau brute.

La méthode la plus rigoureuse pour obtenir une quantification de la charge solide en suspension consiste à procéder, une intégration des différentes concentrations et des vitesses sur plusieurs verticales. Cette technique nécessite un matériel de prélèvement adapté aux caractéristiques de la section de mesure (Benalouane, 2005).

1.3.1. Matériel de prélèvements

Il existe un matériel de prélèvements plus ou moins automatisé, ce matériel peut être classé en trois catégories principales :

➤ Les préleveurs instantanés

Ils sont constitués d'un récipient largement ouvert qui peut se refermer de façon quasi instantanée au moyen d'une commande appropriée.

➤ Les préleveurs à pompe

Un embout formé d'un tube métallique faiblement coudé, fixé sur un lest ou une perche, permet d'effectuer à l'aide d'un tuyau flexible et d'une pompe des prélèvements en divers points de la section des mesures.

➤ Les préleveurs par intégration

Ils prélèvent des échantillons durant un intervalle de temps suffisamment long pour atténuer les fluctuations de concentrations. Ils peuvent selon les modèles fonctionner point par point ou par intégration le long d'une verticale. Dans ce dernier cas l'échantillon recueilli permet de mesurer la concentration moyenne pondérée par les débits sur toute une verticale. Le plus simple d'entre eux est constitué d'une bouteille à large col fixée à une perche, à travers le bouchon passe un ajustage d'admission qui doit être dirigé face au courant, tandis qu'un deuxième conduit dirigé vers l'aval permet à l'air de s'échapper. Des systèmes obéissant au même principe peuvent être installés sur des saumons de lestage (Benalouane, 2005).

1.3.2. Calcul du débit solide en suspension

En considérant la section S d'un cours d'eau de largeur L, chaque verticale V peut être définie par son abscisse l (distance à l'une des 2 rives), et sa profondeur totale P. Si en un point d'une verticale V situé à la profondeur p sont mesurées à la fois la vitesse du courant V et la concentration C_m de matériaux en suspension, le débit solide sur la surface ds de la section S s'écrit :

$$q_S = C_m \cdot V \cdot dS \quad (\text{II.1})$$

Le débit solide total sur l'ensemble de la section S s'obtient par intégration :

$$Q_s = \iint_S q_s = \iint C_m \cdot V \cdot dS \quad (\text{II.2})$$

avec : Q_s : débit solide du cours d'eau [kg/s].

La concentration moyenne dans la section est définie par le rapport :

$$C_m = Q_s / Q_l, Q_l : \text{étant le débit liquide total sur la section } S.$$

Cette méthode pour mesurer la quantité des sédiments transportés par un cours d'eau est évidemment très coûteuse, les mesures sont donc généralement simplifiées. Elles sont surtout utiles pour valider les protocoles d'échantillonnages des réseaux de surveillance du transport en suspension.

1.3.3. Mesure de la turbidité

La turbidité correspond à la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de particules en suspension, elle se mesure en faisant passer un faisceau lumineux à travers l'échantillon à tester et en déterminant la lumière qui est diffusée par les particules en suspension. Cette mesure nécessite en générale un calibrage préalable. Les appareils de mesure de turbidité (turbidimètres) sont très nombreux sur le marché (Benalouane, 2005).

2. Cadre de l'étude

Toutes ces mesures ont été effectuées dans un bassin versant de lisse.

Le bassin versant est la surface drainée par un réseau hydrologique en amont d'un point (exutoire), par où transitent les produits issus de l'érosion.

Il est caractérisé par plusieurs paramètres, la superficie, le réseau de drainage, le climat, la topographie, la lithologie et l'occupation du sol.

- La superficie : C'est l'espace compris entre les crêtes topographiques qui se rejoignent à l'exutoire ;
- Le réseau de drainage : Représenté par les cours d'eau ;
- Le climat : Caractérisé surtout par les précipitations ;
- La topographie : Dénivelée, valeur des pentes, forme et régularité des versants ;

- La lithologie : Nature et surface d'affleurement des différentes roches formant le substrat ;
- L'occupation du sol : Nature et pourcentage des types de végétation.

Le bassin versant étudié est celui de l'Isser (code 09), (figure II.1).

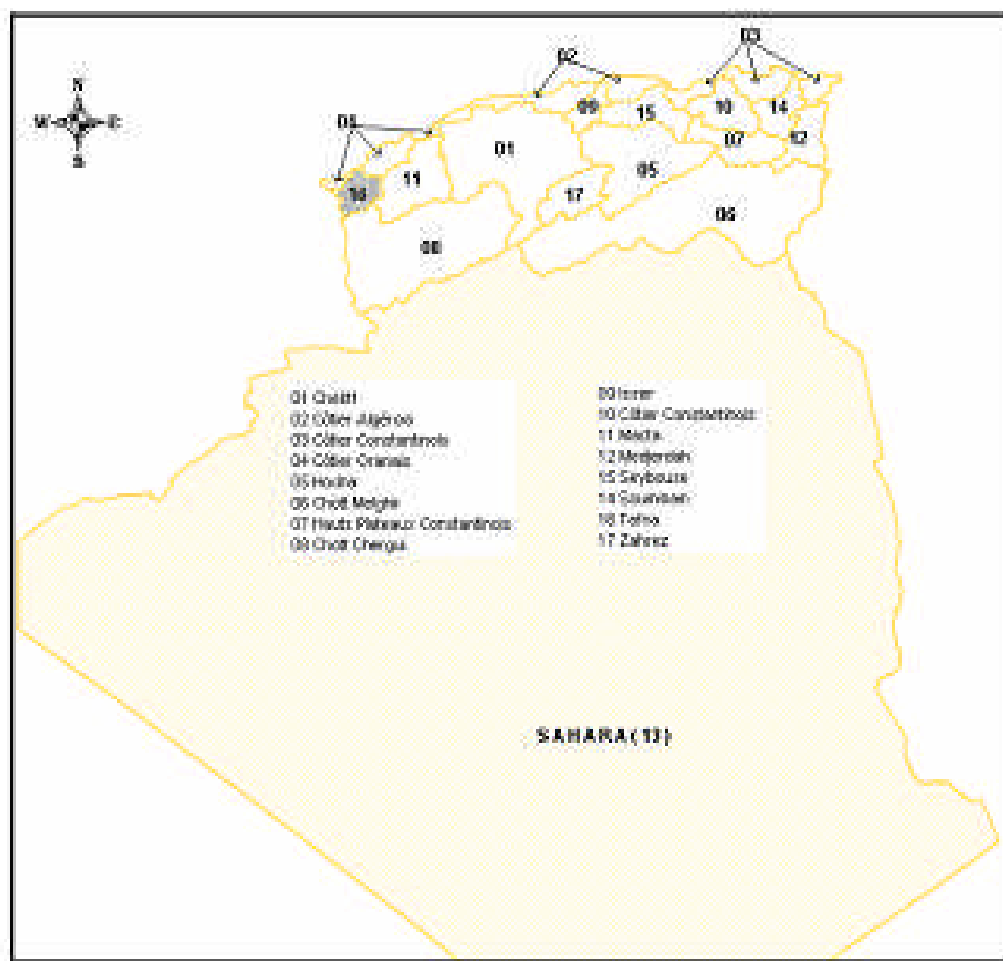


Figure II. 1 Grands bassins versants du nord Algérien

Ce bassin versant est situé à environ 70 Km au sud Est d'Alger et draine une superficie de 4126 Km², et se situe entre les latitudes 35°90' et 36°85' Nord et les longitudes 2°88' et 3°95' (figure II.2).

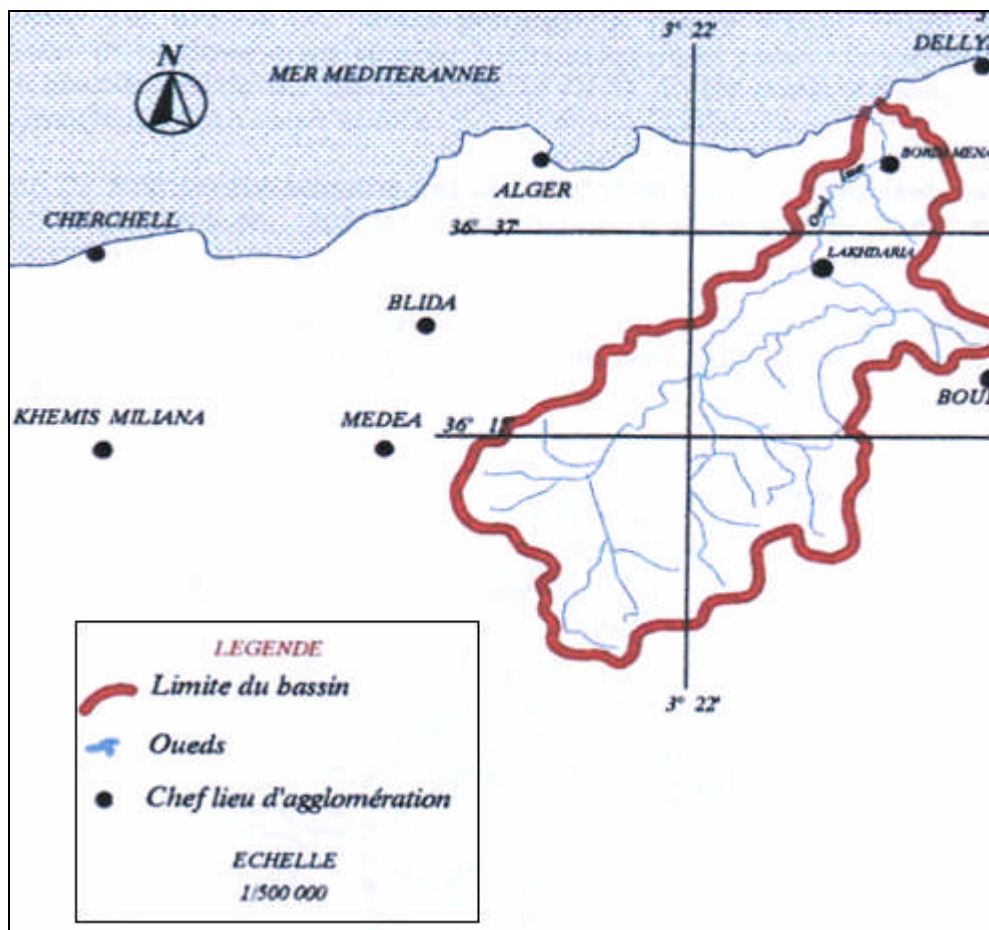


Figure II. 2 Situation géographique du bassin versant de l'Isser

Le bassin est drainé par deux principaux cours d'eau: Oued Mellah et Oued Isser, et dispose d'un réseau hydrographique assez dense et couvrant une très grande partie du bassin (Figure II.3). Cette caractéristique favorise le phénomène du transport solide.

Comme de nombreux bassins versants algériens, ce bassin est caractérisé par une irrégularité du régime pluviométrique et le climat y est considéré comme semi-aride.

Sur le cours d'eau supérieur, en amont de la station de « Lakhdaria », la pente moyenne de l'oued est de 4m/Km sachant qu'à l'aval de « Beni amrane » la pente est de 1m/Km.

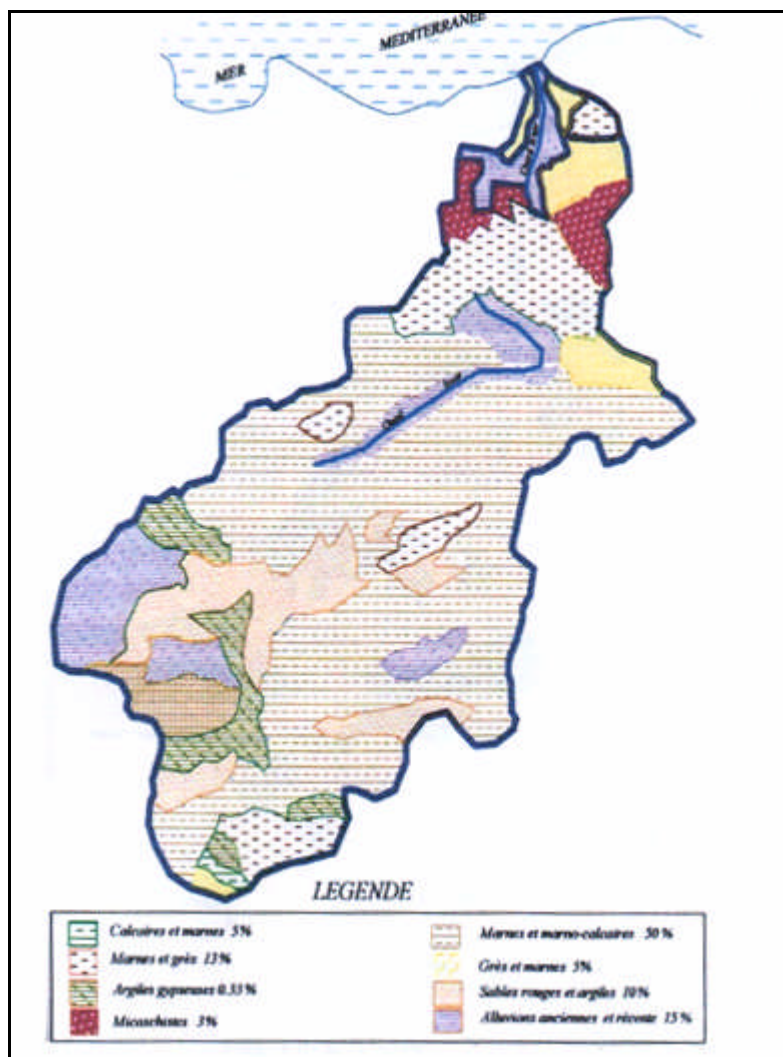


Figure II. 4 Lithologie du bassin versant de l'Isser

En ce qui concerne le couvert végétal, le bassin est caractérisé par une faible densité végétale, il représente environ 20% de la superficie totale, ce qui accélère le phénomène de l'érosion (figure II.5)

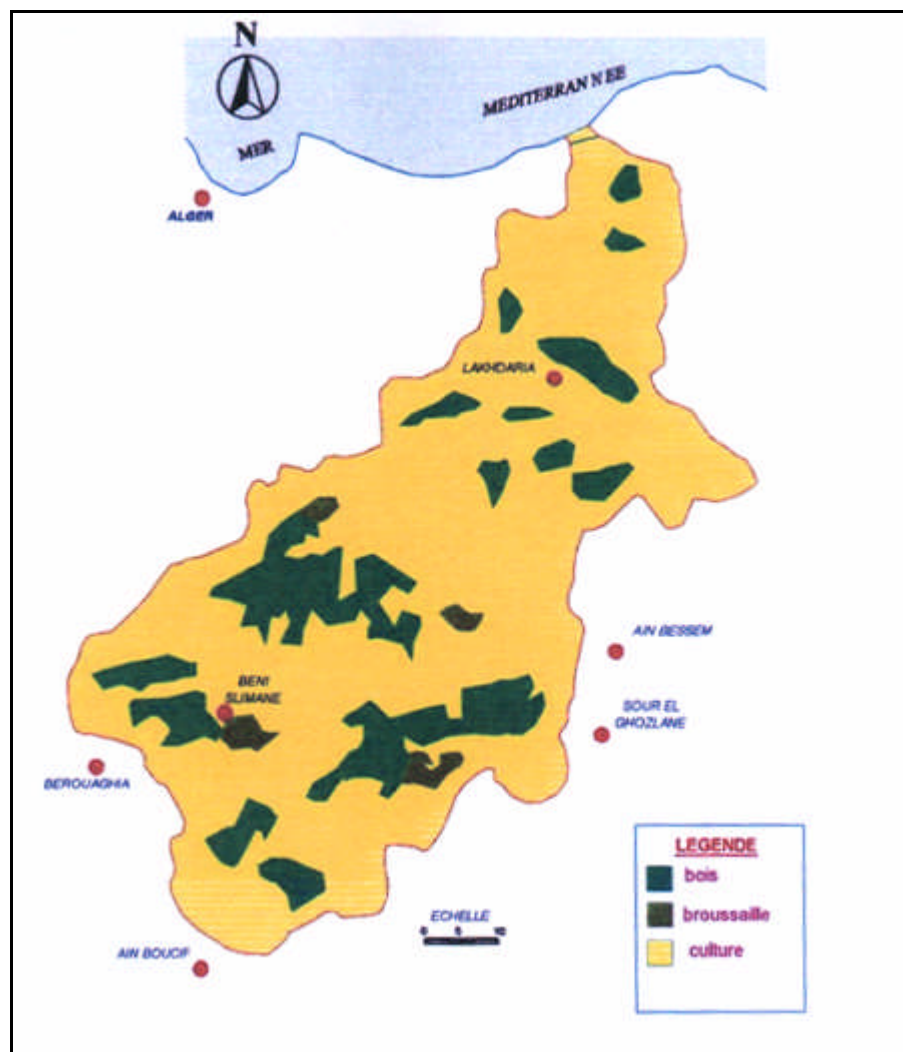


Figure II. 5 Couvert végétal de l'Isser

3. Barrage de Beni-Amrane

Puisque la deuxième partie de notre travail est basée aussi sur les données du barrage de Beni-Amrane, il est rentable de présenter ce dernier. Majoritairement le barrage est constitué de deux parties, barrage poids déversant et aile en terre. Le barrage mis en service en 1988, il participe à l'alimentation en eau de la wilaya d'Alger. Sa Capacité initiale est $15,60 \text{ Mm}^3$ dont $11,6 \text{ Mm}^3$ utiles.

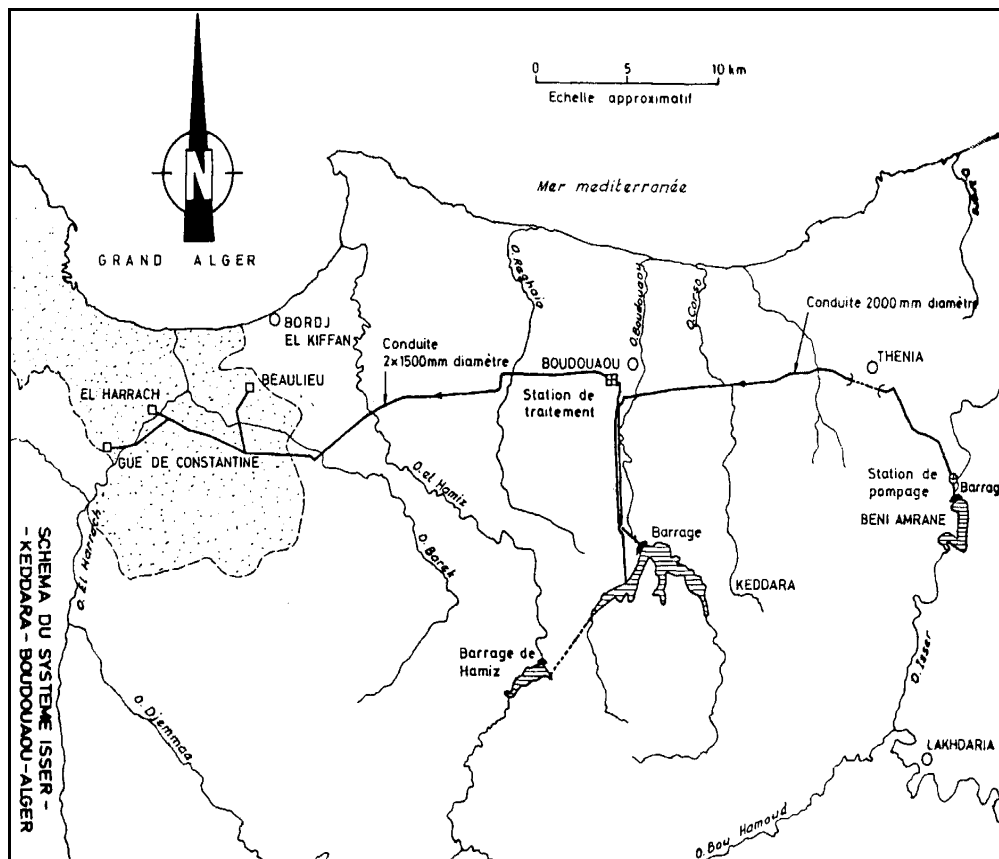


Figure II. 6 Carte topographique du bassin de l'Isser , Keddara, Boudouaou et Alger

4. Base de données

Afin de présenter notre travail qui est basé sur le bassin de l'Isser, une série de données composée de plusieurs paramètres a été utilisée. Cette série nous a été gracieusement fournie par l'ANRH.

Ces paramètres sont les suivants :

- Débit liquide : $Q_l(m^3/s)$;
- Débit solide : $Q_s(Kg/s)$;
- Concentration des matières en suspension : $C_s (g/l)$.

5. Conclusion

Et pour finir ce chapitre, et d'après les informations topographiques, géologiques,...etc nous pouvons dire que le bassin de l'Isser est une région qui favorise l'érosion, mais ne favorise pas le charriage. Donc la suspension joue un rôle très important.

Chapitre III

Formulation du phénomène

Chapitre III

Formulation du phénomène

1. Introduction

Après avoir présenté la région d'étude, nous passons maintenant à la phase la plus importante dans ce travail. Elle est subdivisée en deux parties, la première consiste à étudier la dynamique des cours d'eau, c'est-à-dire les sédiments transportés par charriage dans les oueds.

Dans la deuxième partie, nous nous intéressons à la décantation des sédiments maintenus en suspension dans une retenue.

2. Dynamique des cours d'eau

2.1. Détermination du volume charrié

Le but de ce travail est d'évaluer la quantité des sédiments transportés par charriage dans une rivière. Pour cela, il faut connaître la pente I , le diamètre D des pierres et le coefficient de rugosité K (coefficient de Strickler).

La loi $G_S(Q)$ est sous la forme suivante :

$$G_S = g_S \cdot L \quad (\text{III.1})$$

avec, G_S : Débit solide total en (m^3/s) ;

g_S : Débit solide unitaire en (m^2/s), il est décrit par la relation suivante:

$$g_S = \lambda(\tau - \tau_0) \quad (\text{III.2})$$

Si le poids spécifique apparent ϖ des pierres est connu, on peut calculer :

$$\tau_0 = 0.047 \cdot \varpi \cdot d \quad (\text{III.3})$$

avec, τ : une variable en fonction de Q , qui est exprimée par la formule suivante (formule de rugosité) :

$$\tau = \varpi \cdot h \cdot I \quad (\text{III.4})$$

avec, h une fonction de Q (d'après les lois des écoulements à surface libre).

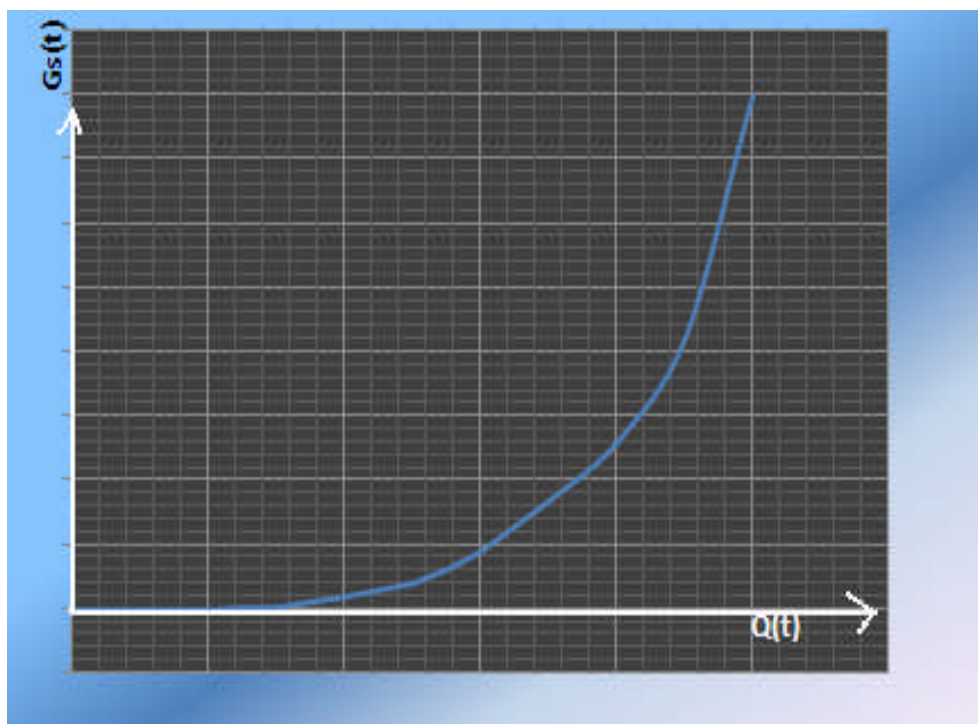


Figure III. 1 Variation (débit solide –débit liquide)

Les données hydrologiques nous montrent que τ et Q varient dans le même sens pendant une période de temps donnée, ce qui est démontré aussi par la formule de Strickler, donc on peut dire que G_s et Q varient aussi dans le même sens.

La connaissance, d'une part de la courbe $Q(t)$ sur une période donnée, d'autre part de la courbe $G_s(Q)$ (figure III.1 ci-dessus) permet de déterminer le volume solide total que peut charrier la rivière pendant cette période. Ce volume est illustré sur la figure suivante (Figure III.2).

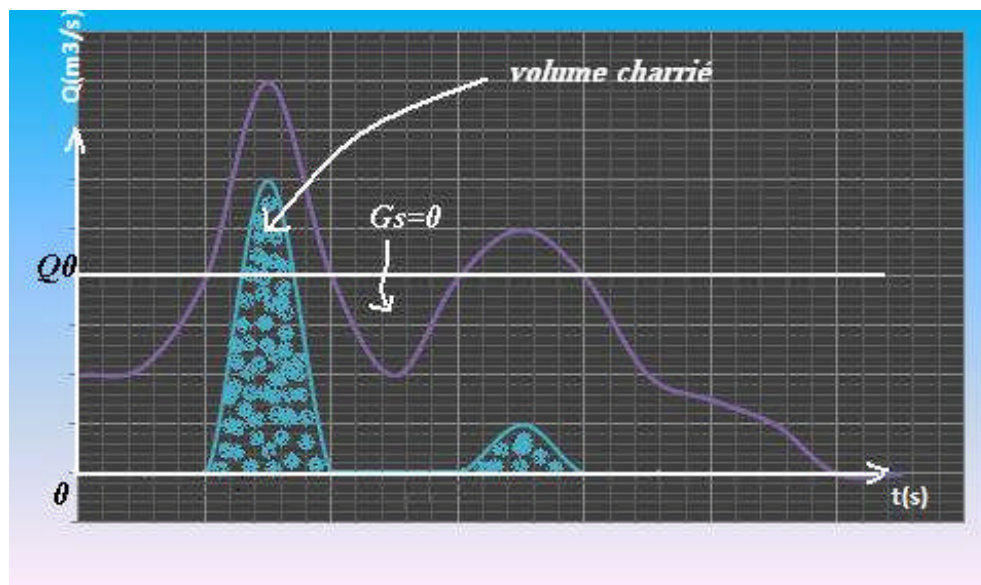


Figure III. 2 Illustration du volume charrié par un oued

On trace sur le graphe $Q(t)$ une parallèle à l'axe du temps ayant pour ordonnée Q_0 . Pour tous les temps t qui correspondent à des valeurs de Q inférieures à Q_0 il n'y a pas de charriage ($G_s=0$).

Pour les autres valeurs de t , on peut tracer simplement le débit solide G_s correspondant à l'aide de la courbe $G_s(Q)$.

La courbe $G_s(t)$ permet de déterminer le volume solide total V_s que peut charrier la rivière en une période T :

$$V_s = \int_0^T G_s \cdot dt \quad (\text{III.5})$$

Ce volume est représenté graphiquement par la surface hachurée.

2.2. Signification du volume charrié

L'hydrologie donne le débit Q d'une rivière. L'hydraulique et la loi des transports solides permettent, comme nous venons de la voir de déterminer V_s .

Le volume des alluvions que doit transporter, en une période une rivière est déterminé par les conditions géologiques du bassin; soit V_s' ce volume.

- ✓ $V_s' > V_s$: il y a dépôt
- ✓ $V_s' < V_s$: il y a érosion
- ✓ $V_s' = V_s$: le régime stable.

3. Décantation des sédiments

à l'entrée du réservoir (la retenue) arrive un débit $Q(t)$ avec une concentration en suspension $c(t)$, le débit solide amont est donné par la formule suivante :

$$Q_S = c(t) \cdot Q_L \quad (\text{III.6})$$

Les hypothèses de l'écoulement:

- ☞ écoulement unidimensionnel
- ☞ les paramètres de la vitesse et la concentration dans une section (éventuellement courbe), orthogonale aux lignes de courant, section désigné par profil repéré par l'abscisse curviligne x .

La section du profil (section mouillée) est $S(x)$, si $Q(x, t)$ est le débit dans ce profil, la vitesse est donc :

$$V(x, t) = \frac{1}{S(x, t)} \cdot Q(x, t) \quad (\text{III.7})$$

En admettant que les particules solides sont emportées longitudinalement sans glissement, leur vitesse longitudinale est $V(x, t)$ à leur passage dans le profil d'abscisse x , mais elles ont une vitesse de chute qui dépend de leur taille.

Admettons que cette vitesse de chute soit celle donnée par la formule de stokes :

$$V_c = \frac{g \cdot D^2}{18 \cdot \nu} \left(\frac{\rho_s}{\rho} - 1 \right) \quad (\text{III.8})$$

avec, V_c : la vitesse de chute des particules ;

D : diamètre des grains ;

ρ_s : masse volumique des grains ;

ρ : masse volumique de l'eau ;

g : la gravité.

3.1. Formule de la hauteur d'eau claire

Dans cette partie, nous allons étudier la variation de la hauteur d'eau clair en fonction de la largeur du réservoir (la retenue). La formule initiale donnant cette hauteur est :

$$h_c = \frac{\Omega(x)}{S_c} \quad (\text{III.9})$$

Comme S_c , section donnée par la formule :

$$S_c = \frac{Q_c}{V_c} \text{ Donc } h_c = \frac{\Omega(x)}{Q/V_c} \quad (\text{III.10})$$

avec, V_c : Vitesse de chute. D'où:

$$h_c = \frac{g \cdot D^2}{18 \cdot \nu} \left(\frac{\rho_s}{\rho} - 1 \right) \cdot \frac{\Omega(x)}{Q_c} \quad (\text{III.11})$$

avec, $\Omega(x)$: le volume compris entre l'entrée du réservoir et le profil d'abscisse curviligne x .

Il reste la détermination de la formule qui donne $\Omega(x)$.

En supposant que le réservoir est tronconique et que le débit est constant, nous avons :

$$\Omega(x) = \frac{x}{3} (S_0 + \sqrt{S_0 \cdot S_x} + S_x) \quad (\text{III.12})$$

Donc la hauteur d'eau claire est donnée par la formule :

$$h(x) = \frac{g \cdot D^2}{54 \cdot \nu \cdot Q} \left(\frac{\rho_s}{\rho} - 1 \right) \cdot x \cdot (S_0 + \sqrt{S_0 \cdot S_x} + S_x) \quad (\text{III.13})$$

3.2. Estimation de la masse déposée

Dans cette partie, nous nous intéressons beaucoup plus à la concentration des sédiments $c(t)$, elle est supposée homogène à l'entrée. Pendant le temps dt , il rentre :

$$C(t) \cdot dt \cdot \frac{S(y)}{S_0} \cdot Q \quad (\text{III.15})$$

Les particules contenues dans la tranche dy située à la hauteur y vont se déposer à la distance x telle que :

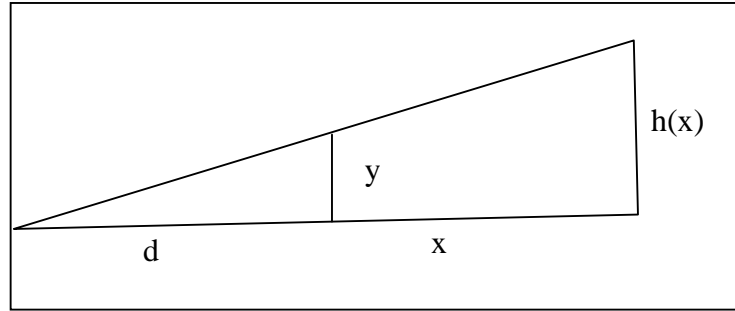


Figure III. 3 :Variation de h (théorème de thalis)

$$h_c(x) = y \cdot \frac{x+d}{d}, \quad S_x(x) = S_0 \left(\frac{x+d}{x} \right)^2 \quad (\text{III.16})$$

Soit :

$$y \cdot \frac{x+d}{d} = \frac{g \cdot D^2}{54 \cdot v \cdot Q} \left(\frac{\varrho_s}{\varrho} - 1 \right) \cdot x \cdot (S_0 + \sqrt{S_0 \cdot S_x} + S_x) \quad (\text{III.17})$$

D' où la formule devient :

$$y = \frac{g \cdot D^2}{54 \cdot v \cdot Q} \left(\frac{\varrho_s}{\varrho} - 1 \right) \cdot \frac{x \cdot d}{x+d} \cdot (S_0 + \sqrt{S_0 \cdot S_x} + S_x) \quad (\text{III.18})$$

A dy correspond un dx , sur la distance dx entre deux profils, il tombera la masse solide :

$$C(t) \cdot \frac{dt}{S_0} \cdot Q \cdot \frac{ds}{dy} \cdot dy \quad (\text{III.19})$$

Et si le débit reste constant tout au long du graphe $C(t)$, la masse accumulée entre x et dx sera:

$$dm = \frac{Q}{S_0} \left(\int_0^T C(t) \cdot dt \right) \cdot \frac{ds}{dy} \cdot dy \quad (\text{III.20})$$

Si on suppose que la section d'entrée est grossièrement rectangulaire alors :

$$\frac{dm}{dx} = \frac{g \cdot D^2}{54 \cdot v} \left(\frac{\varrho_s}{\varrho} - 1 \right) \cdot \left(\frac{2}{\sqrt{S_0}} \cdot \sqrt{S(x)} + \frac{S_0}{S(x)} \right) \cdot \left(\int_0^T C(t) \cdot dt \right) \quad (\text{III.21})$$

3. Organigrammes de calculs

3.1 Organigramme de calcul pour le volume charrié

Le volume charrié est donné par l'organigramme suivant :

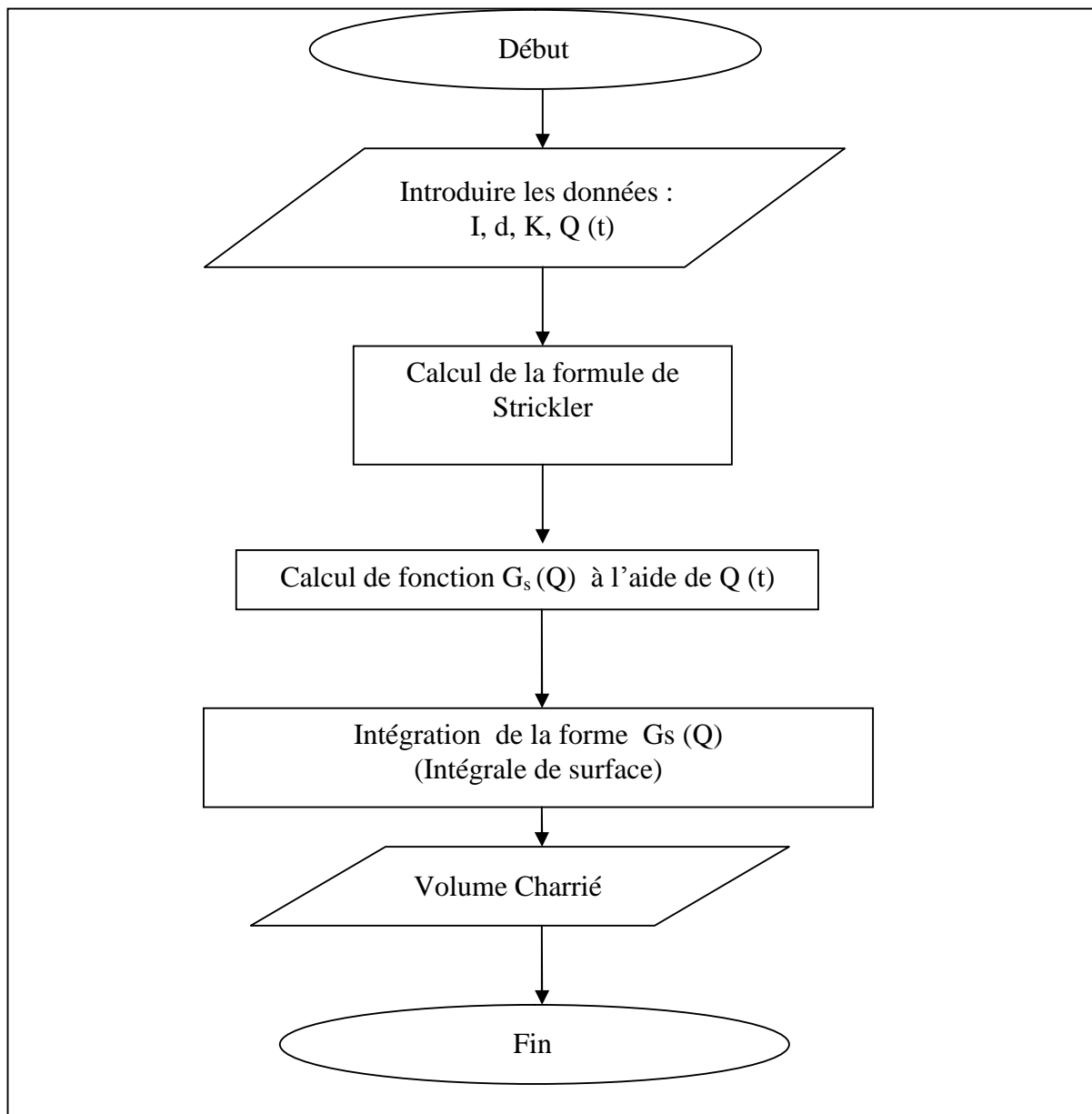


Figure III. 4 : Organigramme de calcul de volume charrié

3.2. Organigramme de calcul de la masse décantée

La masse décantée est donnée par l'organigramme suivant :

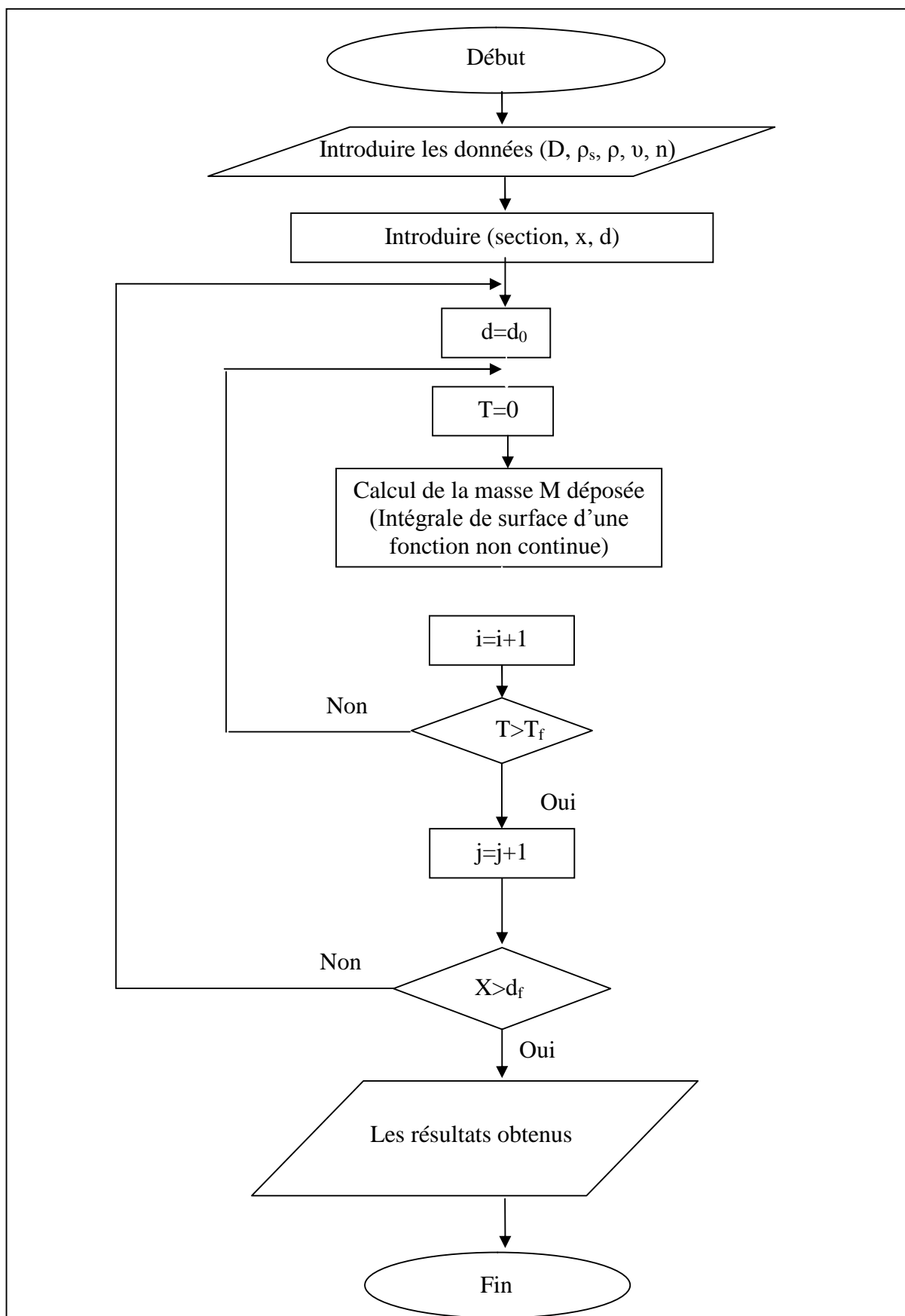


Figure III. 5 :Organigramme de calcul de la masse décantée

5. Conclusion

Pour clore ce chapitre, nous dirons que la première partie est basée sur les données hydrologiques et les données géologiques du bassin versant, c'est-à-dire (le débit liquide, solide, la nature de la roche ainsi que la pente de la rivière).

La deuxième partie est basée sur la concentration des particules et le lever topographique de la retenue. Dans cette partie, il y a une hypothèse prépondérante (réservoir tronconique) grâce à laquelle nous sommes arrivés à la formule (III.21).

Chapitre IV

Résultats et interprétations

Chapitre IV

Résultats et Interprétations

1. Introduction

Dans cette partie nous allons commenter les résultats obtenus par les deux modèles qui ont été présentés dans le chapitre précédant. Le premier est un modèle physique basé sur une approche purement graphique en vue d'évaluer la quantité des sédiments transportés par charriage par un cours d'eau (la dynamique des cours d'eau). Le deuxième est basé sur l'équation de la vitesse de chute des particules maintenues en suspension dans une retenue (la retenue du barrage de Beni-Amrane).

Les deux modèles sont basés sur les données hydrologiques, géologiques du bassin de l'Isser et la topographie de Beni-Amrane.

2. Volume charrié par l'oued

Le tableau suivant donne le volume charrié par l'oued de l'Isser pendant les dernières années du siècle passé. Ces volumes ont été trouvés par le premier modèle (dynamique des cours d'eau). Ce dernier est basé sur les données hydrologiques et géologiques du bassin versant.

Tableau IV. 1 : Volumes des sédiments charriés par l'Isser

Année	1990	1992	1998	2000
Volume charrié par l'oued d'Isser (t/Km ² /an)	0.560	0.705	0.778	0.875

3. Evaluation de la masse décantée

Les graphes que nous allons voir par la suite sont basés sur les distances entre la section d'entrée et n'importe quelle section située dans la retenue du barrage de Beni-Amrane. C'est pour cela qu'il est préférable de présenter le plan topographique (Figure IV.2) avant de présenter ces graphes :

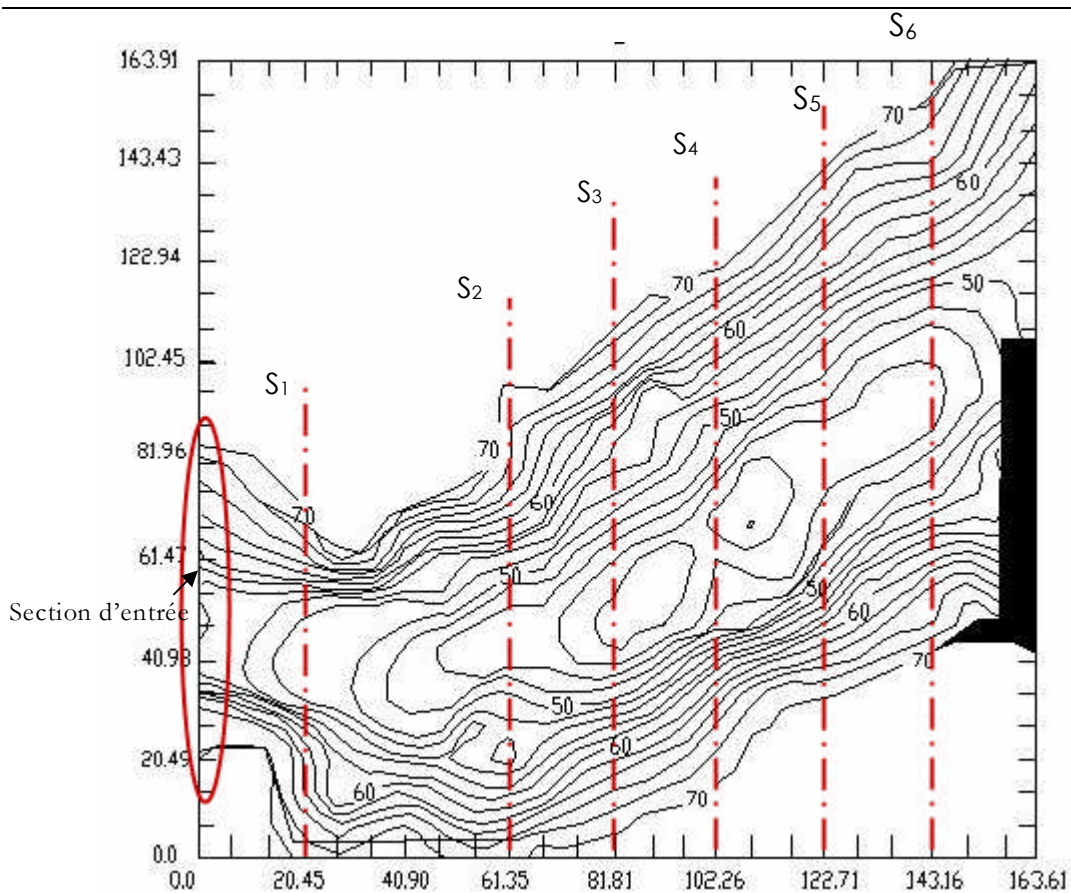


Figure IV. 1 : Carte topographique de la retenue de Beni-Amrane

La 1^{ère} série des graphes étudie la variation de la masse décantée des particules solides maintenues en suspension dans une section donnée (sections, S₁, S₂, S₃..... présentées sur le plan au-dessus) en fonction de la distance séparant cette section de la section d'entrée, pour des durées de temps constantes, c'est-à-dire nous fixons le temps dans l'équation (III.21) et nous faisons varier la longueur de la retenue.

Dans la deuxième série, nous fixons la distance et nous varions le temps (toujours dans l'équation (III.21)).

3.1. Variation de la masse décantée en fonction de la distance

Les figures IV.2 ÷ IV.7 donnent la variation de la masse décantée des particules solides maintenues en suspension dans une section donnée en fonction de la distance séparant cette section de la section d'entrée pour une durée fixe.

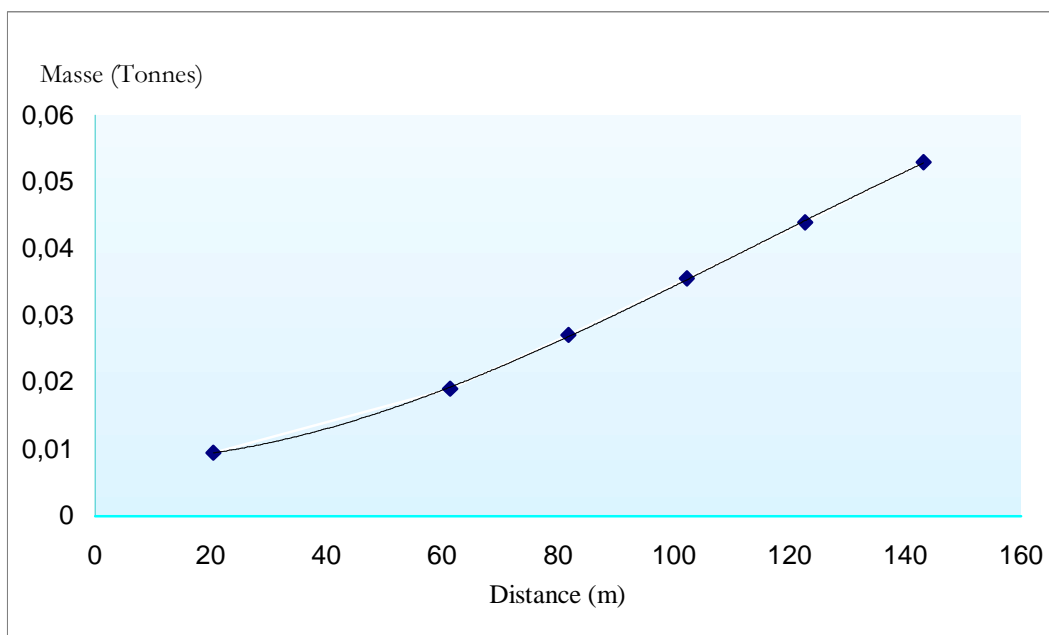


Figure IV. 2 Masse décantée durant 60 jours

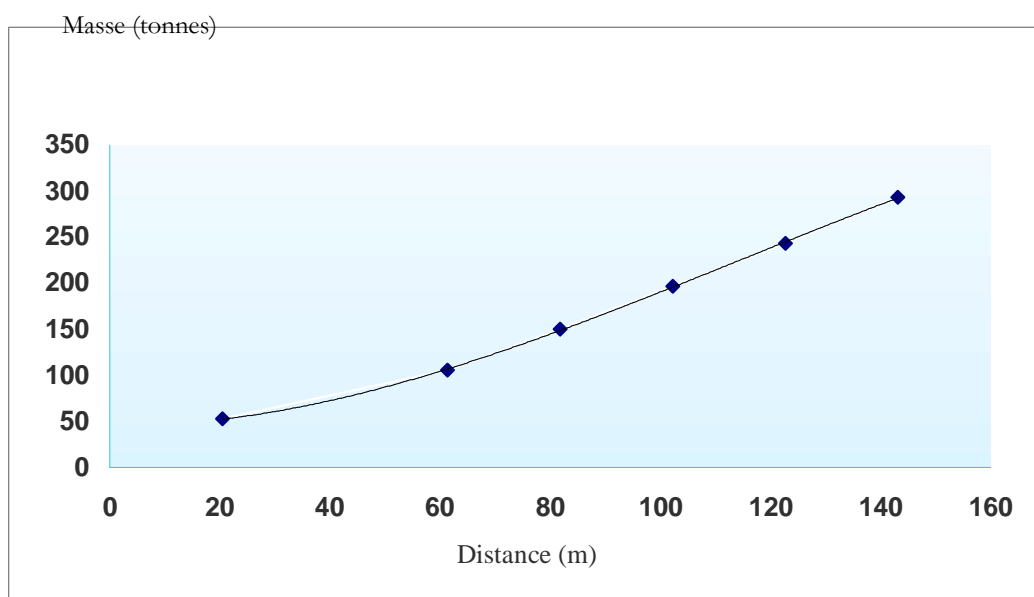


Figure IV. 3 Masse décantée durant 120 jours

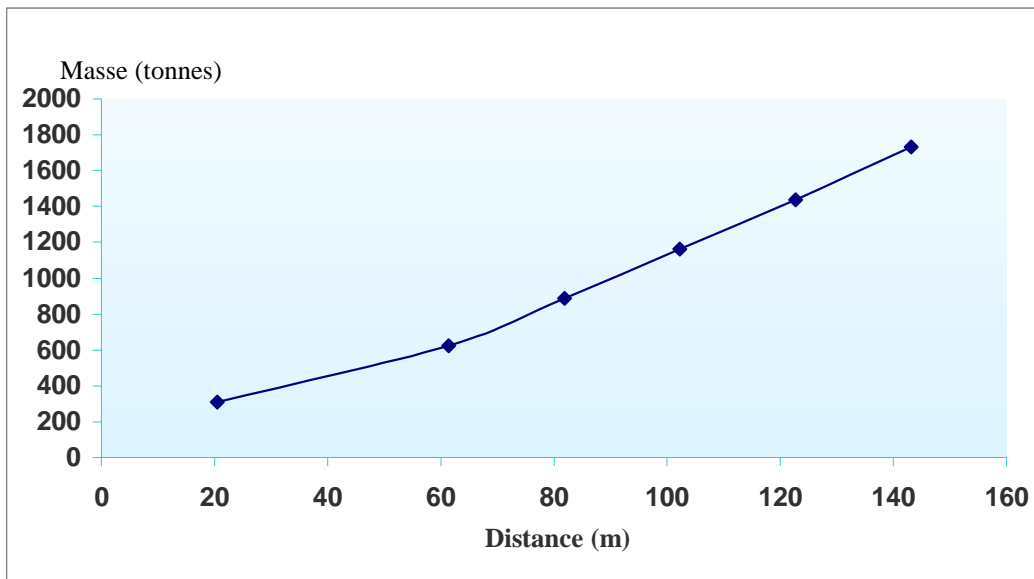


Figure IV.4 Masse décantée durant 180 jours

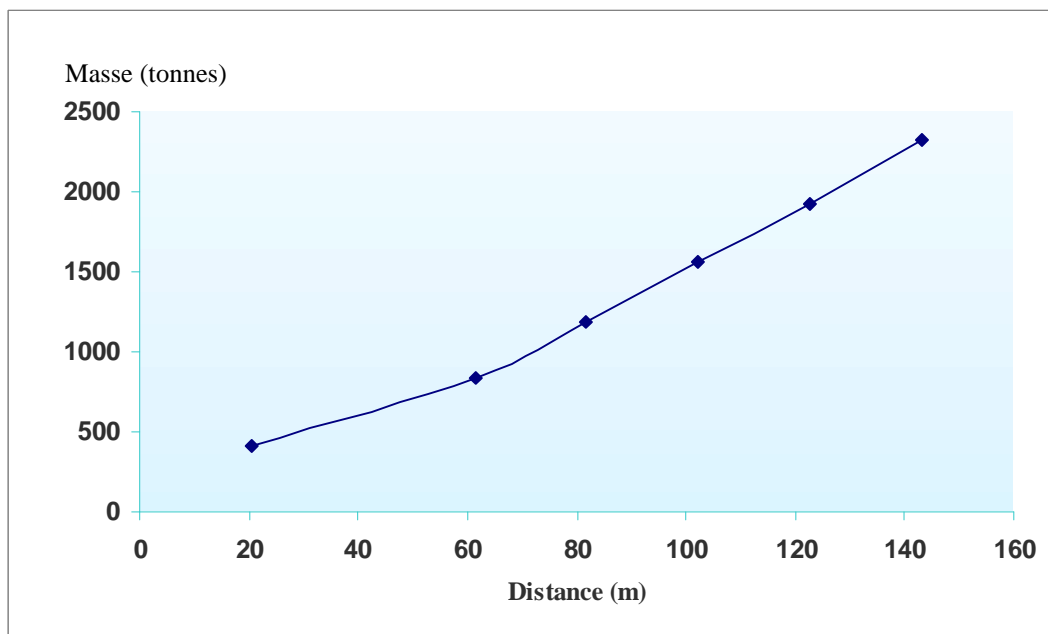


Figure IV.5 Masse décantée durant 240 jours

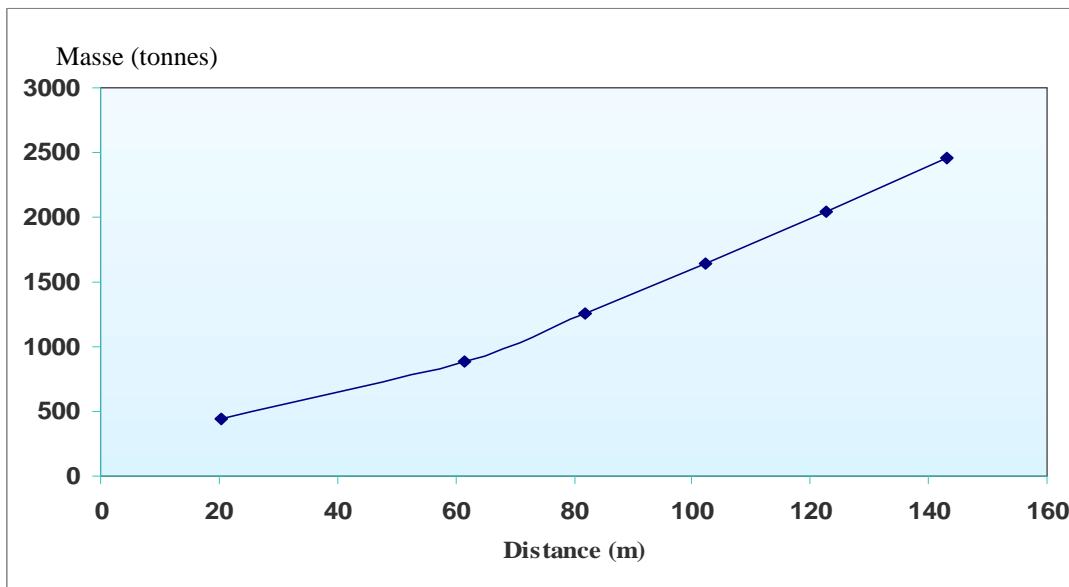


Figure IV.6 Masse décantée durant 300 jours

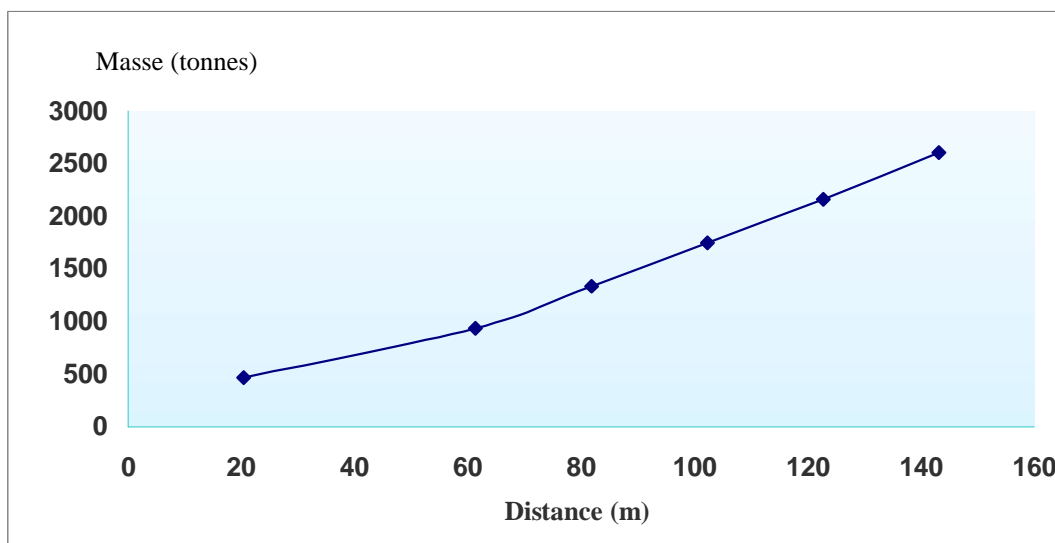


Figure IV.7 Masse décantée durant 365 jours

3.2 Variation de la masse décantée en fonction du temps

Les figures IV.8÷IV.13 donnent la variation de la masse décantée des particules solides maintenues en suspension en fonction du temps qui leurs sépare.

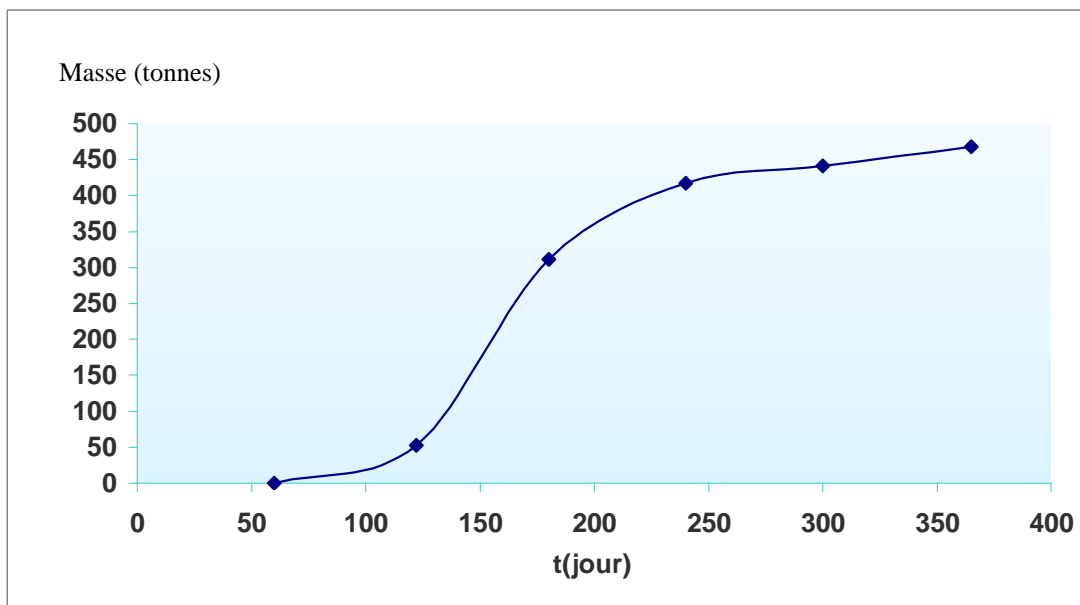


Figure IV.8 Masse décantée en fonction du temps pour la section1 (20.45m)

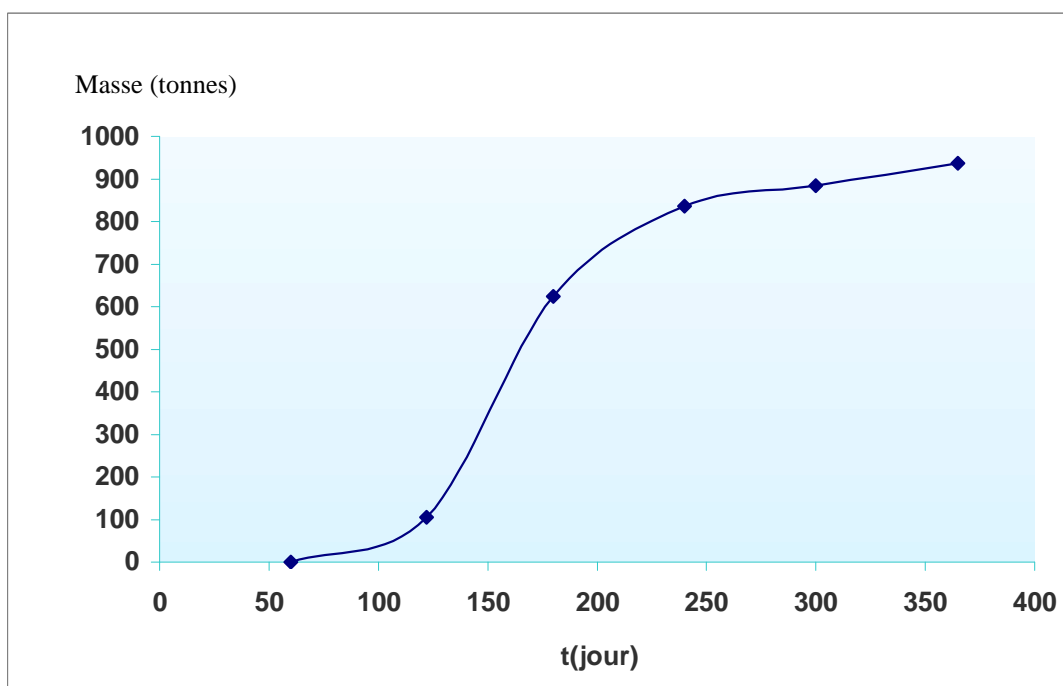


Figure IV.9 Masse décantée en fonction du temps pour la section 2 (61.35 m)

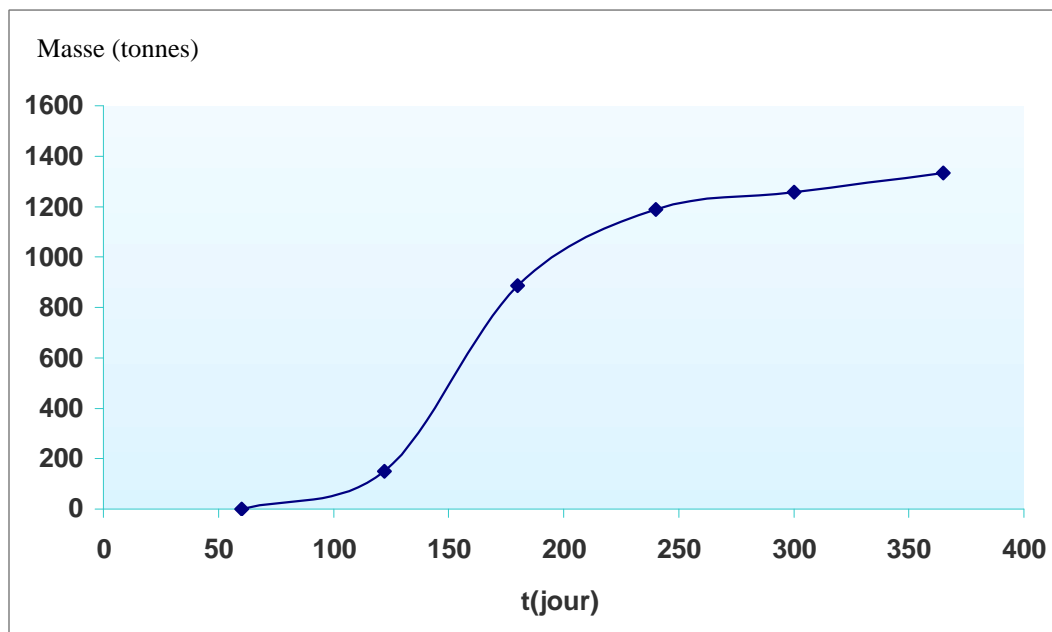


Figure IV.10 : Masse décantée en fonction du temps pour la section 3 (81.81 m)

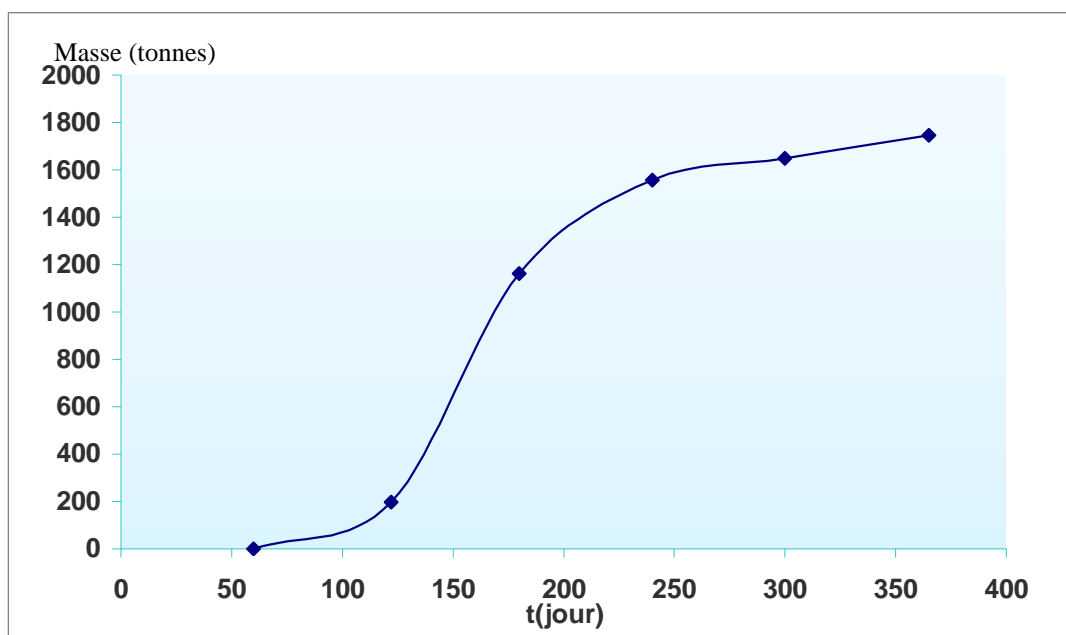


Figure IV.11 : Masse décantée en fonction du temps pour la section 4 (102.26 m)

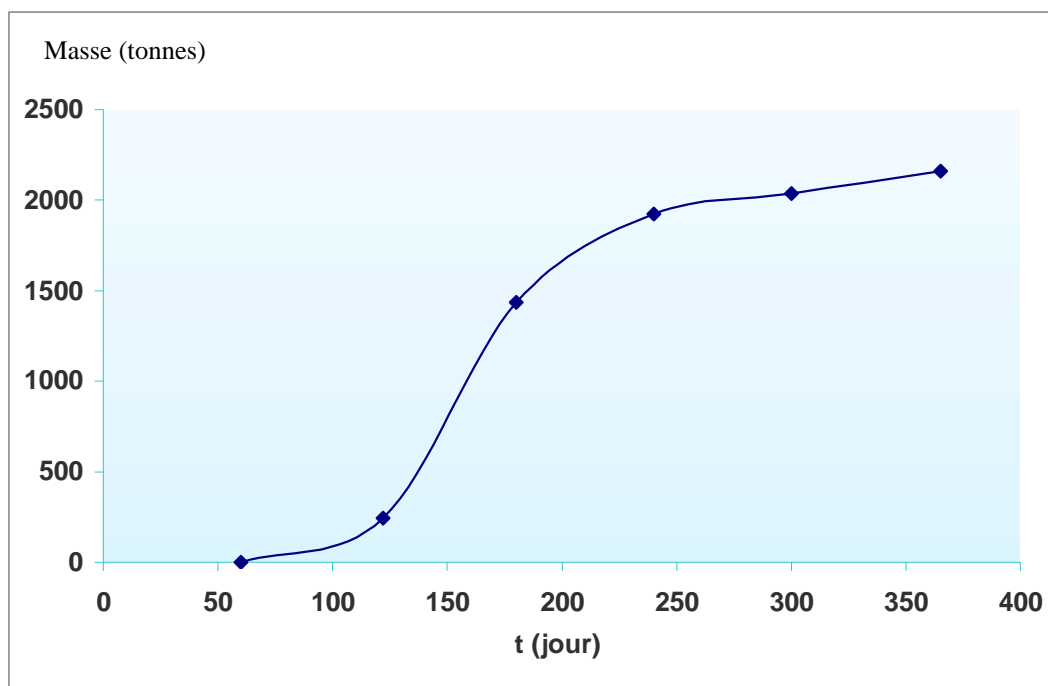


Figure IV.12 Masse décantée en fonction du temps pour la section 5 (122.71 m)

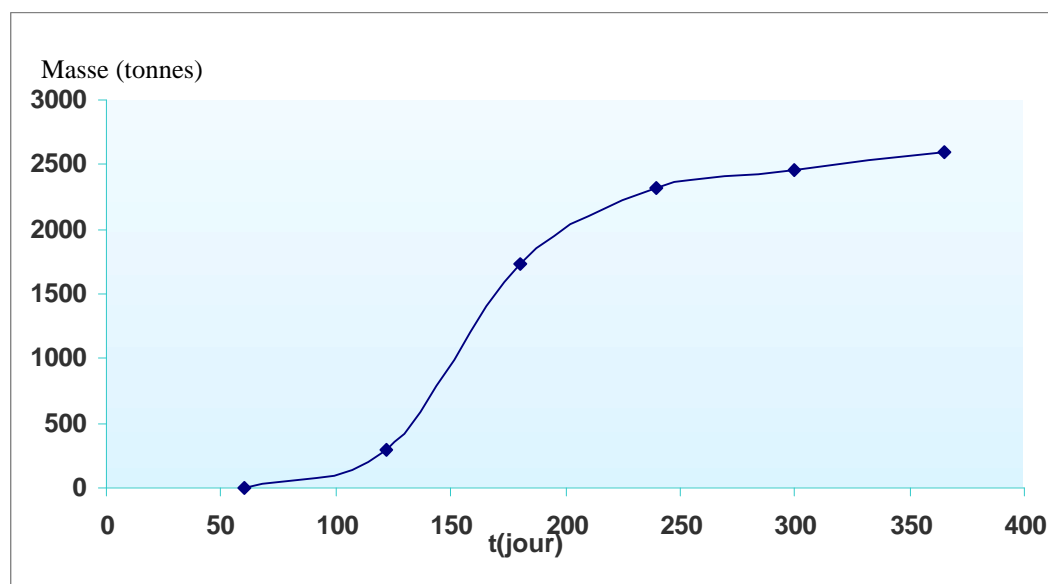


Figure IV.13 Masse déposée en fonction du temps pour la section 6 (143.16 m)

4. Discussion des résultats

Les résultats obtenus par la première approche sont très faibles ce qui est dialectique car la nature du sol (roches métamorphiques, roches éruptives et roches sédimentaires) et le couvert végétal de L'Isser ne favorise pas le charriage.

Après avoir étudié les deux couples «Masse décantée– Temps» et «Masse décantée– Distance», nous avons constaté que la masse varie proportionnellement avec la distance ainsi qu'avec le temps.

Il est remarquable que la masse décantée au voisinage de la section d'entrée soit très faible, car la turbulence dans ce stade est prépondérante, ce qui implique force hydrodynamique intense dans ce point.

5. Conclusion

Dans cette étude, deux approches ont été appliquées, où la suspension et le charriage ont été pris en considération. Les résultats obtenus sont très encourageants, mais il est évident qu'une étude plus poussée doit être envisagée.

Conclusion

Conclusion
Générale

Conclusion générale

La présente thèse vient de s'ajouter aux travaux théoriques, expérimentaux et numériques effectués dans le domaine du transport solide dans les cours d'eau, et la décantation des sédiments au niveau des retenues. Malgré toutes ces études, il n'existe aucun modèle théorique ou procédure de calcul jusqu'à nos jours qui puisse être acceptée comme irréprochable ; cela est dû au fait que les paramètres régissant de ce phénomène sont très complexes et parfois mal connus, d'autre part, il est très difficile de déterminer les relations entre eux.

Dans de telles circonstances, on a essayé à travers ce travail d'éclaircir ce phénomène, en effectuant d'une part une synthèse bibliographique sur ce domaine d'une part, et de contribuer à une modélisation physique basée sur approche géométrique pour quantifier le volume des sédiments transportés par charriage dans un cours d'eau, et une autre approche mathématique basée sur des hypothèses simplificatrices pour arriver à une forme littérale de la masse décantée au niveau de la retenue du barrage de Beni-Amrane.

En effet, le transport et le dépôt des sédiments sont des processus très complexes ; ils englobent l'érosion des sols, le charriage du fond...etc., mais ces derniers avec leur discontinuité temporelle et spatiale restent difficiles à quantifier individuellement, chacun d'entre eux étant étroitement lié.

Finalement pour clore, cette étude nous ne pouvons la qualifier de exemplaire, et elle ne présente qu'un modeste supplément sur laquelle peuvent s'ajouter d'autres projets, donc ce travail ne prétend recouvrir l'ensemble des problèmes présents dans le vaste domaine de l'hydraulique de la sédimentation, et cette étude que nous avons présentée a plus modestement l'ambition de fournir un outil de prévision des apports solides transportés par les cours d'eau et décantés dans les retenues.

Références bibliographiques

Liste des figures et des tableaux

Annexes

Références bibliographiques

- Benalouane, Y., (2005). Contribution à la modélisation du transport solide par la logique floue. Thèse d'ingénieur d'état en hydraulique de l'ENP (Alger).
- Benkhadra, H., (1997). Battance, ruissellement et érosion diffuse sur les sols limoneux cultivés Déterminisme et transfert d'échelle de la parcelle au petit bassin versant. Thèse de Doctorat de l'université d'Orléans (France).
- Bourouba, M., (1997). Les variations de la turbidité et leurs relations avec les précipitations et les débits des oueds semi-arides de l'Algérie orientale. Bulletin. ORSTOM.
- Bourouba, M., (1998). Phénomène de transport solide dans les Hauts Plateaux Orientaux. Cas de l'Oued Logmane et oued Leham dans le bassin de la Hodna. Revue des Sciences et Technologie N° 9, pp 5-11.
- Chebbani, R & al., (1999). Etude à différentes échelles des risques d'érosion dans le bassin versant de l'Isser. Bulletin ORSTOM.
- Laouina, A., (1998). Contribution of correlation and spectral analysis to the regional study of a large karst aquifer. (Charente, France). Journal of hydrology N° 205, pp. 217-231. .
- Loup, J., (1974). Les eaux terrestres (hydrologie continentale). Edition Masson et Cie.
- Lucas, G., (1942). Description géologique et pétrographique des monts de Rhar - Roubane et du Sidi El Abed (frontière algéro- marocaine).
- Meyer, L.D., (1965). World Wide delivery of river sediment to the oceans.
- Benhadj O & Bouchelka H, (1994). Contribution à la modélisation statistique des transports solide en suspension. Thèse d'ingénieur d'état en hydraulique de l'ENP (Alger).

Poessen, J. (1984). Erosion, flooding and channel management in Mediterranean environment of southern Europe .in Suspended sediment transport in flash floods of the semiarid northern Negev.

Remini, B., (1997). Envasement des retenues de barrages : mécanisme et moyens de lutte par la technique du soutirage. Thèse de Doctorat. D'Etat, Ecole Nationale polytechnique d'Alger.

Roche, M., (1989). Dictionnaire français de l'hydrologie de surface.

Roose, E., & al., (1998). Ravinement en Algérie. Typologie, facteurs de contrôle, quantification et réhabilitation. Bulletin ORSTOM.

Listes des tableaux et des figures

Liste des figures

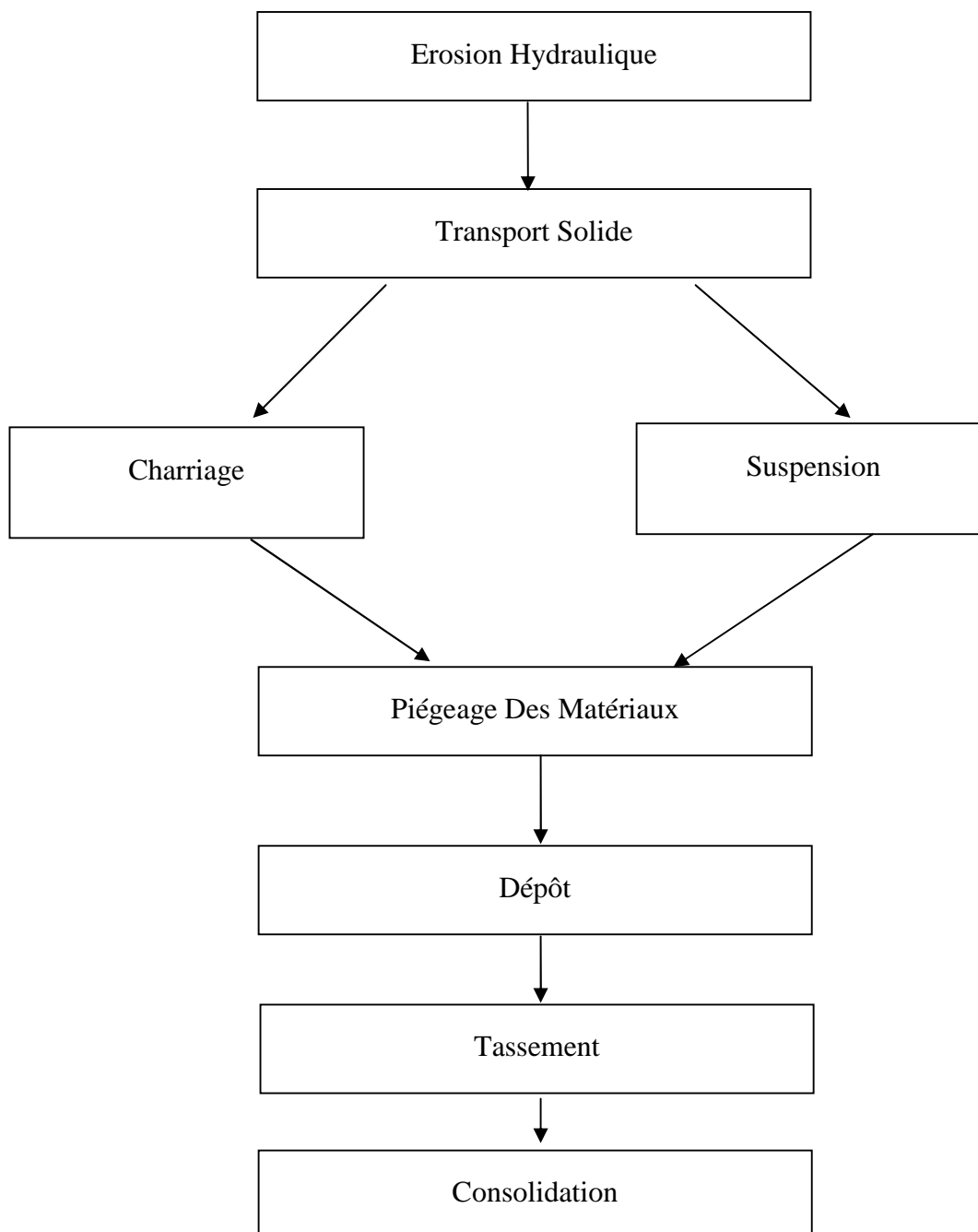
Figure I. 1 Modes de transport solide.....	12
Figure II. 1 Grands bassins versants du nord Algérien	26
Figure II. 2 Situation géographique du bassin versant de l'Isser.....	27
Figure II. 3 Réseau hydrographique de l'Isser.....	28
Figure II. 4 Lithologie du bassin versant de l'Isser.....	29
Figure II. 5 Couvert végétal de l'Isser.....	30
Figure II. 6 Carte topographique du bassin de l'Isser ,Keddara, Boudouaou et Alger	31
Figure III. 1 Variation (débit solide –débit liquide).....	33
Figure III. 2 Illustration du volume charrié par un oued	34
Figure III. 3 Variation de h (théorème de thalis)	37
Figure III. 4 Organigramme de calcul de volume charrié	38
Figure III. 5 Organigramme de calcul de la masse décantée	39
Figure IV. 1 Carte topographique de la retenue de Beni-Amrane.....	42
Figure IV. 2 Masse décantée durant 60 jours	43
Figure IV. 3 Masse décantée durant 120 jours.....	43
Figure IV. 4 Masse décantée durant 180 jours	44
Figure IV. 5 Masse décantée durant 240 jours	44
Figure IV. 6 Masse décantée durant 300 jours	45
Figure IV. 7 Masse décantée durant 365 jours	45
Figure IV. 8 Masse décantée en fonction du temps pour la section1 (20.45m)	46
Figure IV. 9 Masse décantée en fonction du temps pour la section2 (61.35m)	46
Figure IV. 10 Masse décantée en fonction du temps pour la section3 (81.81m).....	47
Figure IV. 11 Masse décantée en fonction du temps pour la section4 (102.26m).....	47
Figure IV. 12 Masse décantée en fonction du temps pour la section5 (122.71m).....	48
Figure IV. 13 Masse décantée en fonction du temps pour la section6 (143.16m).....	48

Liste des tableaux

Tableau I. 1 Valeurs de α pour différentes perméabilités.....	9
Tableau I. 2 Quelques données mondiale sur transport solide	17
Tableau IV. 1 Volumes des sédiments charriés par l'Isser	41

Annexes

Processus de l'Envasement



Quelques photos du barrage de Beni-Amrane



Barrage de Beni-Amrane « photos du projet »





Crue de chantier du 4/04/03 : débit moyen horaire maximum=1005 m³/s

L'oued qui ramène l'eau au barrage de Beni-Amrane

