

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE.

*Ecole Nationale Supérieure Polytechnique  
Département Hydraulique.*



# Mémoire



## De fin d'étude

En vue d'obtention du Diplôme d'Ingénieur d'état en hydraulique

# Thème

*Capacité de transport solide des cours d'eau  
et décantation des sédiments au niveau des  
retenues.*

*Cas de la retenue : BENI-AMRANE*

Dirigé par:

M<sup>r</sup>. BERKANI.

Réalisé par :

M<sup>r</sup>. AMZAL Amirouche.

Promotion : 2009

---

---

## **Remerciements :**

*Je remercie ALLAH de m'avoir prêté vie et volonté pour achever ce travail.*

*Je tiens tout d'abord à exprimer mes remerciements les plus sincères à Monsieur BERKANI, qui a encadré ce mémoire de fin d'étude, pour ses efforts fournis afin de mener à bien ce projet.*

*Je veux témoigner mon immense gratitude à Monsieur BENZIADA Salim et je tiens à le remercier pour sa grande disponibilité ainsi que pour ses nombreux conseils, à lui exprimer tout ma reconnaissance pour sa bonne humeur, sa gentillesse et patience.*

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

*Je remercie également les membres du jury pour avoir pris la peine d'évaluer ce modeste travail.*

*Mes plus sincères remerciements vont également à Dada AKLI, MOH, et Kh. HAMID, Kh. Moh (Beau frère) pour leurs encouragements, et conseils.*

*Je ne saurais oublier tous mes amis, en particulier : Dr. ZAKI.A, et Dr. Abas.A qui ont su m'encourager et me soutenir et à qui je dédie ce travail en témoignage de ma profonde affection.*

---

---

---

---

**Dédicaces :**

*A ceux qui étaient la cause de mon existence  
A ceux qui leur réjouit mon sourire et leur vénère mon succès  
A ceux qui étaient toujours là pour moi, et ils continuent à être là  
A ceux qui sont la lumière de mes yeux, la lueur  
de mon chemin et, l'éclat de ma réussite  
A mes parents, qui sont toute ma vie, que Dieu les garde pour moi.  
A mes frères Belkacem, Said, Kaci et Louinas et mes sœurs, qui ont complété ma  
vie.*

*A toi Nacira et à toute ta famille, que Dieu te garde pour moi.  
A Salima et à toute sa famille, je te souhaite le bien venu chez nous cet été.  
A toute ma famille (Amzal et Amzil), mon trésor, qui m'a toujours soutenue  
Idhir, Said (×4), Samir... Youcef, Said, Moustapha, Smail à qui je  
souhaite bon courage pour leurs soutenances.*

*A mes oncles, à mes tantes et mes cousins.*

*A toi Dada Slimane, qui j'espère es fière de moi du lointain qu'habite à présent  
ton âme si pure.*

*A mes Beaux frères : Mouhmed à qui je souhaite bon courage pour ces études,  
Ahmed, Hassan.*

*A mes neveux et nièces du plus grand au plus petit.*

*A mes très chères amis : Zaki, Abbas, Nacer.L, Samir.C*

*Ainsi qu'à tous mes amis de Bouraoui : Mourad, Kaci, Moh, Omar, Nacer, Hakim,  
Amar, djahid... avec lesquels j'ai partagé des moments inoubliables... à qui je  
souhaite du courage et beaucoup de réussite pour les années qui viennent à  
polytech.*

*A tous mes amis qui sont si nombreux, qui m'ont envahi de bonheur.*

*A mes camarades de classe : Sofiane, Djamel, Samir, Khaled.K, Amine, Khaled.b,  
Iskander (Alex), Fethi, Rochdi, Yanis, Dris, Imene, Amina, Hakima, Lamia,  
Thanina, Soumia (Mimi), on a formé un groupe très solidaire.*

*A tous ceux qui aiment faire le bien, et aider les gens  
A tous ceux qui souffrent et espèrent une meilleure vie, que Dieu soit avec eux.  
A toute personne qui va lire cette thèse.*

*A toutes ces personnes je dédie ce modeste ouvrage.*

---

---

## 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 تقريبتين رياضيتين ، أولا رسم بياني ، الغرض منه تحديد حجم المواد المتقلبة 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.

## Table des matières

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

<b>Chapitre I :</b>	<i>Généralités sur le transport solide :</i>
---------------------	--

I.1. Introduction :.....	03
I.2. Erosion hydraulique .....	04
I.2.1. Définition .....	04
a) Rôle de l'organisation minérale: notion de cohésion.....	05
b) Rôle de la fracturation :différentes types de fracturation.....	06
c) Rôle des mouvement de la lithosphère sur l'érosion.....	06
d) Relièf des terres émergées et érosion .....	06
e) Rôle de l'atmosphère .....	07
f) Rôle de l'hydrosphère.....	08
g) Rôle de la biosphère.....	08
I.2.2 Méthode de défonce contre l'érosion hydrique.....	09
1. Les interfleuves .....	09
Procédés agro-technique.....	09
Restauration des forêts. ....	10
Procédés hydrotechniques. ....	10
2. Les cours d'eau .....	10
Revêtement des berges. ....	11
Freinage de l'écoulement. ....	11
Aménagement hydraulique.....	11
I.3. Transport solide .....	11
I.3.1. Définition .....	11
I.3.2. Les principaux facteurs dont dépendent les apports solides d'un BV .....	12
I.3.3. les modes de transport solide .....	13
1.Transport solide par charriage .....	13
a) Définition. ....	13
b) Description du phénomène.....	13
2. Transport solide par suspension. ....	14
a) Définition. ....	14
b) Description du phénomène.....	14
3. Erosion du fond, dépôt .....	15
I.4. Quelques données sur le transport solide.....	16
I.4.1. Données Algériennes. ....	17
I.4.2. Données mondiales. ....	18
I.5. Alluvionnement des retenues .....	18
I.5.1. Généralité.....	18
a) Modification artificielle.....	18
b) Apports solide aux retenues .....	19

## Table des matières

I.5.2. Les facteurs influencent sur l'alluvionnement des retenues. ....	19
a) Influence de la topographie de la retenue.....	19
b) Influence du taux de renouvellement de la retenue.....	19
c) Influence du mode d'exploitation du réservoir. ....	19
d) Influence de la présence d'affluents. ....	20
e) Influence de la présence de végétation.....	20
I.5.3. Effet de l'alluvionnement des retenues.....	20
I.5.4 Maîtrise de l'alluvionnement des retenues.....	21
I.6. Conclusion. ....	21

### **Chapitre II :**

### *Présentation de la région d'étude :*

II.1. Introduction. ....	22
II.2. Débit liquide. ....	22
II.2.1. Définition.....	22
II.2.2. Mésure du débit liquide . ....	22
II.3. Débit solide.....	23
II.3.1. Définition.....	23
II.3.2. Mésur du débit solide. ....	23
a. Méthode topographique.....	25
b. La datation des sédiments . ....	26
c. La télédétection.....	27
II.4. le bassin versant de l'Isser . ....	28
II.4.1. Caractéristiques physiographiques. ....	28
1. Position géographique. ....	28
2. Morphologie et orographie.....	30
3. Caractéristique agro-géologique.....	30
a) Aperçu géologique . ....	30
b) Les sols.....	32
4. Aperçu hydrogéologique . ....	33
5. Hydrographie et paramètres morpho-métriques.....	34
III.5. conclusion.....	36

### **Chapitre III:**

### *Formulation du phénomène*

III.1. Introduction . ....	37
III.2. Base de données. ....	37
III.3. Dynamique des cours d'eau. ....	37
III.3.1. Détermination du volume charrié . ....	37
III.3.2. Signification du volume charié . ....	39
III.4. Décantation des sédiments. ....	40
III.4.1. Définition du problème . ....	40

## Table des matières

III.4.2. Formule de la hauteur d'eau claire .....	41
III.4.3. Estimation de la masse déposée .....	42
III.5. Organigramme de calcul.....	44
III.5.1. Organigramme de calcul de la masse décantée.....	43
III.5.2. Approche numérique de calcul de l'intégrale.....	43
a) Méthode de Simpson.....	45
III.5. Conclusion.....	46

### **Chapitre IV:**

#### *Envasement du barrage de BENI-AMRANE*

IV.1. Introduction.....	47
IV.2. Situation de l'envasement .....	47
IV.3. La distribution des sédiments dans la retenue .....	55
IV.4. Calcul du volume de la vase.....	56
IV.5. Conclusion .....	59

### **Chapitre V :**

#### *Résultats et interprétation*

V.1. Introduction .....	60
V.2. Volume charrié par l'oued.....	60
V.3. Evaluation de la masse décantée.....	60
V.3.1. Variation de la masse décantée en fonction de la distance .....	61
V.3.2. Variation de la masse décantée en fonction du temps .....	65
V.4. Volume de vase.....	68
1. A partir des levés topographique.....	68
2. Al'aide des formules .....	68
V.5. Discussion des résultats.....	69
V.6. Conclusion.....	69

Conclusion générale .....	70
---------------------------	----

Références bibliographiques

Annexes

## Liste des tableaux

---

<b>Tableau I-1</b> : Quelques données mondiales sur le transport solide .....	17
<b>Tableau II-1</b> : Paramètres morpho-métrique du bassin de l'Isser. ....	34
<b>Tableau V-1</b> : Volume des sédiments charriés par l'Isser. ....	60
<b>Tableau V-2</b> : Capacité de la retenue. ....	68



## Liste des figures :

---

<b>Figure I-1</b> : Mode de transport solide en hydraulique fluviale .....	11
<b>Figure I-2</b> : Mode de transport solide selon leur taille.....	11
<b>Figure II-1</b> : Grands bassins versants du Nord Algrien. ....	28
<b>Figure II-2</b> : Situation géographique du bassin versant de l'Isser. ....	29
<b>Figure II-3</b> : Carte des sous bassins versants de l'Isser .....	30
<b>Figure II-4</b> : Aperçu géologique du bassin de l'isser.....	31
<b>Figure II-5</b> : Carte des sols du bassin de l'Isser .....	32
<b>Figure II-6</b> : Lithologie du bassin versant de l'Isser.....	33
<b>Figure II-7</b> : Carte des réseaux hydrographique de bassin versant de l'Isser .....	35
<b>Figure II-8</b> : Carte de classification du réseau hydrographique de l'Isser selon Strahler.....	36
<b>Figure III-1</b> : Variation de débit solide en fonction de débit liquide .....	38
<b>Figure III-2</b> : Illustration du volume charrié par un oued.....	39
<b>Figure III-3</b> : Variation de h (théorème de Thalys).....	42
<b>Figure III-4</b> : Organigramme de calcul de la masse décantée .....	44
<b>Figure III-5</b> : Approche numérique de calcul de l'intégrale.....	45
<b>Figure III-6</b> : Méthode de Simpson. ....	45
<b>Figure IV-1</b> : Variation annuelles des apports liquide de l'oued Isser .....	47
<b>Figure IV-2</b> : Variation annuelles des apports solide de l'oued Isser. ....	48
<b>Figure IV-3</b> : Situation de la cuvette en 1994. ....	48
<b>Figure IV-4</b> : situation de la cuvette.....	49
<b>Figure IV-5</b> : Levé topographique sous MapInfo 8.0. ....	49
<b>Figure IV-6</b> : Enregistrement des données sous MapInfo 8.0.....	51
<b>Figure IV-7</b> : Courbe de niveau digitalisé sous Vertical Mapper. ....	52
<b>Figure IV-8</b> : Les étapes d'interpolation.....	54
<b>Figure IV-9</b> : La retenue de BENI-AMRANE 1988.....	54
<b>Figure IV-10</b> : La retenue de BENI-AMRANE 1 année après .....	55
<b>Figure IV-11</b> : la retenue de BENI-AMRANE 5 ans après. ....	55
<b>Figure IV-12</b> : Volume de la vase déposé après une année. ....	56
<b>Figure IV-13</b> : Volume de la vase déposé cinq ans après. ....	56
<b>Figure IV-14</b> : Profil en long de la cuvette. ....	57
<b>Figure IV-15</b> : Evolution de l'envasement entre 1994 et 2000.....	58
<b>Figure IV-16</b> : Courbe hauteur-capacité de la cuvette .....	58
<b>Figure IV-17</b> : Capacité totale et utile de la retenue. ....	59
<b>Figure V-1</b> : Carte topographique de la retenue de BENI-AMRANE.....	61

## Liste des figures :

---

<b>Figure V-2</b> : Masse décantée durant 60 jours .....	62
<b>Figure V-3</b> : Masse décantée durant 120 jours .....	62
<b>Figure V-4</b> : Masse décantée durant 180 jours.....	63
<b>Figure V-5</b> : Masse décantée durant 240 jours.....	63
<b>Figure V-6</b> : Masse décantée durant 300 jours.....	64
<b>Figure V-7</b> : Masse décantée durant 365 jours.....	64
<b>Figure V-8</b> : Masse décantée en fonction du temps pour la section 2 (61,35m).....	65
<b>Figure V-9</b> : Masse décantée en fonction du temps pour la section 3 (81,81m).....	65
<b>Figure V-10</b> : Masse décantée en fonction du temps pour la section 4 (102,26m).....	66
<b>Figure V-11</b> : Masse décantée en fonction du temps pour la section 5 (122,71m).....	66
<b>Figure V-12</b> : Masse décantée en fonction du temps pour la section 6 (143,16m).....	67
<b>Figure V-13</b> : Masse décantée en fonction du temps pour la section 6 (61,35m).....	67
<b>Figure V-14</b> : Perte de capacité de la retenue.....	68

---

---

# 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 d'eau 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

## Introduction générale :

---

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 distinctes : une zone d'eau claire dépourvue de particules, et la zone de dépôt des particules sédimentaires.

---

## Chapitre I :

# Généralités sur le transport solide

**I.1. Introduction :**

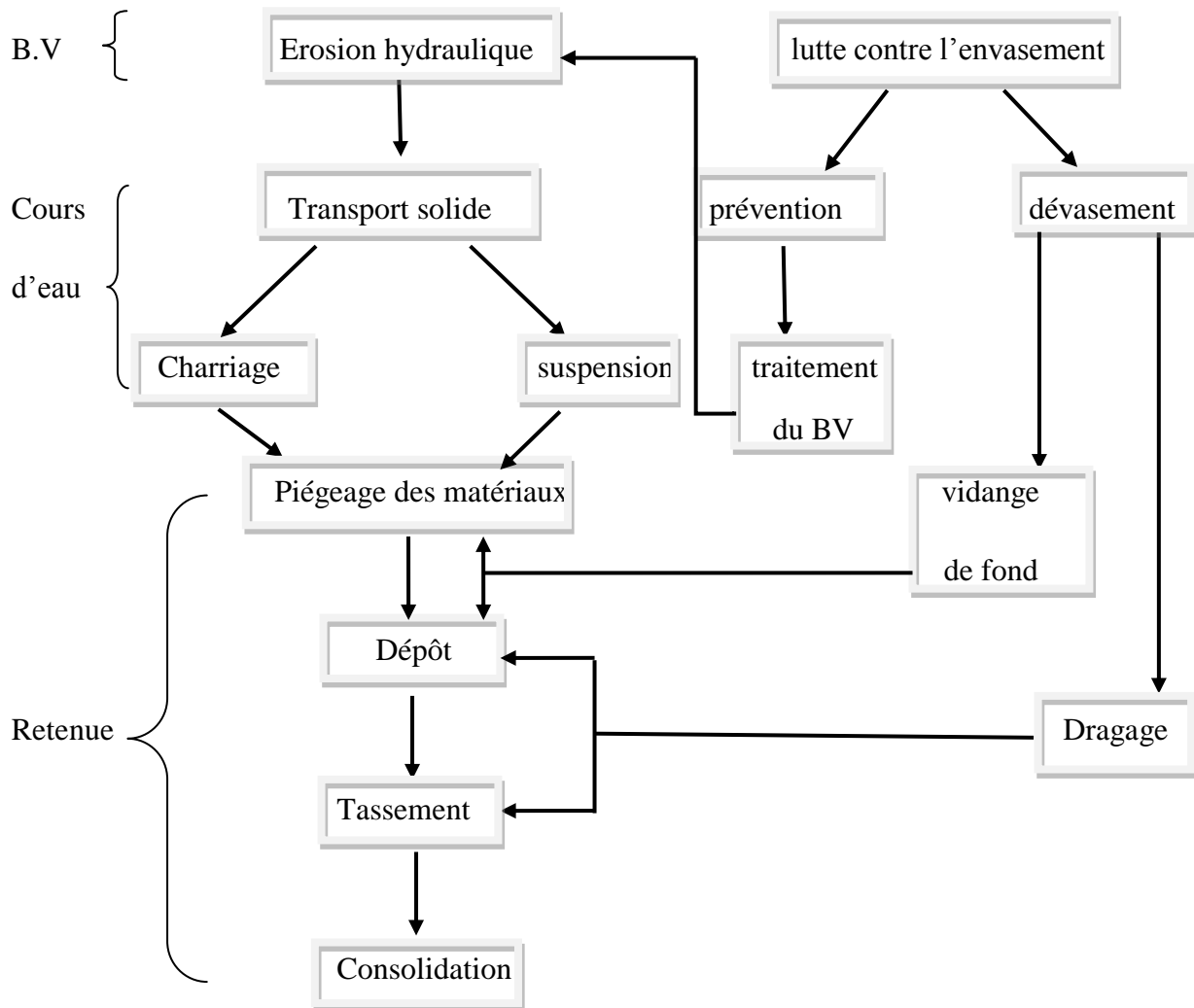
Une rivière transporte des matériaux granulaires qui proviennent soit du bassin versant soit du fond ou des talus des berges du lit mineur.

Les matériaux du bassin versant peuvent provenir de l'ensemble de sa surface sous l'effet du vent, de la pluie, de la fonte des neiges et des cycles gel-dégel. Ce mode d'érosion est dit aréolaire (par opposition à linéaire) et se produit soit en nappes soit en rigoles. Une partie seulement du produit de cette érosion aréolaire parvient au réseau hydrographique. Les particules produites et transportées sont fines et souvent cohésives. Dans les bassins versants montagnards, des formes d'érosions ou de transports plus localisés peuvent produire brutalement de grandes masses de matériaux ; ce sont les glissements de terrain, les avalanches, les laves torrentielles.

L'érosion du fond du lit ou des berges est dite linéaire. Elle persiste même lorsque la pluie cesse. Elle met en œuvre des forces plus considérables que l'érosion aréolaire et peut donc mobiliser des matériaux nettement plus grossiers.

Nous appellerons transport solide le transport de matériaux granulaires (matériaux alluvionnaires ou autres matériaux granulaires) apportés à la rivière. Mais les cours d'eau transportent aussi d'autres matériaux solides et tout particulièrement les arbres arrachés aux berges ou au lit majeur et la glace. En toute rigueur, il faudrait ici parler de transport granulaire. Mais nous garderons l'appellation « transport solide » qui est d'emploi plus courant. Cette remarque vaut aussi pour l'appellation « débit solide » (DEGOUTTE,2005) .

✚ Processus de l'envasement :



**I.2. Erosion hydraulique :**

**I.2.1. Définition :**

L'érosion du sol est une forme de dégradation au même titre que la compaction, la réduction des taux en matière organique, la détérioration de la structure du sol, le drainage souterrain insuffisant, la salinisation et l'acidification du sol. Toutes ces formes de dégradation, sérieuses en elles-mêmes, accélèrent l'érosion du sol.

C'est un processus naturel sur toutes les terres. Les agents de l'érosion sont l'eau et le vent, chacun provoquant une perte importante de sol chaque année dans le monde entier.



L'érosion peut être un processus lent et insoupçonné, ou encore prendre des proportions alarmantes, entraînant une perte énorme de sol arable. Le lessivage de la terre arable peut résulter en une réduction du potentiel de production, en une réduction de la qualité de l'eau de surface et en l'encrassement des réseaux de drainage.

Toutes les roches ne présentent pas la même sensibilité à l'érosion. Les différences d'érodabilité potentielle dépendent de l'organisation de leurs constituants minéraux et de leur fissuration (Sundborg, 1986).

***a) Rôle de l'organisation minérale : notion de cohésion :***

La cohésion peut être assimilée à l'importance des forces qu'il faut vaincre pour séparer les uns des autres les éléments constitutifs de la roche. Cette notion, surtout utilisée par différents ingénieurs pour les problèmes d'aménagement, est importante en ce qui concerne l'aptitude des roches à l'érosion (BOUROUBA, 1997).

➤ Roche de forte cohésion :

Les roches endogènes issues de la solidification d'un magma (roche plutonique ou volcanique) ou de la cristallisation de matériel dans des conditions particulières de température et de pression (roches métamorphiques) en font partie. Les cristaux y sont intimement imbriqués et l'eau y pénètre difficilement. Leur résistance à l'érosion dépend du type de structure : les structures macro cristallines (grenue, pegmatitique) résistent mieux à l'érosion du fait de faible densité des discontinuités inter cristallines. Les structures microcristallines sont plus facilement érodables au niveau de leur pâte fine ou vitrifiée.

De l'importance de l'altérabilité des minéraux qui les composent : l'abondance de matériaux facilement altérables (olivines, plagioclases calciques, pyroxènes) facilite l'érosion (BOUROUBA, 1997) .

➤ Roche de faible cohésion :

Ce sont les roches non consolidées ou meubles, constituées de grains plus ou moins grossiers libres (graviers, sables, silts ou argiles). Elles sont facilement érodables à cause de l'isolement de leurs éléments constitutifs. Leur déstabilisation érosive est directement liée à l'importance de l'eau interstitielle libre, saturation au non des vides inters granulaires. Le coefficient indice des vides représente le rapport du volume des vides au volume des constituants minéraux de la roche. Sa valeur s'échelonne de 0,40 à 0,70 selon la forme et la taille des grains.

***b) Rôle de la fracturation : différents types de fracturation :***

Les roches présentant une forte cohésion ont un comportement rigide vis-à-vis des contraintes lithosphériques. Elles réagissent en se fracturant à des échelles variables, allant du Km au manomètre. Ces fractures constituent des discontinuités dans la roche, augmentant ainsi sa vulnérabilité vis-à-vis des processus de l'altération. En fonction des différentes échelles, on distingue : les failles, les joints ou diaclases, les clivages schisteux, les clivages des minéraux.

Les failles sont des discontinuités se trouvant entre deux compartiments déplacés l'un par rapport à l'autre. L'ordre du déplacement varie du mètre à des dizaines de kilomètre. L'emplacement des failles est marqué par une zone broyée offrant une moindre résistance à l'érosion, ce qui est le cas pour les diaclases qui accélèrent le processus d'érosion à cause de leur organisation en réseaux complexes. Autre type de fentes pouvant accélérer l'érosion, les foliations de schistes qui offrent à l'eau une possibilité de pénétration accrue et accélère le processus d'érosion. Contrairement aux différents types de fissures citées précédemment, les clivages des minéraux qui ont une tendance à ce clivage selon une ou plusieurs directions préférentielles, offrent une excellente résistance à l'érosion (BOUROUBA, 1997).

***c) Rôle des mouvements de la lithosphère sur l'érosion :***

La représentation des grandes structures géologiques présentes en surface de la lithosphère sont dues à l'activité tectonique. Cette activité se manifeste encore actuellement par les séismes et les volcans, mais aussi par des mouvements épirogéniques moins évidents de relèvement ou d'affaissement et influençant, là où ils s'expriment, les processus d'érosion. Les zones en limite de plaque lithosphérique sont le siège de mouvements horizontaux et verticaux de grande ampleur, entraînant la genèse d'un relief chaotique, faisant voisiner des blocs surélevés et des bassins affaissés. La très forte rugosité de ce relief permet des taux d'érosion très importants. La production de matières érodées, mesurée à l'embouchure des fleuves drainant ces régions est de l'ordre de 10 000 tonnes par Km<sup>2</sup> et par an, soit 100 fois plus que la moyenne mondiale (Ritchot, 1985).

***d) Relief des terres émergées et érosion :***

Il existe plusieurs types de reliefs des terres émergées, distincts par leur morphologie propre et par les processus d'érosion liés à chacun (Erhart, 1956) :

- Les montagnes jeunes : Elles présentent une importante couverture sédimentaires entrecoupée de noyaux de roches endogènes (granites, séries métamorphiques,...). Les altitudes moyennes y sont importantes, les versants y sont très pentus et l'érosion très active.
- Les montagnes anciennes partiellement arasées : Elles sont le plus souvent libérées des couvertures sédimentaires et présentent à l'affleurement des endogènes. Les versants sont faiblement pentus et l'érosion est moyennement active.
- Les boucliers très anciens totalement arasés : Elles présentent aussi des roches d'origine endogène. Les versants présentent de très faible pente et l'érosion est faible.
- Les zones volcaniques : Sur cette répartition générale se surimpose de vastes zones volcaniques. Elles sont liées, soit au type de chaîne de montagne, soit à des émergences de points chauds d'origine profonde qui s'épanche en surface, indépendamment des ensembles tectoniques (BOUROUBA, 1997).

#### ***e) Rôle de l'atmosphère :***

Enveloppe gazeuse de masse faible et de très faible épaisseur relative, l'atmosphère capte l'énergie solaire, assure sa distribution par la circulation des fluides, régularise la température, filtre les rayons nocifs issus du soleil, et permet l'humidification des continents (donc leur érosion) par les pluies (Probst, 1990). De toutes les planètes du système solaire, la terre semble être la seule à posséder une atmosphère permettant la capture de l'énergie solaire et donc le fonctionnement d'un cycle de l'eau et la présence d'une biosphère. La répartition inégale de l'énergie solaire est la première cause essentielle de ce que l'on peut appeler le système climatique qui s'appuie essentiellement sur la circulation atmosphérique. La répartition des climats et des précipitations est la conséquence de cette circulation globale, et présente une distribution zonale.

- Les basses températures moyennes et les faibles pluviosités des hautes latitudes.
- Les températures moyennes et plus grande pluviosité.
- Les ceintures désertiques et les faibles précipitations.
- Les fortes précipitations et les fortes températures.

Des conditions locales peuvent engendrer un système climatique régional qui échappe partiellement à l'influence direct de la circulation atmosphérique :

- ✚ Un climat méditerranéen caractérisé par une irrégularité saisonnière des précipitations, une clémence et une faible amplitude des températures.
- ✚ Un climat à affinités tropicales mais à hiver relativement froid.
- ✚ Un climat à saisons très contrastées et forte amplitude des températures.

Cette répartition des climats conditionne les processus d'érosion et de transfert de matériaux à la surface des continents (BOUROUBA, 1997).

### ***f) Rôle de l'hydrosphère :***

L'hydrosphère comprend l'ensemble de l'eau à la surface et dans la partie superficielle de la croûte terrestre (Tardy, 1989) : océans, eaux souterraines, rivières et lacs, des glaciers et eaux atmosphériques.

L'eau possède des propriétés physico-chimiques exceptionnelles qui lui permettent de jouer un rôle important dans la modification et le transfert d'éléments et de matériaux de la lithosphère :

- L'eau liquide est très mobile. La petite taille de sa molécule. Sa faible viscosité et sa fluidité lui permettent une grande mobilité et la faculté de pénétrer les plus petits interstices disponibles dans le sol, les roches fissurées...
- L'eau est un très bon solvant. Grâce à sa bipolarisation électrique l'eau est un solvant pour la plus part des corps chimiques, cette propriété lui permet de lessiver les continents et de conduire les éléments ainsi dissous en direction des mers et des océans.
- La densité de l'eau, par définition, celle-ci varie entre  $0.9170 \text{ g / cm}^3$  et  $1 \text{ g / cm}^3$ . Elle se situe à une position moyenne entre les matières minérales et les matières organiques. Cette valeur est importante pour la mise en suspension des particules, leur transport et leur dépôt (BOUROUBA, 1997).

### ***g) Rôle de la biosphère :***

La biosphère prélève, redistribue et échange matière et énergie avec le domaine minéral qui l'entourne et à ce titre qu'elle joue un rôle important sur le fonctionnement de la surface des terres émergées.

La biosphère est représentée par quatre éléments importants :

- ⊕ Les végétaux ;
- ⊕ Les bactéries ;
- ⊕ Les animaux ;
- ⊕ L'espèce humaine ;

Les végétaux ont un rôle important par leur influence sur le processus d'érosion de leur support (sol et substrat), autre fraction peu ou non visible, réduite en poids et dont la fonction est essentiellement de décomposer les matières mortes, les bactéries jouent également un rôle important dans ces processus d'érosion. Parmi les animaux, les vers de terre sont certainement les agents les plus actifs de l'érosion des sols. Leur présence abondante provoque un brassage général de zones meubles superficielles. Leurs terriers accélèrent la pénétration en profondeur d'agents érosifs, favorisant ainsi les processus de dégradation du substrat (Duchaufour, 2001). Cependant l'espèce humaine, joue également un rôle de plus en plus actif sur le fonctionnement de la surface (BOUROUBA, 1997).

### **I.2.2. Méthode de défonce contre l'érosion hydrique :**

Les méthodes de lutte contre l'érosion et la sédimentation reposent sur l'étude de leur nature et de leur évolution (CHEBBANI, 1999).

#### **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 hydrotechnique ;

#### **➔ 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).

➤ ***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 importants :

- 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 disposer 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 récoles (Ouamer Benhadj, M, Bouchelka, H.1994).

➤ ***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 comportent les fosses d'infiltration, les barrages de rétention avec des grandes surfaces de retenues, des terrasses le long des courbes de niveau, etc....

## **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.

***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 suivant :

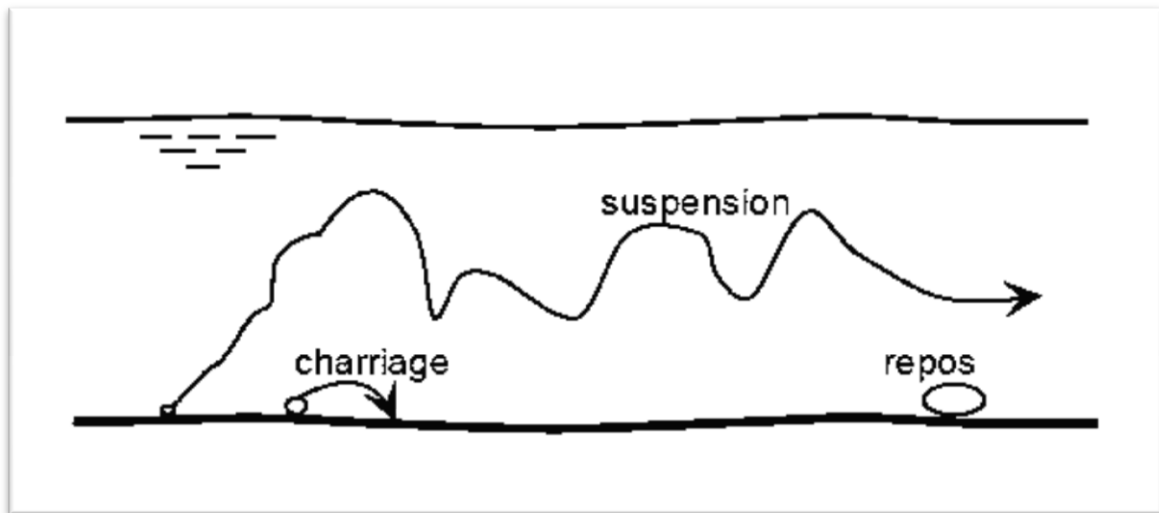
- Bassin de dissipation.
- Sauts de ski.

### **I.3. Transport solide :**

#### **I.3.1. Définition :**

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 existe différents modes de transport solide dans les cours d'eau, ils dépendent essentiellement de la morphologie de cours d'eau et des terrains

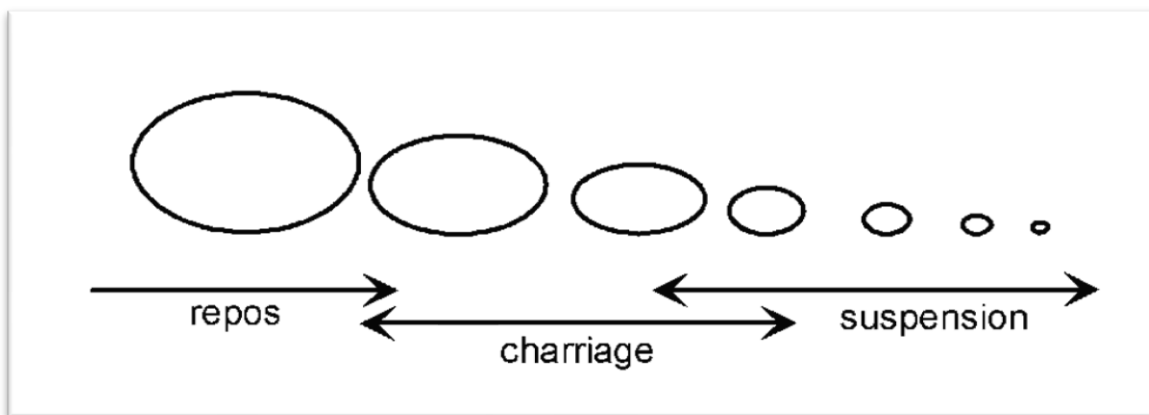
traversés. On définit deux modes de transport des sédiments : la suspension et le charriage. (Figure 1) (DEGOUTTE,2005).



**Figure I-1 :** Mode de transport solide en hydraulique fluviale.

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 (DEGOUTTE,2005).



**Figure I-2 :** Mode de transport des sédiments selon leur taille.

### **I.3.2. Les principaux facteurs dont dépendent les apports solides d'un bassin versant :**

Les apports solides venant de l'amont, sont fonction essentiellement des facteurs suivants :

- Volume et intensité des précipitations.
- Géologie et nature du sol.



- Couverture du sol (végétation, fragment de roches).
- Utilisation et exploitation de sol (méthode de culture, exploitation forestiers, chantiers de construction).
- Géomorphologie et topographie.
- Réseau hydrographique (pente, forme, dimensions et tracé des canaux).
- Ruissellement.
- Caractéristiques des sédiments (granulométrie, minéralogique...).
- Hydraulique du lit (rugosité, rayon hydraulique...).

### **I.3.3. Les modes de transport :**

#### **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 sautes 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 (DEGOUTTE,2005).

##### **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 «  $\tau_c$  ».

Les grains constituant l'interface (solide-liquide) ne peuvent être mises-en mouvement par l'action du fluide sauf si la contrainte du fond «  $\tau$  » est supérieure à la contrainte critique

«  $\tau_c$  ». 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 :

$$\tau = \rho.g.R.J \quad (I-1)$$

Avec :

$\tau$  : contrainte sur le 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 (DEGOUTTE,2005).

## **2. Transport solide par suspension :**

### **a) Définition :**

Le transport par suspension est le deuxième type du 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 (DEGOUTTE,2005).

### **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.

A 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 (figure1).

Donc la condition fondamentale du maintien des particules en suspension et 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 :

$$U^2 = 360.g.D \quad (I-2)$$

Cette équation peut être écrite sous la formule suivante :

$$\tau = 360.\left(\frac{\gamma.g}{C^2}\right) \quad (I-3)$$

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

Avec :

$$U = C.\sqrt{h.J} \quad (I-4)$$

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

### **3. Erosion du fond, dépôt :**

Dans une rivière naturelle, l'écoulement n'est jamais uniforme soit parce que des paramètres géométriques changent (pente, largeur...), soit parce qu'il y a des singularités (méandres, seuils). Il y a donc des zones à plus forte vitesse et des zones à plus faible vitesse.

Dans les zones à forte vitesse, il ya davantage de matériaux prélevés : ce sont des zones d'érosion du fond. Dans les zones à faible vitesse, les matériaux provenant de l'amont peuvent se déposer à nouveau : ce sont des zones de dépôt. Les dépôts prennent la forme de bancs (ou plages ou grèves) ou d'îles.

Une rivière naturelle présente donc une double variabilité de son lit :

- Dans l'espace : il y a des zones privilégiées d'érosion, et des zones privilégiées de dépôt ;
- Dans le temps : des matériaux fines déposés en régime moyen pourront être emportés en crue.

Erosion du fond et dépôts sont des conséquences de l'évolution des débits au sein du cycle hydrologique annuel. Ils traduisent une variabilité naturelle à court terme des conditions d'écoulement et de transport que l'on compare souvent à une respiration. En ce sens, ces modifications sont plutôt de type réversible : le dépôt est repris en crue puis se reconstitue à la décrue à peu près au même endroit. La respiration est un mouvement réversible du fond autour d'une valeur moyenne.

En raisonnant sur une longue période, (de un à cent ans par exemple), des évolutions naturelles (climatiques) ou anthropiques (reboisement de bassin versant) peuvent provoquer des dérives du fond moyen. Le cours d'eau s'adapte progressivement par une tendance générale à l'érosion du fond ou aux dépôts.

Pour une vitesse donnée, le cours d'eau a une capacité de transport solide, liée à l'énergie de l'eau. Le cours d'eau transporte toujours autant de matériaux qu'il est capable d'en transporter, à condition bien sûr que ces matériaux soient disponibles sur place, c'est-à-dire sur le fond ou sur les berges. A chaque instant, l'écoulement est donc saturé en débit solide (charriage et suspension). Dans cette situation, le tronçon de rivière considéré est en équilibre et le débit solide entrant est égal au débit solide sortant. On dit aussi que le taux d'érosion est égal au taux de dépôts. Si le dépôt solide sortant est inférieur, il y a dépôt dans le tronçon considéré ; si le débit solide sortant est supérieur, il y a érosion du fond ou des berges dans le tronçon considéré.

Pour un tronçon de rivière qui ne serait pas saturé en débit solide, l'expérience et la théorie montrent que lorsque le charriage est prédominant, la distance nécessaire pour le retour à la saturation est faible, quelques dizaines de mètres. Par contre, lorsque la suspension

prédomine, l'inertie est plus grande et la distance nécessaire est importante, quelques kilomètres.

- ➔ Si débit solide > capacité de transport : dépôt ; une eau fortement chargée dépose.
- ➔ Si débit solide < capacité de transport : érosion du fond ; une eau chargée érode.

#### **I.4. Quelques données sur le transport solide :**

##### **I.4.1. 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/km<sup>2</sup>/an) pour l'oued Mazafran (côtiers algérois), 2300 (t/km<sup>2</sup>/an) pour l'Isser à Lakhdaria, 490 (t/km<sup>2</sup>/an) pour oued Soummam à Sidi Aïch, 680 (t/km<sup>2</sup>/an) pour oued Medjerda à Souk Ahras (Bourouba, M. 1997) et 150 (t/km<sup>2</sup>/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.

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.

## I.4.2. Données mondiale :

Tableau I-1 : Quelques données mondiales sur le transport solide ( REMINI, 1997).

Pays	Rivière	Surface du bassin versant (Km <sup>2</sup> )	Volume spécifique moyen de transport solide (t/km <sup>2</sup> /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
	Mississipi	2977000	50
Italie	Pô	53500	300
France	Isère	11750	615
	Eroc	990	700
	Durance	3580	150

## I.5. Alluvionnement des retenues :

## I.5.1. Généralité :

## a) 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 ( REMINI, 2003).

## b) 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 ( REMINI, 2003).

### **I.5.2. Les facteurs influencent sur l'alluvionnement des retenues :**

#### **a) 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.

#### **b) 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» ( REMINI, 2003).

#### **c) 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 ( REMINI, 2003).

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.

**d) 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 ( REMINI, 2003).

**e) 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.

**I.5.3. 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 ( REMINI, 1997).



**I.5.4. 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.

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 ( REMINI, 1997).

**I.6. 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  
Présentation de la région d'étude

---

**II.1. Introduction :**

Notre choix d'étude porte sur l'Oued Isser, un oued situé sur le bassin versant de l'Isser, se jetant dans la retenue de BENI-AMRANE d'une capacité initiale de  $15,60 \text{ Mm}^3$  dont  $11,6 \text{ Mm}^3$  utiles. Son bassin versant n'est pas pollué (pas d'industrie), il est caractérisé par une faible densité de la couverture végétale est à noter dont la majorité des zones boisées sont des maquis.

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.

**II.2. Débit liquide :****II.2.1. Définition :**

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

" Volume d'eau passant à travers une section dans l'unité de temps. Généralement exprimé en  $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ , parfois en  $\text{l s}^{-1}$  pour les petits bassins ".

✚ Glossaire international d'hydrologie (1992) :

" Volume d'eau qui traverse une section transversale d'un cours d'eau (ou d'un canal) par unité de temps ".

**II.2.2. Mesure de débit liquide :**

Pour mesurer le débit liquide d'un écoulement naturel (cours d'eau, canal, dérivation...) 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 « hydraulique » 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 (concentration). 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).

### **II.3. Débit solide :**

#### **II.3.1. Définition :**

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 kg/s).

✚ 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.

#### **II.3.2. Mesure du débit solide :**

Les matériaux solides qui pénètrent dans une retenue sont d'une granulométrie extrêmement variée, allant des graviers et des cailloux jusqu'aux particules de limon et d'argile. Puisque la vitesse du courant dans une retenue est faible, les matériaux grossiers sont rapidement déposés par les eaux entrantes pour former un delta. Les matériaux d'une grosseur supérieure à celle des particules de limon ne sont évacués d'une retenue que très rarement .

La meilleure façon d'obtenir une mesure exacte de la quantité de matériaux solides apportés dans le lac par une rivière est de mesurer le débit et la concentration en matériaux solides de la rivière entrante à l'amont de la retenue.

Pour faciliter les mesures, les matériaux solides transportés par une rivière sont habituellement classés en deux catégories :

- a) Les matériaux fins, ayant un diamètre inférieur à 0,062 mm.
- b) Les matériaux grossiers ayant un diamètre supérieur à 0,062mm, ces derniers peuvent être divisés à leur tour en deux catégories, les matériaux en suspension et les matériaux charriés. Les matériaux fins sont facilement amenés en suspension par la turbulence de la rivière, et ils circulent à peu près à la même vitesse que l'eau. La concentration des matériaux fins dans l'eau dépend de la quantité fournie par le bassin versant, quantité qui est elle-même liée aux précipitations. Cette concentration ne dépend qu'indirectement du débit ou de la capacité de transport de la rivière.

Tandis que les matériaux fins sont facilement maintenus en suspension par la turbulence de la rivière, les matériaux grossiers ont tendance à se déposer au fond. En fonction de leur granulométrie et de la turbulence de la rivière, les matériaux grossiers peuvent être dispersés verticalement d'une façon presque uniforme, ou au contraire se concentrer près du fond. Les matériaux grossiers les plus petits sont transportés en suspension avec les matériaux fins et constituent avec eux la charge en suspension. Les autres matériaux, et notamment les plus gros, s'avancent par roulement, par glissement ou par saltation, et sont presque continuellement en contact avec le fond. Ces matériaux constituent le débit charrié.

Le lit d'une rivière comporte en général une grande quantité de matériaux grossiers. La vitesse de leur transport est donc déterminée par la capacité de transport du courant, et non pas par la quantité de matériaux, comme c'est le cas pour les matériaux fins. La vitesse du transport des matériaux grossiers est liée au débit, mais elle tend à varier considérablement dans le temps et selon la section de la rivière choisie.

Les matériaux grossiers en suspension peuvent être prélevés en utilisant des techniques semblables à celles utilisées pour les matériaux fins, mises à part deux considérations importantes. D'abord, à cause de l'inertie des matériaux grossiers, on ne peut obtenir un prélèvement représentatif que si la vitesse d'entrée dans l'appareil est égale à la vitesse du courant au point de prélèvement.

Le débit solide total d'une rivière est la somme de trois éléments : les matériaux fins en suspension, les matériaux grossiers en suspension, et les matériaux charriés. A cause des

différents types de circulation de chaque catégorie, il n'existe aucun appareil capable de mesurer le débit solide total en un point naturel donné. Généralement, on calcule le débit solide total en additionnant les mesures des matériaux charriés. Dans certains cas exceptionnels tels que les déversoirs, les seuils, ou des zones très turbulentes, l'ensemble de matériaux solides peut entrer en suspension, et des appareils conventionnels peuvent être utilisés pour mesurer le débit solide total (STEVAN,1986).

### **a) Méthodes topographiques :**

Toute retenue est condamnée à terme au comblement. La durée de vie utile d'un barrage se situe entre le moment de sa construction et le moment où la sédimentation est tellement avancée que le barrage ne sert plus les objectifs prévus. Puisque la vitesse d'accumulation des matériaux solides est difficile à prévoir, il est pratiquement toujours souhaitable de mesurer le volume et le poids des matériaux accumulés à des intervalles précis, et cela durant la vie entière de l'ouvrage. Ces données peuvent être utilisées à plusieurs fins :

1. Estimer les quantités de matériaux produites dans un bassin versant ou une région donnée,
2. Evaluer les conséquences néfastes de la sédimentation,
3. Utiliser les données pour l'étude de futurs ouvrages,
4. Evaluer l'efficacité des mesures de protection du bassin versant,
5. Déterminer la distribution des matériaux dans une retenue donnée,
6. Prévoir la durée de vie ou la période d'exploitation utile d'un réservoir.

Une fois que la construction d'un barrage en vue de la création d'une retenue est achevée, quelque soit sa dimension, on doit établir un programme de contrôle topographique de la retenue. Ce programme peut varier beaucoup en fonction de la dimension du barrage, de son mode d'exploitation, de son but, et de la quantité d'apports solides prévue.

Dans son principe, la méthode consiste à établir une carte bathymétrique du fond de la retenue, qui est ensuite comparée à une carte établie précédemment, afin de mettre en évidence les différences dans les volumes de sédiments déposés. Il existe deux méthodes principales pour conduire l'étude topographique d'une retenue : l'une basée sur les profils et l'autre basée sur les courbes de niveau. Le choix de la méthode dépend du type de document topographique déjà disponible, des objectifs et de la portée de l'étude, de la taille de la retenue, et du degré de précision requis (STEVAN,1986).

La méthode des profils est la plus répandue pour des retenues de moyenne ou de grande dimension; elle nécessite une étude topographique subaquatique utilisant des méthodes

hydrographiques. Cette méthode consiste à faire le levé topographique d'un certain nombre de profils en travers de la cuvette avant sa mise en eau. Après le remplissage, on lève à nouveau ces profils périodiquement. Chaque profil représente une tranche. Cette méthode nécessite moins de travail sur le terrain et coûte moins cher que la méthode des courbes de niveau. Par contre, elle est souvent moins précise.

La méthode des courbes de niveau a recours essentiellement à des techniques utilisées pour les levés topographiques (Wolf, 1974). La méthode est particulièrement bien adaptée à la prise de vue aérienne, quand les vols peuvent être programmés en fonction de niveaux différents dans la retenue. Pour appliquer cette méthode, il est important de posséder un bon levé topographique de la cuvette avant sa mise en eau. La méthode des courbes de niveau s'emploie essentiellement soit pour les petites retenues, soit pour les retenues vides ou très basses, ou encore lorsqu'un grand degré de précision est nécessaire.

Le choix de la distance entre les courbes de niveau dépend des mêmes facteurs que ceux retenus pour l'élaboration d'une carte topographique, mais il est conseillé de ne pas dépasser 1,5 m pour les grandes retenues et 0,5 m pour les petites retenues (Pemberton et Blanton, 1980).

L'application de l'une ou de l'autre méthode implique la mesure de la cote du fond en de nombreux points dans la retenue. Ces mesures sont pratiquement toujours effectuées en enregistrant la profondeur de l'eau sous un bateau ainsi que la situation exacte du bateau sur la surface de la retenue. Donc, deux types de mesures sont nécessaires ; des mesures de position et des mesures de la profondeur, ou de la cote de fond.

La manière la plus simple de mesurer la profondeur de l'eau est d'utiliser un saumon ou une sonde pour la relever directement. Si l'on utilise un saumon, le poids et la forme du plomb doivent être enregistrés afin que des études ultérieures puissent être faites avec le même type d'instrument. Autrement, les résultats risquent de ne pas pouvoir être comparés pour des zones à fond meuble.

On utilise de préférence des sondeurs acoustiques pour mesurer la profondeur dans la plupart des retenues. Les instruments acoustiques disponibles aujourd'hui peuvent fournir un levé continu de la morphologie du fond. Les éléments de base sont un enregistreur, un transducteur qui peut émettre et recevoir, et une source d'énergie. On peut, avec un étalonnage minutieux, obtenir un degré de précision élevé dans l'établissement d'un levé topographique du fond (STEVAN, 1986).

**b) La Datation des sédiments :**

Le paragraphe précédent traitait des études topographiques effectuées afin de déterminer le taux de sédimentation dans une retenue. La quantité de sédiments accumulée est essentiellement calculée à partir des différentes cotes du fond relevées pendant chaque levé topographique. La précision de cette méthode laisse à désirer, sauf s'il y a une très forte accumulation, car la quantité est calculée à partir de la différence entre deux valeurs élevées et inexactes. Lors de la mesure des fonds à forte pente, l'erreur peut être particulièrement grande, car une petite modification de la position du bateau peut entraîner une modification importante de la cote mesurée du fond. (L'U.S. Soil Conservation Service. 1973) recommande une mesure directe de la profondeur des sédiments quand elle est inférieure à 0,3 m. Dans le cas où un bon levé topographique d'origine n'existe pas, la mesure directe de la profondeur des sédiments est la seule technique possible.

On utilise habituellement des perches de sondage. Des cannes racleuses ou des échantillons carottés pour mesurer la quantité de sédiments accumulés. Si l'eau est peu profonde et si les autres conditions sont favorables, la perche de sondage constitue la méthode la plus simple. Quand des sédiments meubles reposent sur un fond dur, on peut d'abord enfoncer le poteau jusqu'à la surface du dépôt. Relever la profondeur, puis enfoncer le poteau jusqu'au fond plus dur, et relever la profondeur de nouveau pour calculer la profondeur du dépôt. Quand la couche superficielle du fond est très instable, il arrive que le poteau s'enfonce dans le fond à plusieurs centimètres de profondeur sans que cela se remarque. Rakoczi (1983) décrit un dispositif simple et peu coûteux qui peut pallier à cet inconvénient. Il s'agit d'une canne constituée d'une tige en acier, pourvue de rainures qui se remplissent de sédiments. La canne, attachée à une corde, est lâchée verticalement dans les dépôts solides. Après récupération, on étudie les sédiments contenus dans les rainures afin de déterminer l'épaisseur du nouveau dépôt. Pour être efficace, cette canne doit pénétrer complètement dans le dépôt accumulé, et ce dernier doit pouvoir être distingué des matériaux naturels sous-jacents. Les prélèvements carottés sont plus difficiles à effectuer, mais ils fournissent de meilleurs échantillons de sédiments, à partir desquels il est possible de situer l'interface entre le dépôt d'origine et les sédiments accumulés (STEVAN, 1986).

**c) La télédétection :**

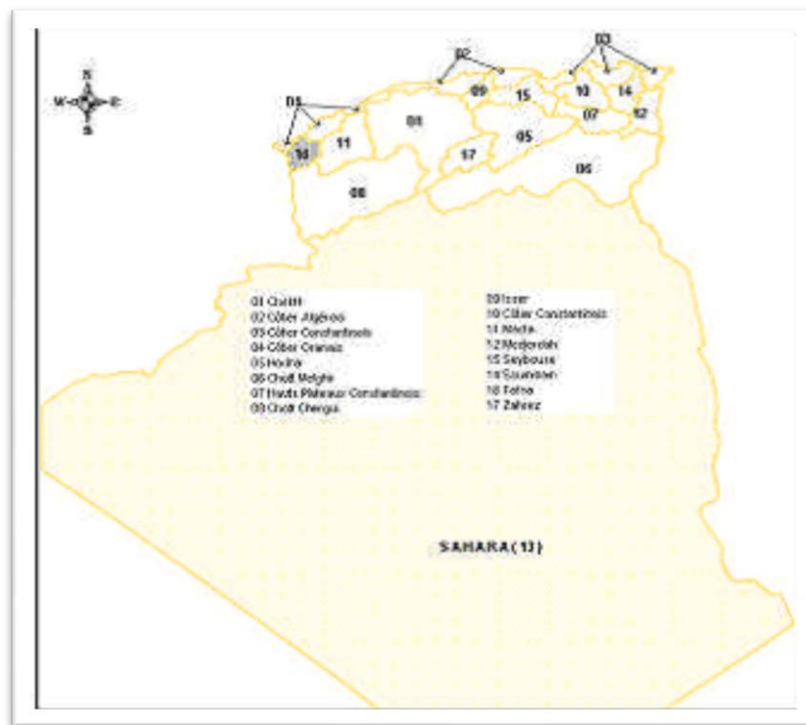
La télédétection à basse altitude s'applique de plusieurs façons à l'étude de la sédimentation dans un réservoir. Des levés topographiques élaborés à partir de photographies aériennes peuvent être utilisés afin de déterminer les volumes de sédiments, à condition de



pouvoir abaisser la retenue d'une façon importante. La photogrammétrie peut aussi aider à repérer les courants de turbidité, afin de déterminer la distribution des sédiments. Par ailleurs, l'hydrographie par laser aérien est actuellement en cours d'expérimentation (STEVAN,1986).

**Cadre de l'étude :**

Toutes ces mesures ont été effectuées dans le bassin versant de l'Isser, code 09.



**Figure II-1:** Grands bassins versants du nord Alg&e;rien

**II.4. Le bassin versant de l'Isser :****II.4.1. Caract&e;ristiques physiographiques :****1. Position g&e;ographiques :**

Le bassin versant de l'Isser limit&e;e à Lakhdaria est situ&e;e à environ 70 Km du sud-est d'Alger ; il pr&e; sente sensiblement la forme d'un quadrilat&e; re d'orientation Sud-ouest/Nord-est. Il couvre une superficie, au site de Lakhdaria, d'environ 4000 km<sup>2</sup>. A l'est, ce bassin se joint à la cha&e; ne montagneuse de la grande Kabylie et il est s&e; par&e; e par le massif de Krachema sur deux p&e; rim&e; tres : bas et moyen Isser.

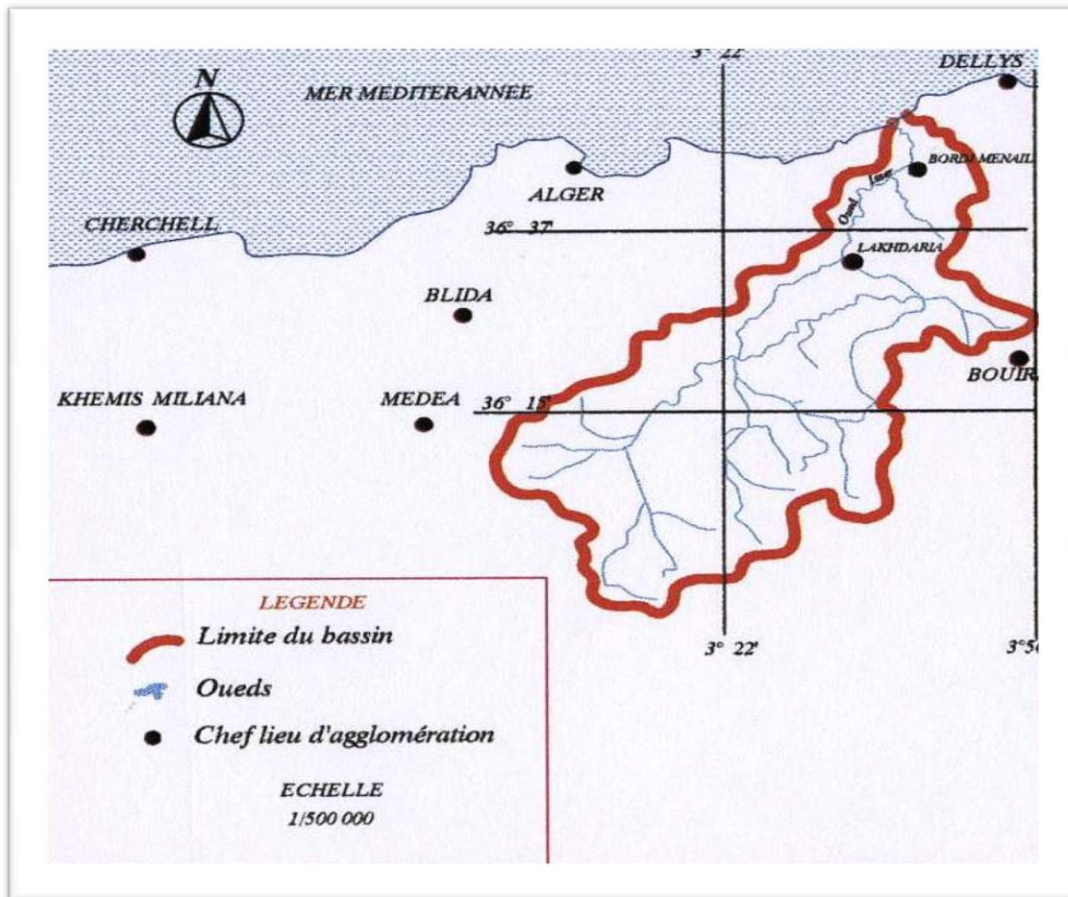


Figure II-2 : Situation géographique du bassin versant de l'Isser.

## 2. Morphologie et orographie :

Le cadre géographique dans lequel se développe le bassin versant est constitué essentiellement de l'Atlas Tellien Algérois au Nord qui culmine à 1130 m au djebel Tamesguida et de la chaîne des Bibans au sud qui culmine à 1810 m au djebel Dira. Ces deux chaînes étant séparées par la plaine des Aribis d'altitude 550 m.

Le bassin de l'Isser est subdivisé en cinq sous bassins, chacun est contrôlé par une station hydrométrique située sur l'oued considéré.

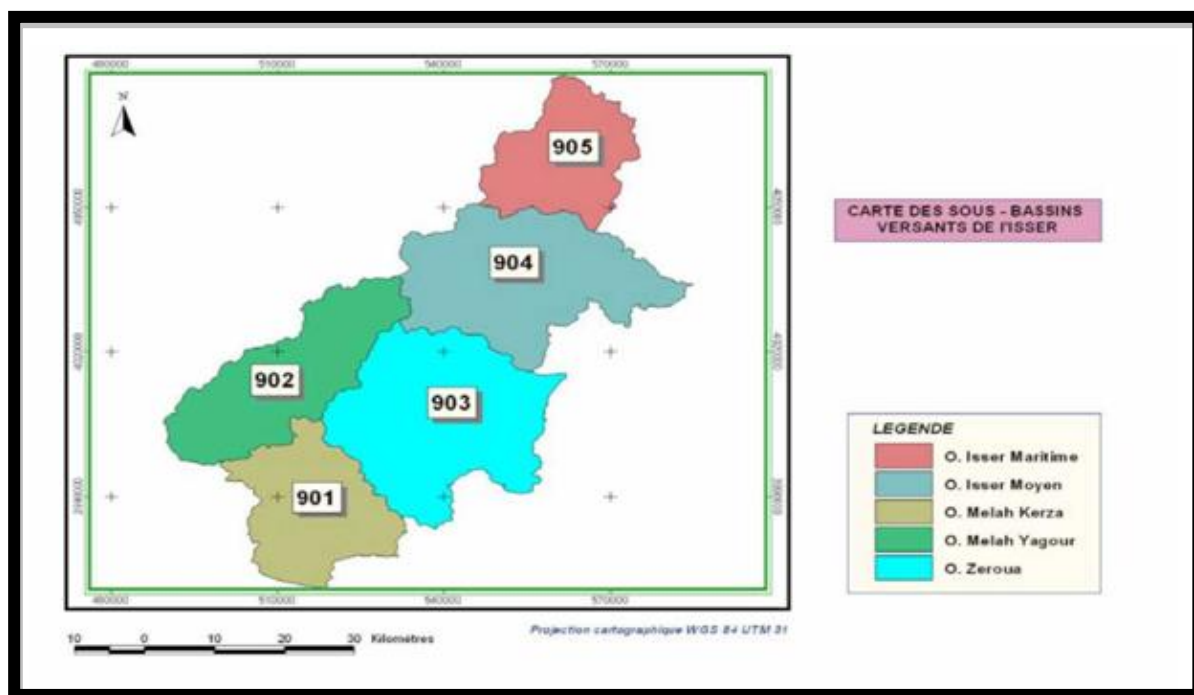


Figure II-3 : Carte des sous-bassins versants de l'Isser.

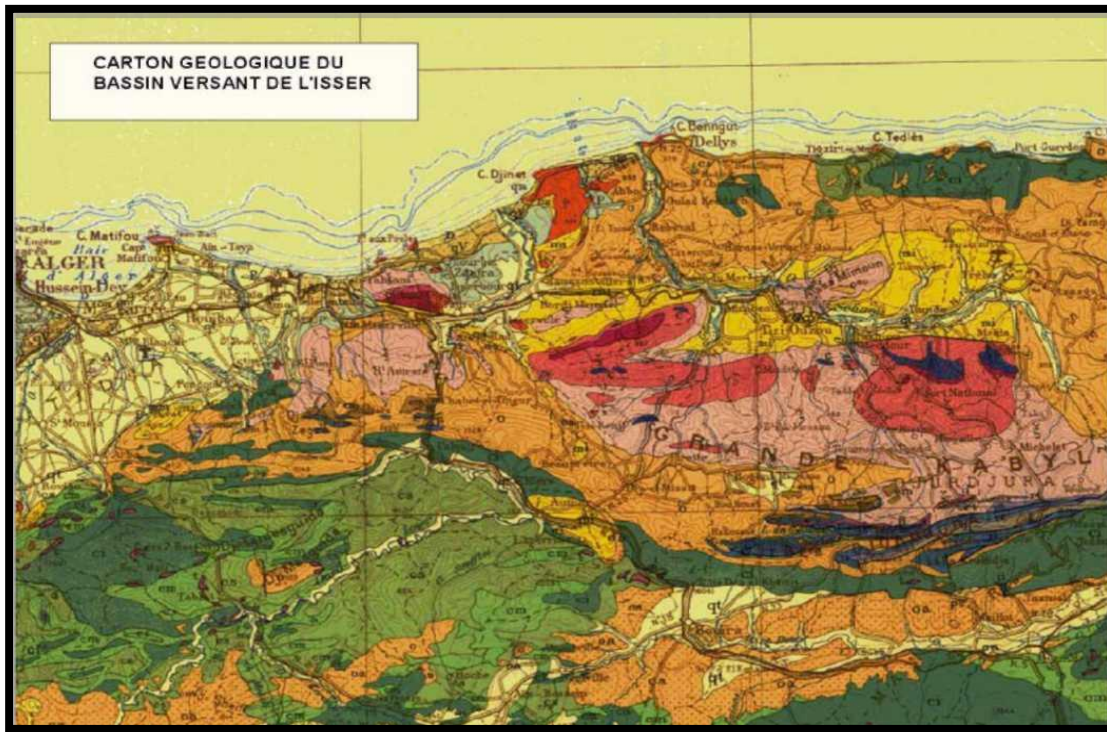
Le bassin versant de l'Isser, dont les lignes de crête se situent entre 90 et 1810 m, présente une altitude moyenne de 710 m.

## 3. Caractéristique agro-pédo-géologiques :

### a) Aperçu géologique :

La région de l'Isser est caractérisée par différentes formations allant de terrains azoïques (formés par le massif schisto-cristallin de Krachna « 200m ») au quaternaire le plus récent. Le secondaire est représenté par le crétacé inférieur et supérieur, le moyen manque. Le tertiaire par l'éocène, l'oligocène et le miocène, le pliocène est absent. Le crétacé inférieur albo-aptien

est développé dans le moyen Isser sur une bande de Lakhdaria et Kadiria, elles sont représentées par des schistes argileux et marnes grises. Le crétacé supérieur se trouve dans la partie de la rive gauche de la vallée du moyen Isser. De Palestro à Laperrine et est composé de marnes schisteuses à la base desquelles des marnes calcaires intercalées de calcaires marneux. (Voir figure II-4).



**Figure II-4 :** Aperçu géologique du bassin de l'Isser.

Les affleurements de l'écène supérieur sont observés en forme de petites taches isolées dans la région de Souk-el Had et sont représentés par des marnes claires et comprennent de nombreuses assises de calcaires, de grès et des quartzites. Les terrasses du quaternaire moyen forment la première et la deuxième terrasse au dessus du lit majeur de l'Isser. En général le quaternaire prédomine. Les formations alluviales occupent la plus importante place formant la vallée de l'Isser et de ces affluents.

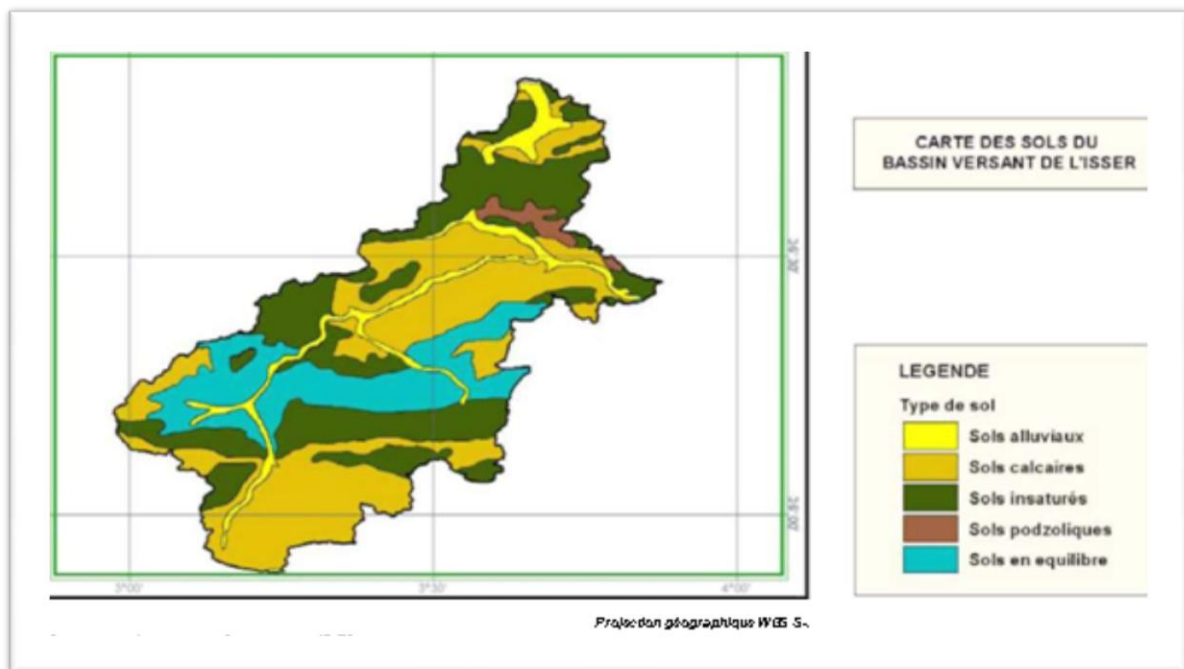
On trouve essentiellement des marnes et des marno-calcaires (50% de la superficie du bassin versant). C'est des formations facilement érodables par l'action mécanique des eaux de pluies. La présence de grès essentiellement quartzeux (qui se désagrègent facilement), des argiles rouges (13% de la superficie du bassin pures ou chargés de sables et de grès, donne au sol une faible résistance à l'érosion. La géologie du bassin versant de l'Isser, avec ses formations généralement imperméables et facilement affouillables, favorise le phénomène de l'érosion des versants et des berges de l'oued.

**b) Les sols :**

On observe une certaine loi dans la répartition des sols en fonction de la topo-lithologie. Le long de l'oued se trouve des sols peu évolués formés sur des apports alluviaux et colluviaux, dont les sols aux textures fines, localisés dans les micro-cuvettes. Des sols de type calcaire se trouvent sur les vallées à faible pente.

On rencontre également des sols minéraux bruts non climatiques, caractérisés par une absence complète de l'humus, ayant un processus d'altération très faible, ce qui fait que la constitution de ces sols est essentiellement de fragments de roches mère grossières ou plus ou moins fine ayant subi une simple désagrégation physique.

Il existe aussi dans la vallée de l'Isser des sols hydro-morphes, due au défaut de l'infiltration de l'eau (centre des cuvettes de la terrasse récente) (M. Halfaoui, 1976). Ces sols ont une texture lourde. En outre, les vertisols sont rencontrés avec une texture fine à très fine, caractérisée par une composition chimique-siallitique très prononcée, prédominance des argiles du groupe montmorillonite. La carte des sols du bassin de l'Isser est donnée dans la figure II-5.



**Figure II.5 :** Carte des soles du bassin de l'Isser.

La lithologie permet de connaître le degré d'érodabilité et d'exprimer l'effet des formations lithologiques sur le transport solide. Le bassin présente une lithologie d'une

extrême sensibilité à l'érosion, car il est constitué en grande partie de formations marneuses. Figure II-6.

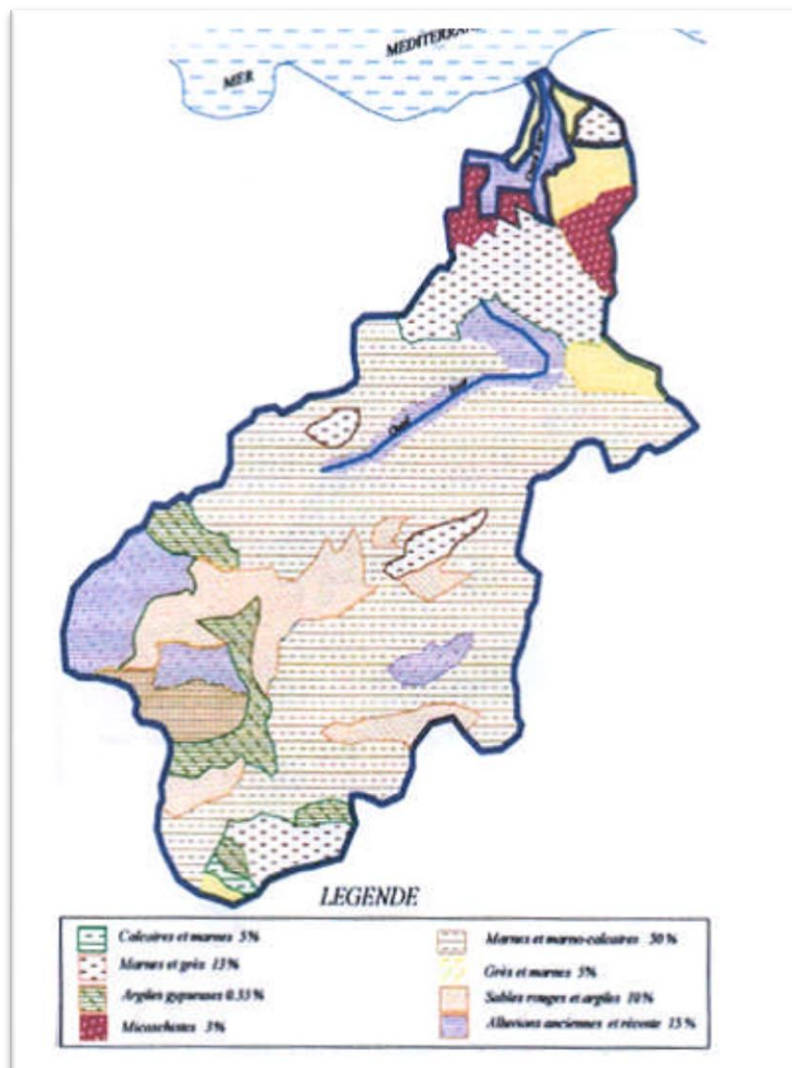


Figure II-6 : Lithologie du bassin versant de l'Isser.

#### 4. Aperçu hydrogéologique :

Les conditions hydrogéologiques sont déterminées par la composition géologique de la région. Les meilleurs aquifères sont situés dans les terrains quaternaires qui forment la vallée de l'oued Isser. Les bordures et le fond de la vallée sont constitués de terrains anti-quaternaires (grès-poudingues, schistes, conglomérats, roches éruptives), qui bien que perméables, ne contiennent pratiquement pas d'eau.

Les formations quaternaires se différencient par leur importance, leur épaisseur, la composition des roches perméables et leurs qualités aquifères. Du point de vue hydrogéologique, on rencontre les formations aquifères suivantes :

- Nappe de la terrasse littorale du quaternaire inférieur.
- Nappe des alluvions du quaternaire inférieure.
- Nappe des alluvions du quaternaire moyen.
- Nappe des alluvions du quaternaire récent et actuel.
- Nappe des formations dunaires éoliennes actuelles.

### **5. Hydrographie et paramètres morpho-métriques :**

Sur toute son étendue, l'Isser est un oued typique de montagne avec une forte pente drainant un bassin de 4000 Km<sup>2</sup> avec un grand nombre d'affluents, morcellent intensivement les flancs des massifs et formant le bassin de l'Isser. Tous les oueds de la région sont de type d'alimentation pluviale ; ils provoquent de grandes crues en hiver et au printemps quand les précipitations sont maximales. L'étiage correspond à la période la plus sèche quand les principaux oueds se dessèchent et il n'en reste que d'étroits filons d'eau. La carte du réseau hydrographique du bassin de l'Isser est donnée dans la figure II-7. Les paramètres morpho métriques du bassin de l'Isser sont donnés dans le tableau 1, et la classification du réseau hydrographique dans la figure II-8.

**Tableau II-1 :** Paramètres morpho-métriques du bassin de l'Isser.

<b>Paramètres morpho-métriques</b>	<b>Bassin de l'Isser</b>
Classification du chevelu	Ordre 6
Densité de drainage	0.61 km/km <sup>2</sup>
Densité hydrographique	0.14 km <sup>2</sup>
Coefficient de Torrentialité	0.064
Constante de stabilité	1.64

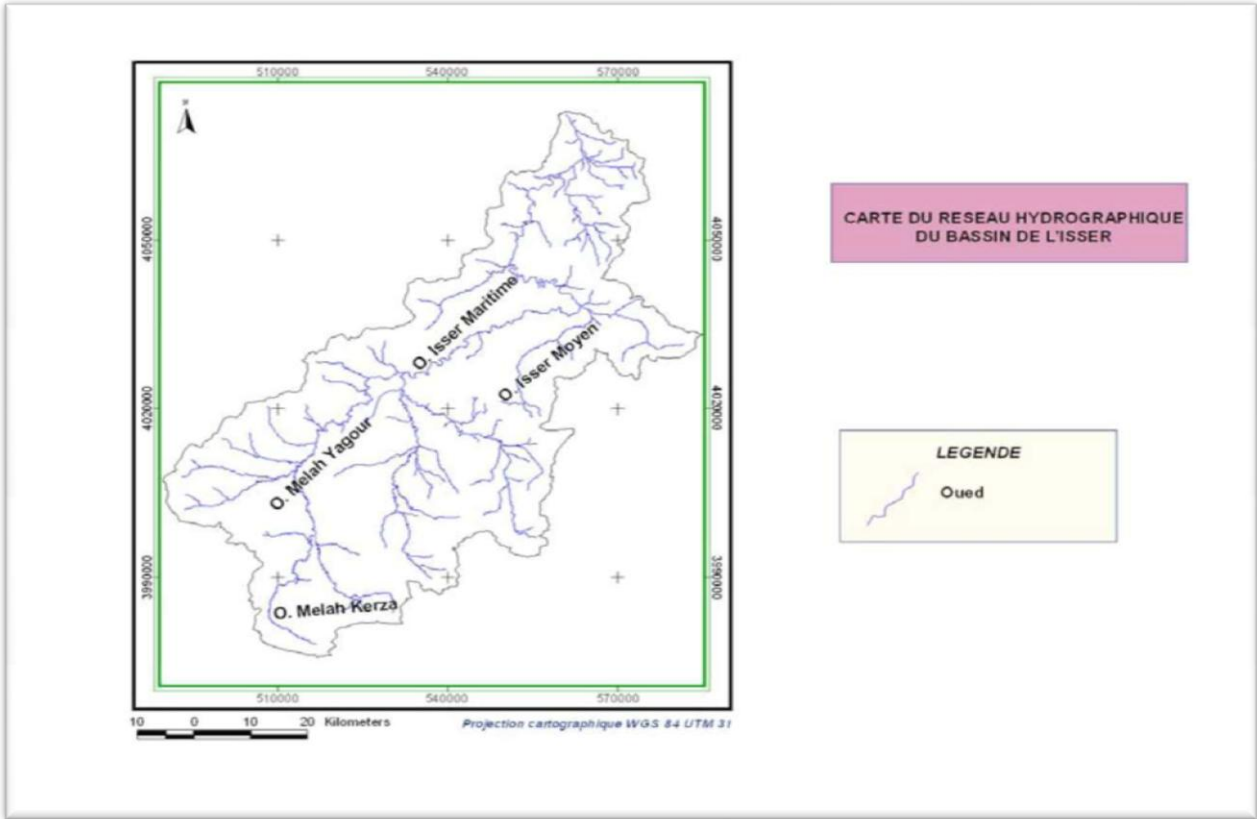
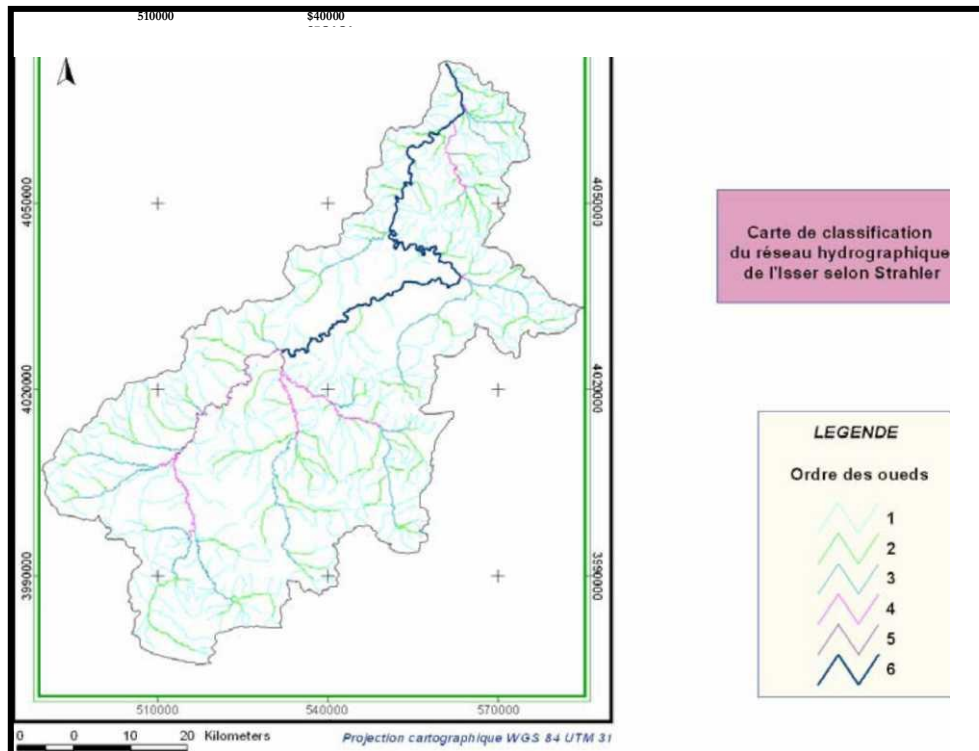


Figure II-7 : Carte de réseau hydrographique du bassin de l'Isser.





**Figure II-8 :** Carte de classification du réseau hydrographique de l'Isser selon Strahler.

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-8). Cette caractéristique favorise le phénomène du transport solide.

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

### Conclusion :

Le bassin de l'Isser, occupe une superficie de 4000 km<sup>2</sup>, son altitude maximale est de 1810 m. Il contient cinq sous-bassins, dans la direction sud-ouest/nord-est. Le réseau hydrographique est bien développé (ordre 6). Les sols rencontrés sont des sols peu évolués à texture fine, les sols calcaires, les vertisols et les sols minéraux butés. Les nappes aquifères sont situées dans la vallée de l'oued Isser.

---

---

## Chapitre III :

Formulation du phénomène :  
Formulation du phénomène :

---

---

### III.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 trois 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 intéressons à la décantation des sédiments maintenus en suspension dans une retenue.

Et dans la troisième partie, on s'intéresse à l'état d'envasement du barrage de BENI-AMRANE.

### III.2. Base de données :

L'étude porte sur les valeurs instantanées des débits liquides, donnés en  $m^3/s$ , mesurés à l'exutoire du bassin versant durant la période allant de janvier 1988 à décembre 2000. A chaque mesure effectuée à été évaluée la charge de la matière en suspension obtenue à partir d'échantillons d'eau prélevés sur les rives de l'oued. Après séchage, et élimination des matières organiques, la boue recueillie sur un papier filtre est pesée. On détermine ensuite la charge correspondante à un litre d'eau prélevé, ce qui établit la concentration, donnée en g/l.

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 :  $C_s (g / l)$

### III.3. Dynamique des cours d'eau :

#### III.3.1 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 :

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

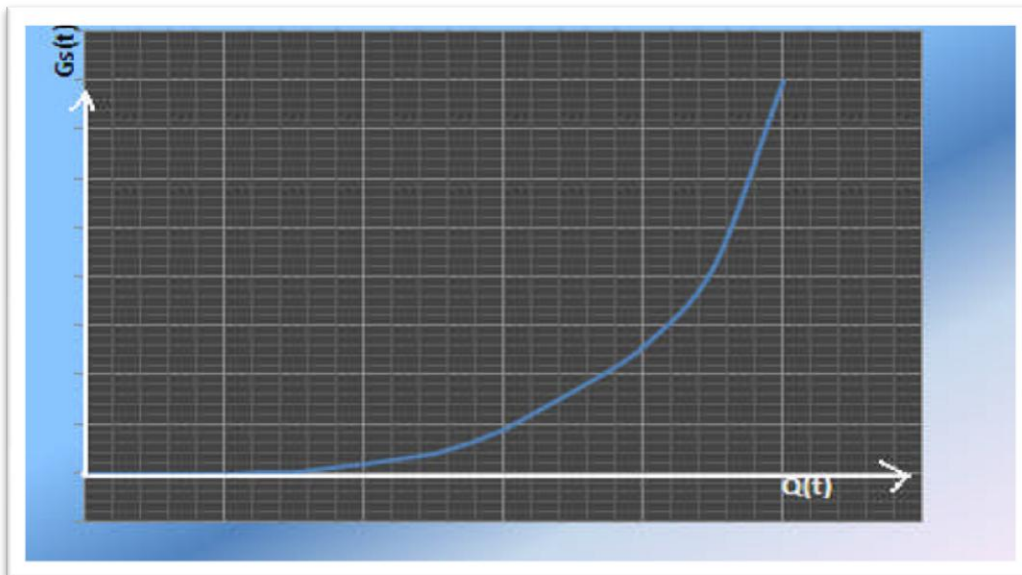
Si le poids spécifique apparent  $w''$  des pierres est connu, on peut calculer :

$$\tau_0 = 0.046.w'' .d \quad (\text{III-3})$$

Avec,  $\tau$  : une variable en fonction de Q, qui est exprimée par la formule suivante

$$\tau = w.h.I \quad (\text{III-4})$$

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



**Figure III-1** : Variation de débit solide en fonction du débit liquide.

Les données hydrologiques nous montrent que  $\tau$  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).

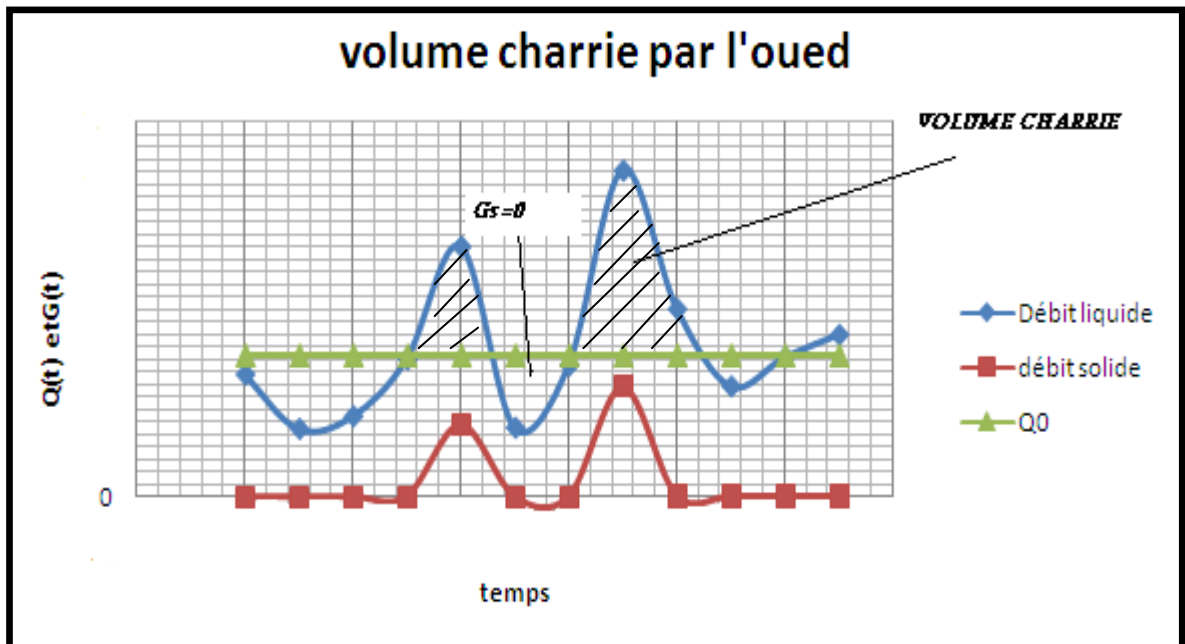


Figure III-2 : Illustration du volume charrié par un Oued.

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 ( $G_s=0$ ).

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

$$V_s = \int_0^T G_s \cdot dt \tag{III-5}$$

Ce volume est représenté par la surface hachurée.

### III.3.2. Signification du volume charrié :

L'hydrologie donne le débit  $Q$  d'une rivière. L'hydraulique et les lois de 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.

### **III.4. Décantation des sédiments :**

#### **III.4.1. Définition du problème :**

Cette partie se base sur une phase stationnaire de l'écoulement diphasique liquide-solide, dont le volume d'eau dans la retenue est supposé immobilisé où l'ensemble des sédiments très fines piégés se trouve en suspension, il s'agit en effet de suivre la décantation des sédiments dans ce volume d'eau qui est en fait la phase finale de processus de sédimentation ou de l'envasement, dans ce processus de décantation nous avons une zone de dépôts au fond surmontée d'une couche d'eau claire dépourvue de sédiment.

A cet effet, nous établirons le système d'équation qui conduit à ces deux paramètres en faisant intervenir d'une part, la variation temporelle de concentration et d'autre part la vitesse de chute de sédiments fins.

A 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 :

- Ecoulement unidimensionnel.
- Les paramètres de la vitesse et la concentration dans une section (éventuellement courbe), orthogonale aux lignes de courant, section désignée 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 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 :

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

Avec :

$V_c$  : La vitesse de chute des particules ;

$D$  : Diamètre des grains ;

$\rho_s$  : Masse volumique des grains ;

$\rho$  : Masse volumique de l'eau ;

$g$  : la gravité.

Expérimentalement la vitesse de chute peut être exprimée sous forme plus simple :

$$V_c = 10^6 \cdot D^2 \text{ (m}^2/\text{s)}$$

#### **II.4.2. Formule de la hauteur d'eau claire :**

Dans cette partie, nous allons étudier la variation de la hauteur d'eau claire en fonction de la largeur de 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 :

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

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 à déterminer 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 :

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

### III.4.3. 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 :  $c(t) \cdot dt \cdot \frac{S(y)}{S_0} \cdot Q$

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

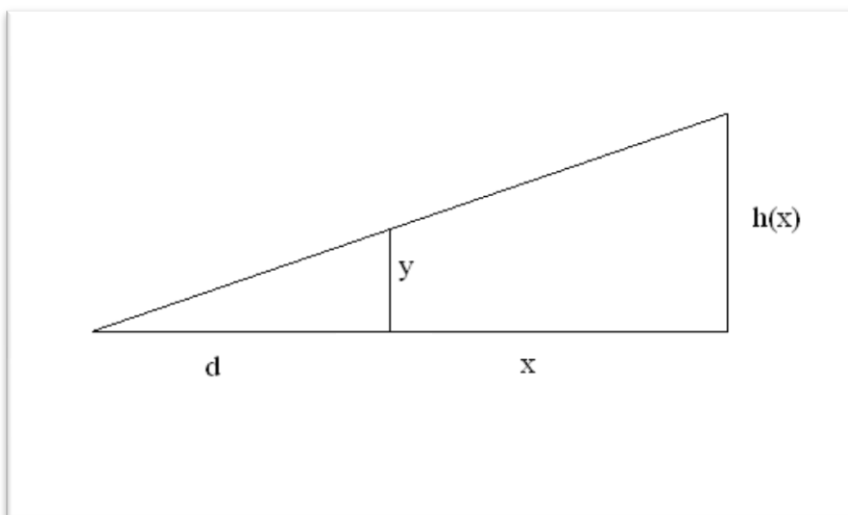


Figure III-3: Variation de  $h$  (théorème de Thalès).



$$h(x) = y \cdot \frac{x+d}{d}, S(x) = S_0 \left( \frac{x+d}{x} \right)^2 \quad \text{(III-14)}$$

Soit :

$$y \cdot \frac{x+d}{d} = \frac{g \cdot D^2}{54 \cdot \nu \cdot Q} \left( \frac{\rho_s}{\rho} - 1 \right) \cdot x \cdot (S_0 + \sqrt{S_0 \cdot S_x} + S_x) \quad \text{(III-15)}$$

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

$$c(t) \cdot \frac{dt}{S_0} \cdot Q \frac{ds}{dy} \cdot dy \quad \text{(III-16)}$$

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

$$dm = \frac{Q}{S_0} \left( \int_0^T C(t) \cdot dt \right) \frac{ds}{dy} \cdot dy \quad \text{(III-17)}$$

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

$$\frac{dm}{dx} = \frac{g \cdot D^2}{54 \cdot \nu} \left( \frac{\rho_s}{\rho} - 1 \right) \cdot \left( \frac{2}{\sqrt{S_0}} \cdot \sqrt{S(x)} + \frac{S_0}{S(x)} \right) \cdot \left( \int_0^T C(t) \cdot dt \right) \quad \text{(III-18)}$$

### **III.5. Organigrammes de calculs :**

#### **III.5.1. Organigramme de calcul de la masse décantée:**

La masse décantée est donnée par l'organigramme suivant :

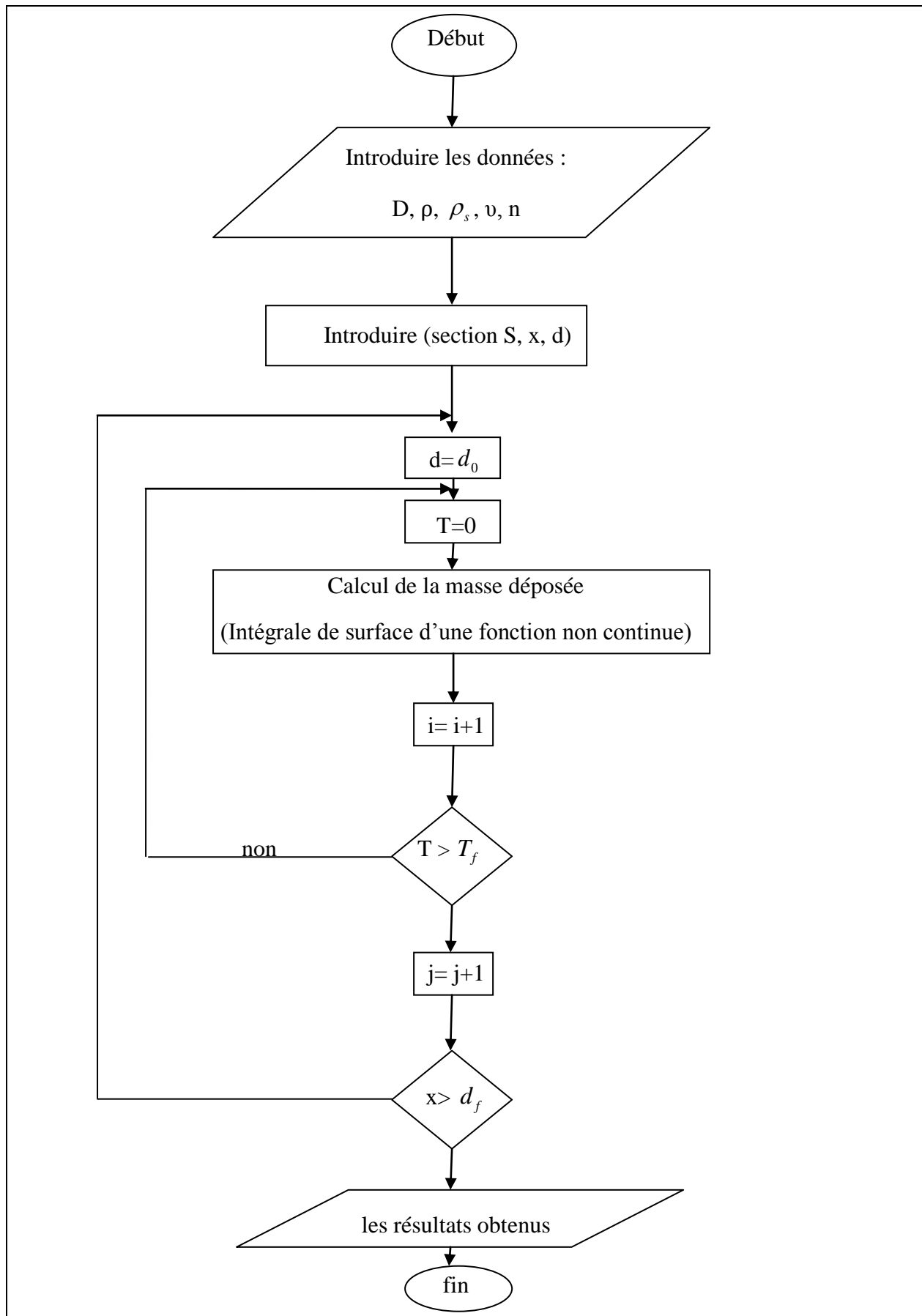


Figure III-4 : Organigramme de calcul de la masse décantée.

## III.5.2. Approche numérique de calcul de l'intégrale :

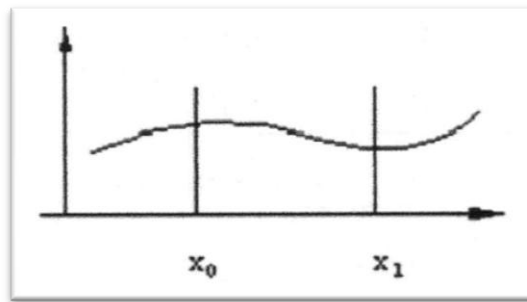


Figure III-5 : Approche d'intégration (Scheid, 1986).

Pour l'intégration numérique, il existe beaucoup de méthode approchées telle que :

- La méthode des trapèzes.
- La méthode des rectangle.
- Le schima de Romberg.
- Le schima de Simpson.

## a) Méthode de Simpson :

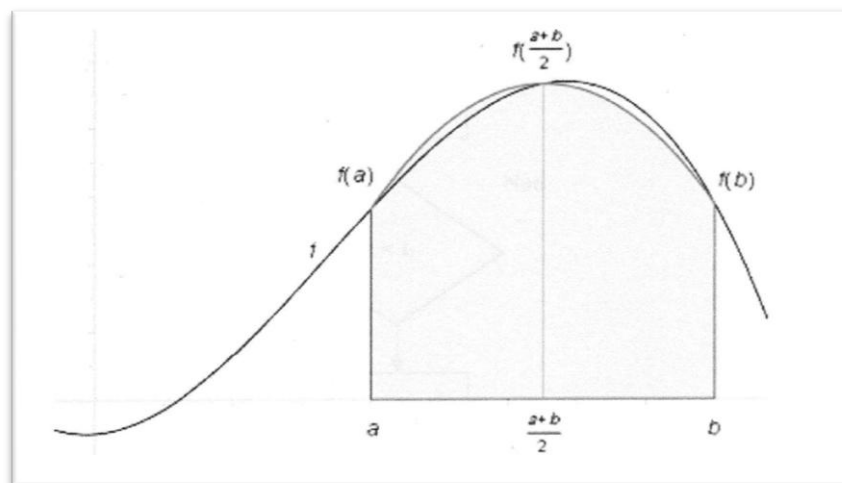


Figure III-6 : Méthode de Simpson

La méthode de Simpson permet de calculer une valeur approchée de l'intégrale :

$$\int_a^b f(x)dx, \text{ pour toute fonction } f \text{ continue sur } [a,b]. \text{ le pincipe est d'approximer la fonction } f$$

par un polynôme quadratique, qui prend les même valeurs que  $f$  en  $a$ ,  $b$  et  $(a+b)/2$ ,

figure (III-6), et on obtien la formul suivante :

$$I(a,b) = \int_a^b f(x)dx \approx \frac{b-a}{2} \left( f(a) + 4 \left( \frac{a+b}{2} \right) + f(b) \right) \quad (\text{III-19})$$

### **III.6. 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.18).

---

## **Chapitre IV :**

# Envasement du barrage de Beni-Amrane

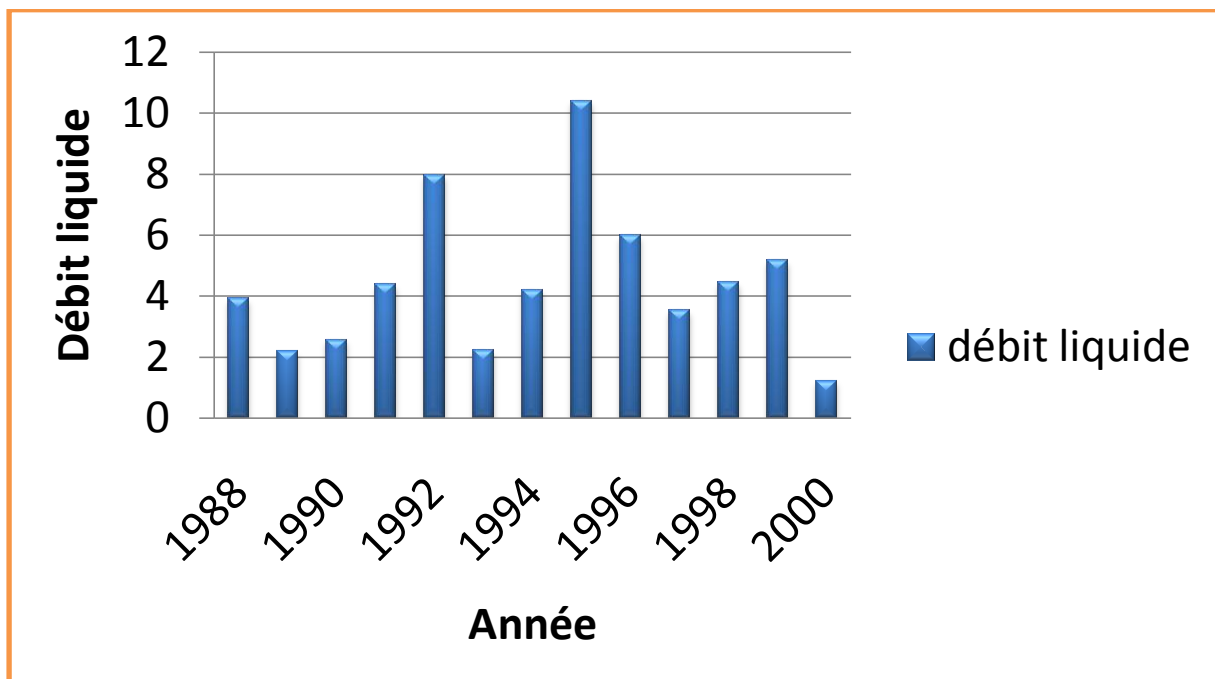
---

### IV.1. Introduction :

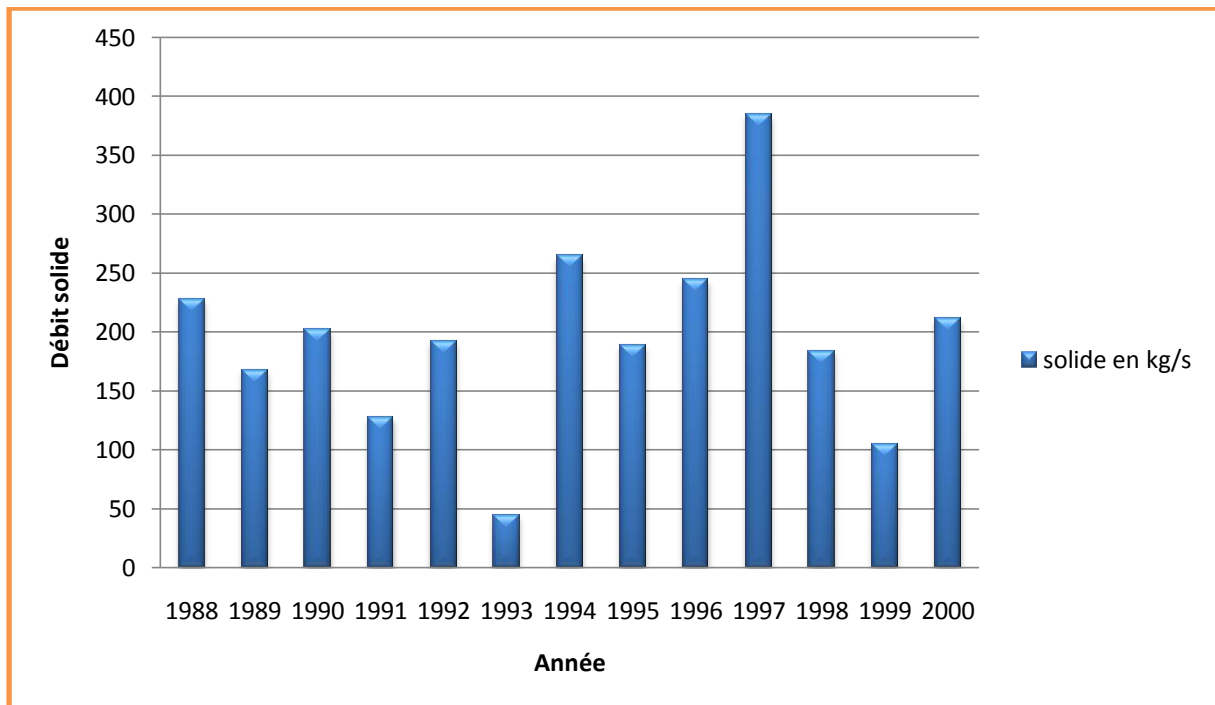
Le bassin est drainé par deux principaux cours d'eau : Oued Mellah et Oued Isser, et dispose d'un réseau hydrographique assez dense et couvrant une très grande partie du bassin. Cette caractéristique favorise le phénomène du transport solide.

### IV.2. Situation de l'envasement :

La retenue du barrage de BENI-AMRANE a connu un envasement important et rapide depuis sa mise en service 1988, diminuant sa capacité utile.



**Figure IV-1 :** Variation annuelles des apports liquide de l'Oued Isser.  
(Station Lakhdaria).

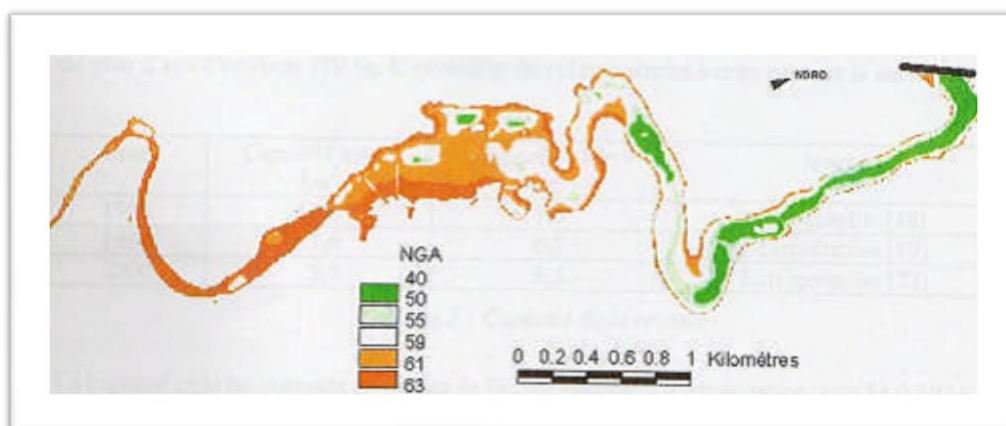


**Figure IV-2 :** Variation annuelles des apports solide de l'Oued Isser.

Le volume moyen liquide est de  $414 \text{ Mm}^3 / \text{an}$ , correspondant à un module interannuel de  $13 \text{ m}^3 / \text{s}$ . La charge solide moyenne est estimée à  $16,2 \text{ g/l}$ , valeur correspondant à un taux d'érosion spécifique de  $1800 \text{ t/km}^2/\text{an}$ .

Les concentrations varient très largement (de 0 à  $265 \text{ g/l}$ ) suivant le régime, l'essentiel des débits solides provenant de la phase de montée des crues. La concentration interannuelle varie peu : de  $12,4$  à  $19,5 \text{ g/l}$ .

La cuvette s'étend sur un méandre de l'Oued Isser suivant une longueur d'environ  $9 \text{ km}$ . La figure suivante représente l'évolution de la cuvette.



**Figure IV-3 :** Situation de la cuvette en 1994.

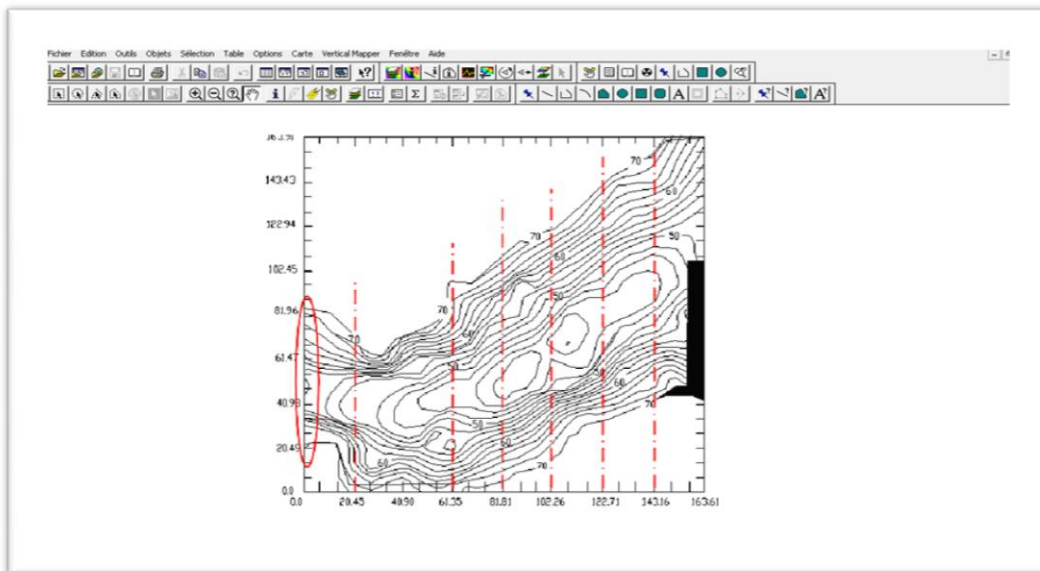


**Figure IV-4 :** Situation de la cuvette.

Pour visualiser l'évolution de la vase dans la retenue on s'est basé sur la méthode topographique qui est basée sur les courbes de niveau ; pour cela on a procédé sur MapInfo.

Les étapes à suivre sont les suivantes :

**Etape 1 :** intégration de levé topographique de la retenue.

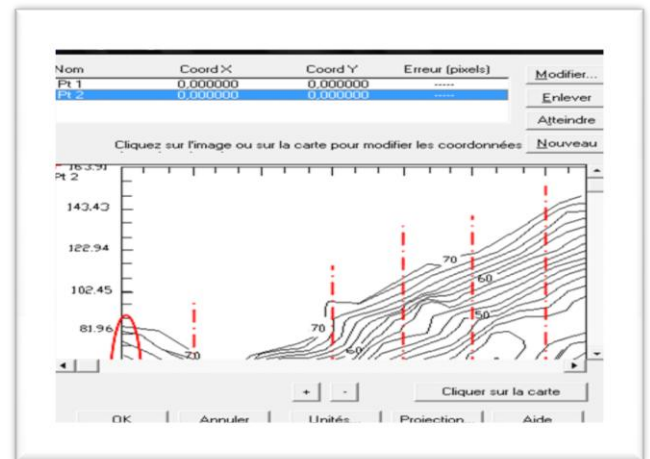


**Figure IV-5 :** Levé topographique sous MapInfo 8.0.



**Etape 2 :** calage de la carte.

Pour pouvoir connaître les coordonnées de chaque point sur la carte, il faut passer à l'étape de calage. Elle consiste à introduire la projection de la carte topographique, et de repérer au moins quatre points connus sur la carte. En appuyant sur le bouton projection nous introduisons les projections de nos cartes.



Une fois ces différents points repérés, nous saisissons leurs coordonnées réelles. En cliquant sur chacun des points de repères, on introduit ses coordonnées. On dit que la carte est **calée**.

**Etape 3 :** Digitalisation :

✚ Création d'une couche :

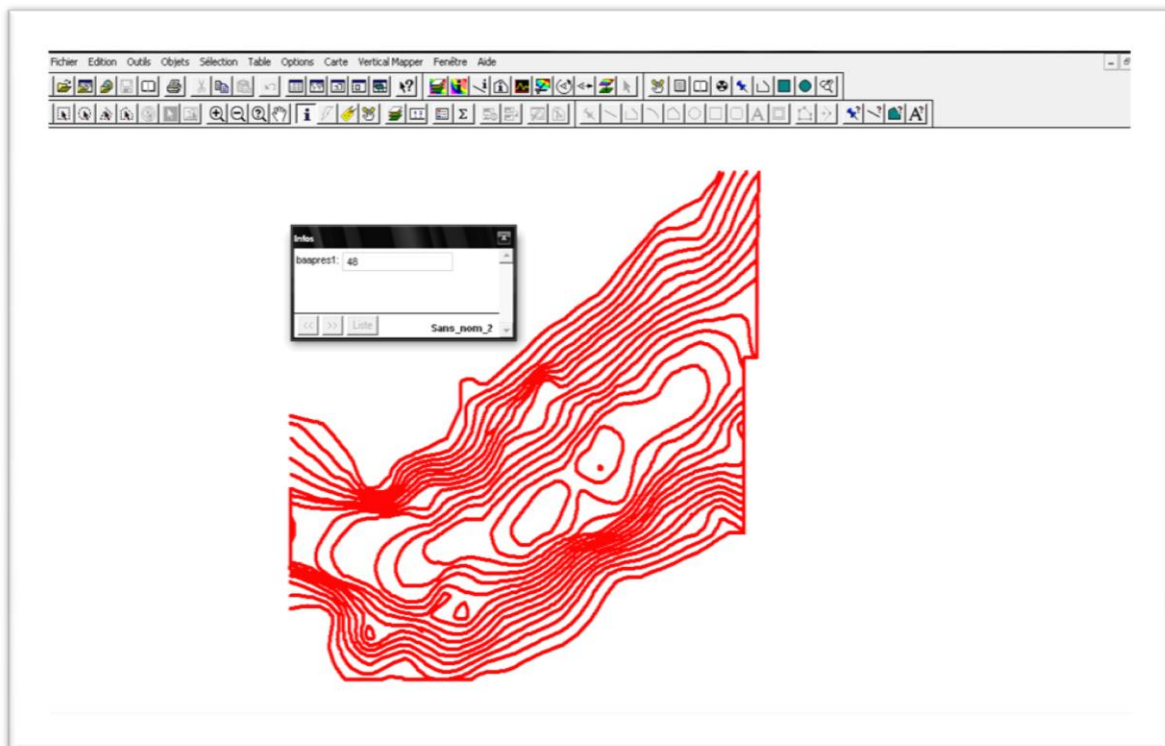
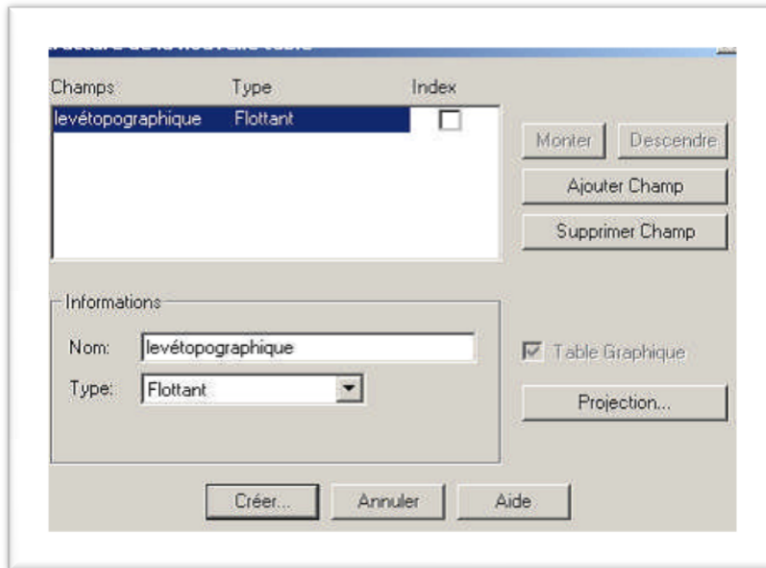
Il faut associer une table qu'on doit définir. Après ça on définit la structure de notre table.

En cliquant sur chaque courbe de niveaux.

Et en suite on procède à faire entrer les informations de notre tableau.

Les coordonnées géographiques x, y sont enregistrées automatiquement dans la table, mais l'élévation z doit être introduite à l'aide du clavier.





**Figure IV-6 :** Enregistrement des données sous MAPINFO 8.0.

Une fois l'opération terminée (digitalisation de toutes les courbes de niveaux sur la carte). On aura une couche informatise :

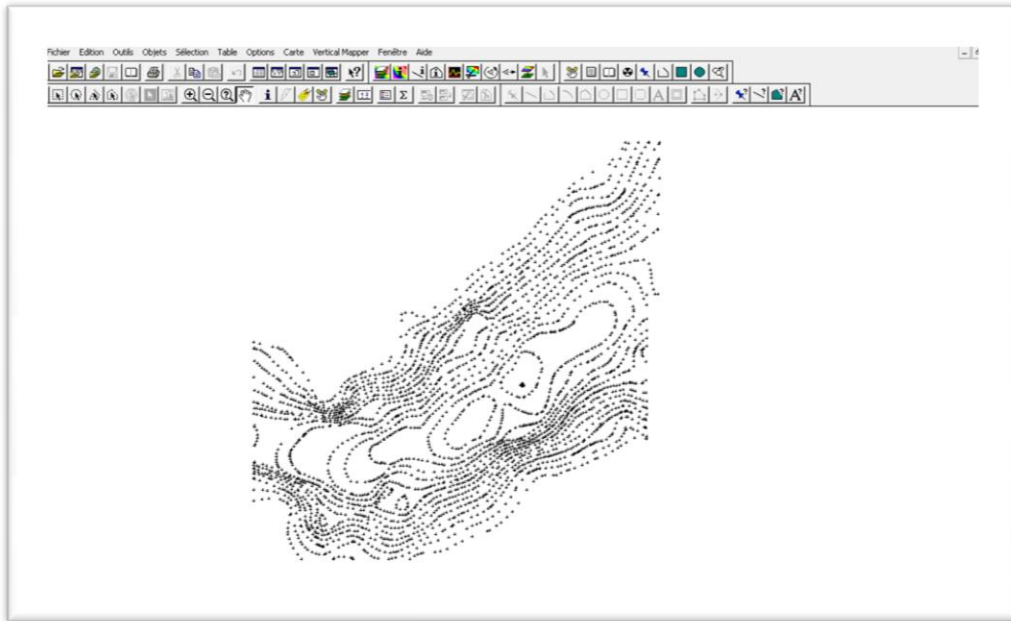


Figure IV-7 : Courbe de niveau digitalisé sous Vertical Mapper.

Etape 4 : interpolation :

The image illustrates the steps for creating a TIN interpolation in Vertical Mapper:

- Menu Selection:** The 'Create Grid' menu is open, and 'Interpolation...' is selected.
- Method Selection:** The 'Select Interpolation Method' dialog shows 'Triangulation with smoothing' as the chosen method. The 'Select Table and Column' dialog shows 'levé topographique' selected as the table and column.
- TIN Creation:** The 'TIN Interpolation: Create TRI' dialog is shown with 'Average value' selected for coincident point aggregation. The file name is 'C:\Documents and Settings\alt.tri'.

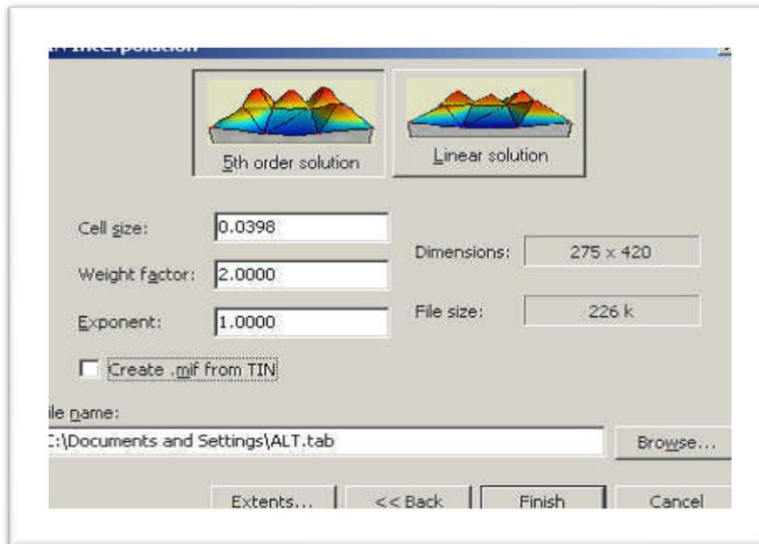


Figure IV-8 : Les étapes d'interpolation.

Après avoir traité le levé Topographique digitalisée de la retenue de BENI-AMRANE, on visualise en 3D l'évolution de la vase :

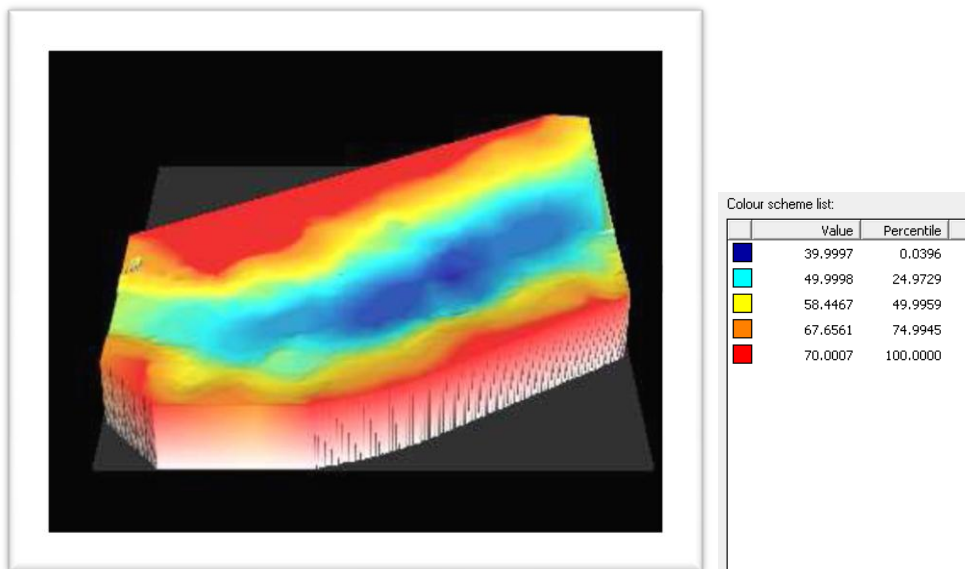


Figure IV-9 : La retenue de BENI-AMRANE 1988.

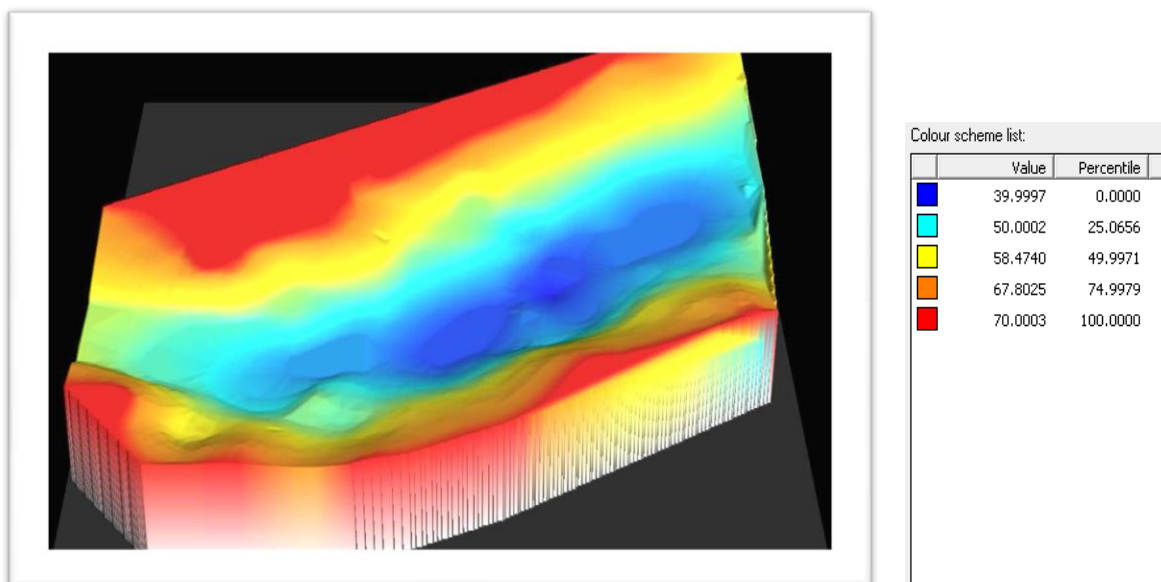


Figure IV-10 : La retenue de BENI-AMRANE 1 année après.

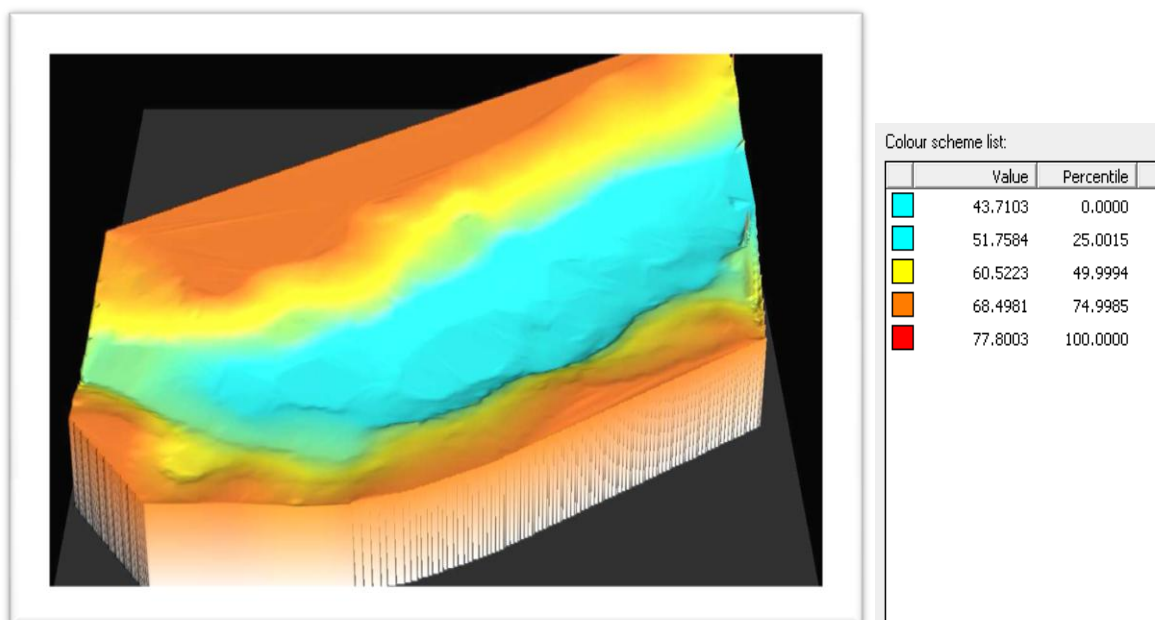


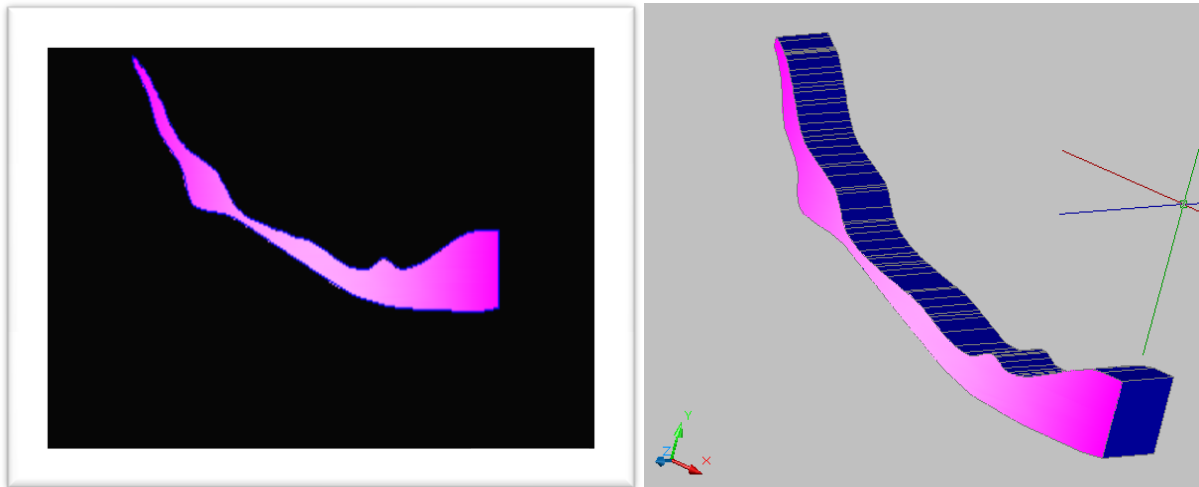
Figure IV-11 : La retenue de BENI-AMRANE 5 ans après.

### IV.3. La distribution des sédiments dans la retenue :

L'étude de la distribution des sédiments dans les « petites retenues » de basse chute reste encore méconnue, très peu de recherches ont été effectuées dans ce sens. En effet, comme il à été cité par BRUNE, “l'envasement dans les « petites » retenues est uniforme sur toute la cuvette, et le classement granulométrique est moins net “ ( REMINI, 1997).

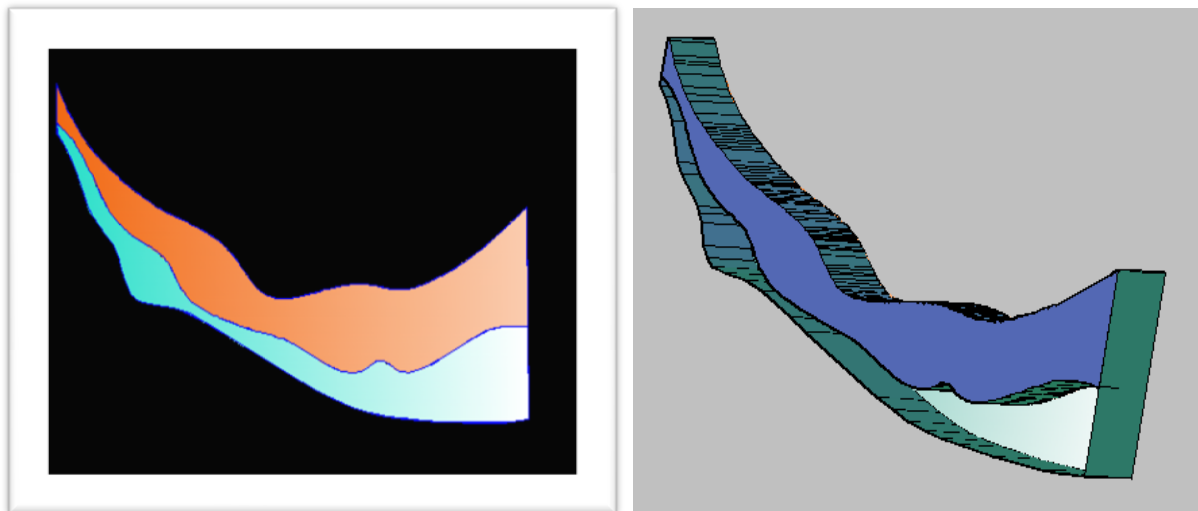
Suite à ces hypothèses, et d'après les trois levé topographique, une fois déposées au fond, les sédiments s'y accumulent en formant un lac de vase d'un volume qui peut être important.

#### IV.4. Calcul du volume de la vase :



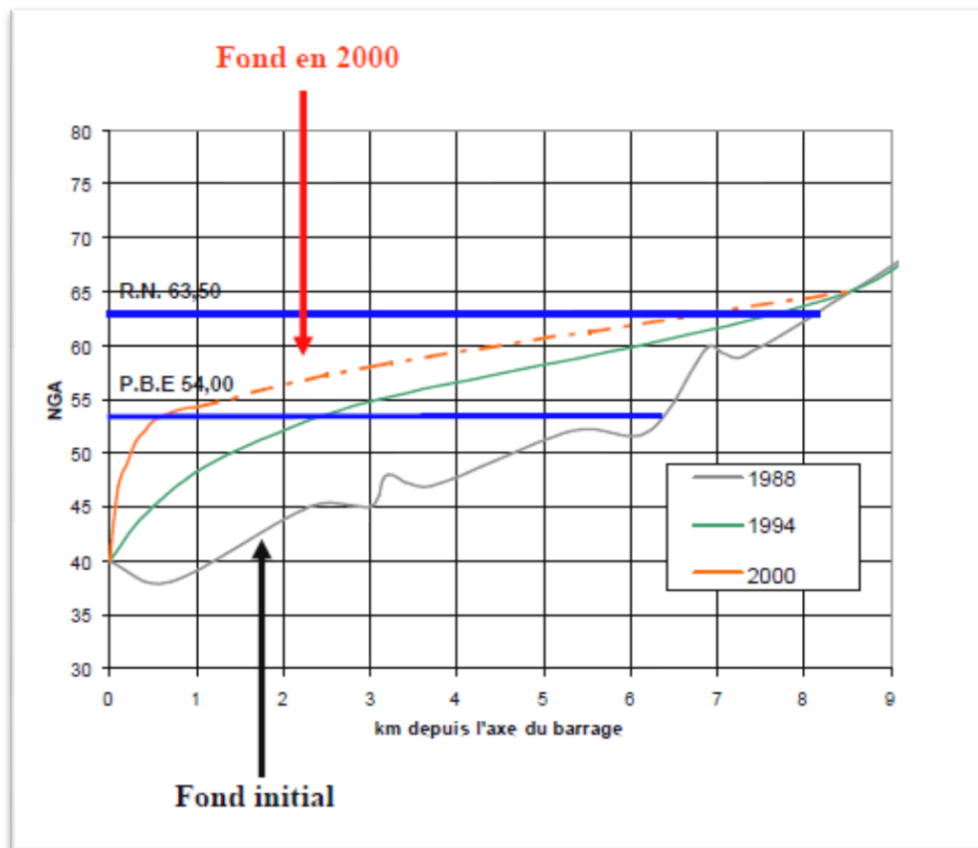
**Figure IV-12:** Volume de la vase déposé après une année.

La surface de la vase après une année d'exploitation est de : 31051,6415 m<sup>2</sup>, ce qui correspond à un volume de vase de 2,93 Mm<sup>3</sup>.



**Figure IV-13 :** Volume de la vase déposée cinq ans après.

La surface da vase déposée après cinq an d'exploitation est de : 76975,8325 m<sup>2</sup>, ce qui correspond à un volume de vase de : 7,27 Mm<sup>3</sup>.



**Figure IV-14** : Profil en long de la cuvette.

On constate un exhaussement moyen de près de 10 m entre la mise en eau du barrage et 1994. Plusieurs mètres supplémentaires de sédiments se sont accumulés depuis.

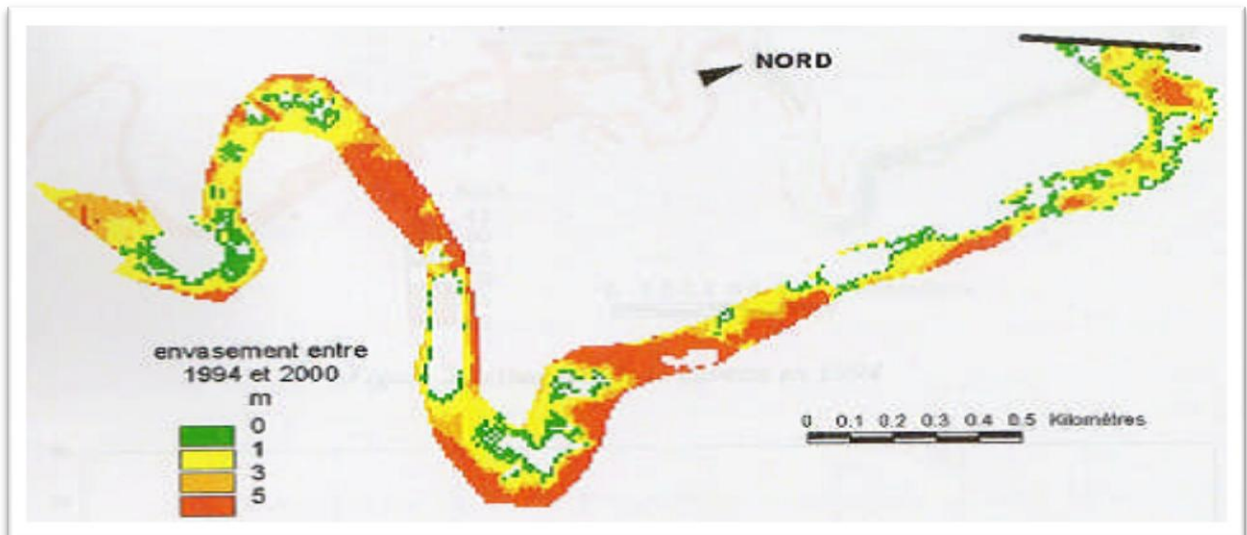
La pente initiale de l'oued s'est légèrement adoucie, passant de 2,5 m/km à 1,5 m/km.

La pente du dernier kilomètre aval a par contre considérablement augmenté du fait des chasses par les vannes. Initialement égale à celle du reste de l'Oued, elle atteint aujourd'hui la valeur 1,4%, voir 3% pour les derniers 500m.

Une image de l'évolution de l'envasement entre 1994 et 2000 est donnée ci-dessous.

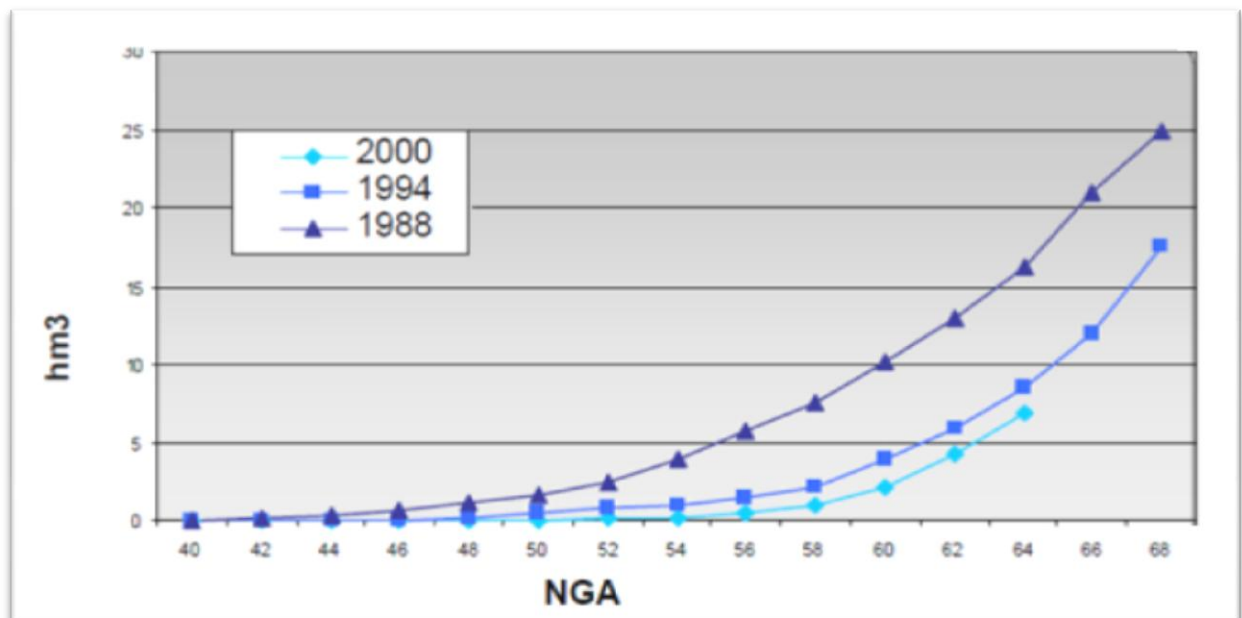
Elle ne concerne que la moitié aval de la cuvette.





**Figure IV-15 :** Evolution de l'envasement entre 1994 et 2000.

Les courbes hauteurs - capacité, extrapolées au delà de la cote 54 NGA s'agissant de la Courbe de l'année 2000, sont représentées ci-après.



**Figure IV-16 :** Courbe hauteur capacité de la cuvette.

Le niveau de Retenue Normale est de 63,50 NGA, correspondant initialement à une superficie du plan d'eau d'environ 170 ha. L'évolution du volume stocké à cette cote est le suivant :

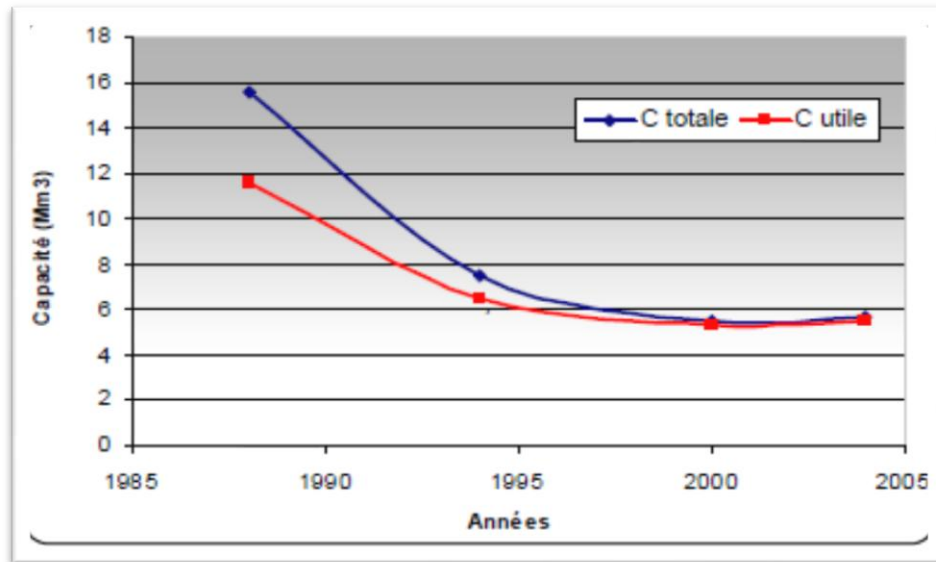


Figure IV-17 : Capacité totale et utile de la retenue.

L'envasement annuel de la retenue sur la période 1988-2000, correspondant aux apports solides (suspension et charriage) diminué du volume évacué lors des chasses, varie entre 0,3 et 1,4  $hm^3$ .

La perte de capacité moyenne annuelle des 8 dernières années est de 0,18  $Mm^3 / an$ . Le taux d'envasement du barrage est de 63.65%.

---

**Chapitre V :**

Résultats et interprétations  
**Résultats et interprétations**

---

**V.1. Introduction :**

Dans cette partie nous allons commenter les résultats obtenus par les trois modèles qui ont été présentés dans les chapitres 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). Et le troisième modèle basé sur les levés topographique de la retenue (barrage de BENI-AMRANE).

**V.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 hydrogéologiques et géologiques du bassin versant.

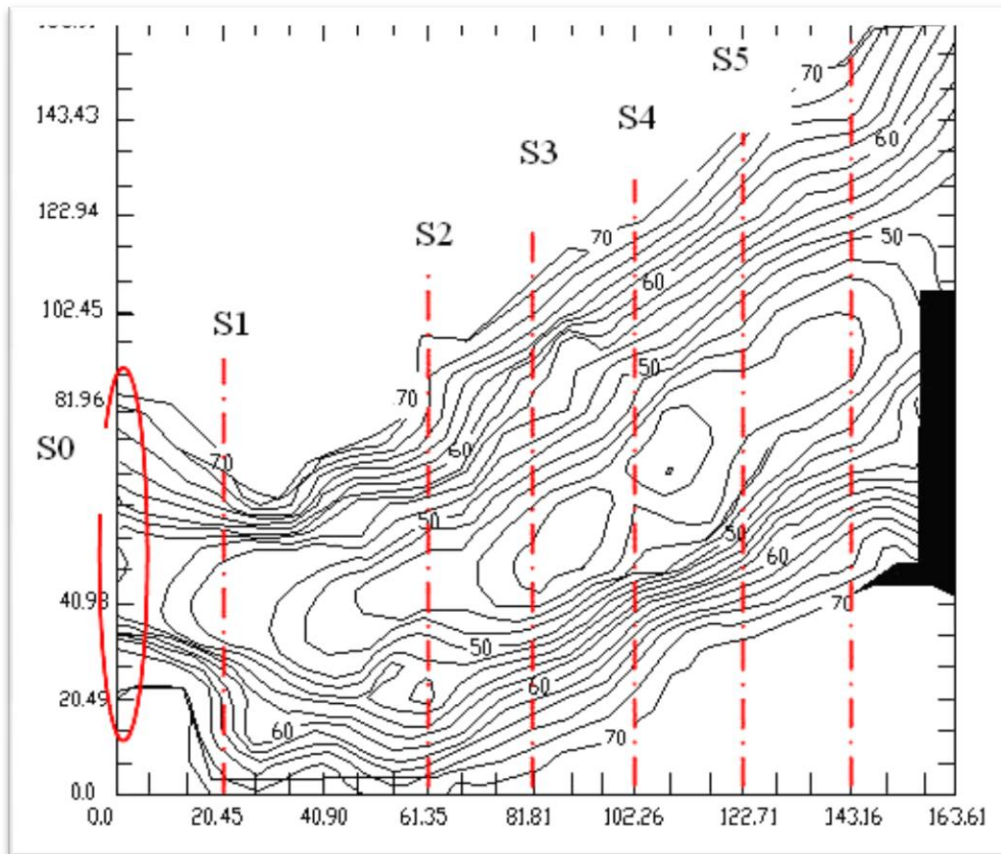
**Tableau V-1 :** Volumes des sédiments charriés par l'Isser.

Année	1990	1992	1998	2000
Volume charrié par l'oued d'Isser (t/km <sup>2</sup> /an)	0,560	0,705	0,778	0,875

**V.3. Evaluation de la masse décantée :**

Les graphes que nous allons voir par la suite sont basés sur les distance 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 caler le plan topographique (figure V-1) avant de présenter ces graphes :



**Figure V-1 :** Carte topographique de la retenue de BENI-AMRANE.

La 1<sup>ère</sup> série des graphes étudie la variation de la masse décantée des particules solides maintenues en suspension dans une section donnée (section,  $S_1, S_2, S_3, \dots$  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-18) et nous faisons varier la longueur de la retenue.

Dans la deuxième série, nous fixons la distance et nous variions le temps (toujours dans l'équation ( III-18)).

### V.3.1. Variation de la masse décante en fonction de la distance :

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

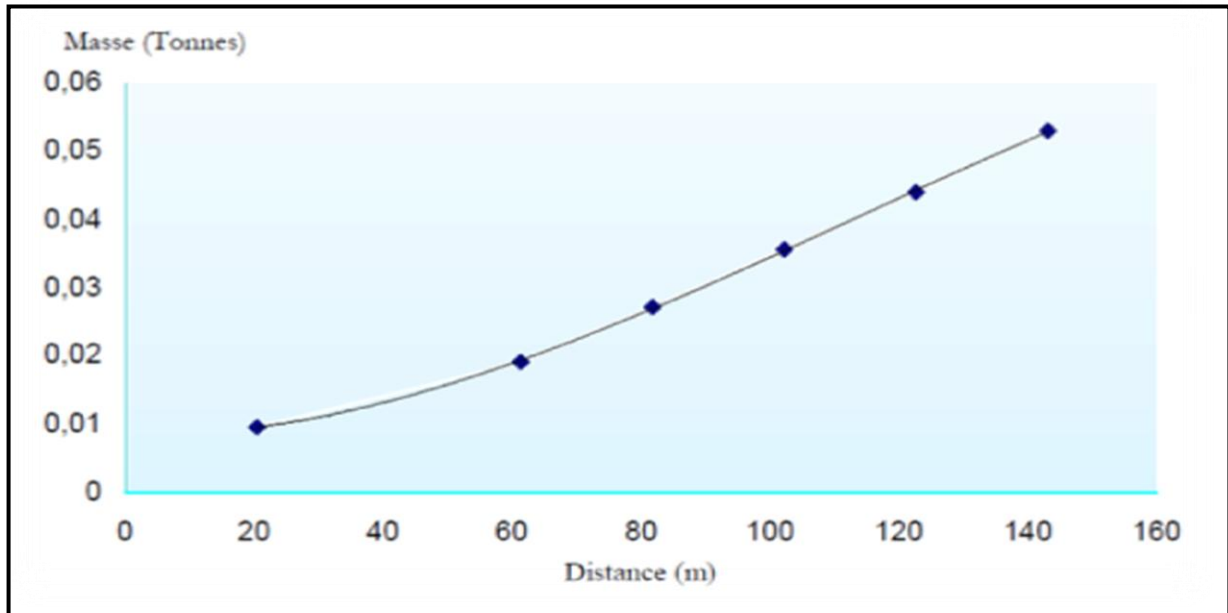


Figure V-2 : Masse décantée durant 60 jours.

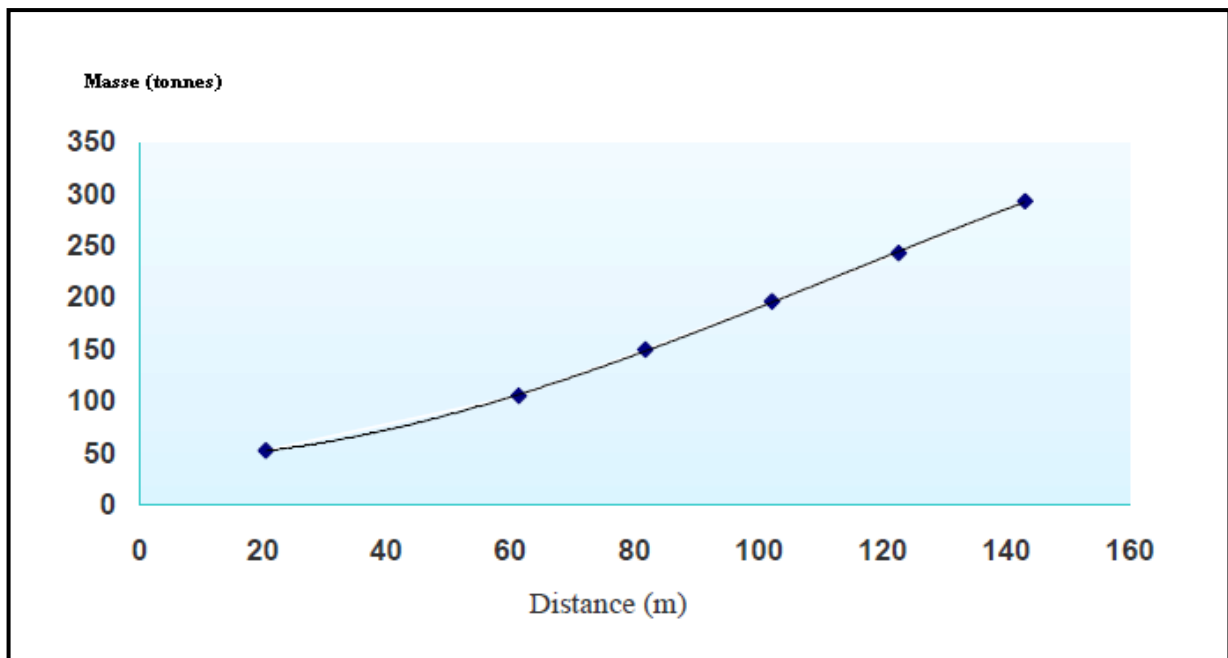


Figure V-3 : Masse décantée durant 120 jours.

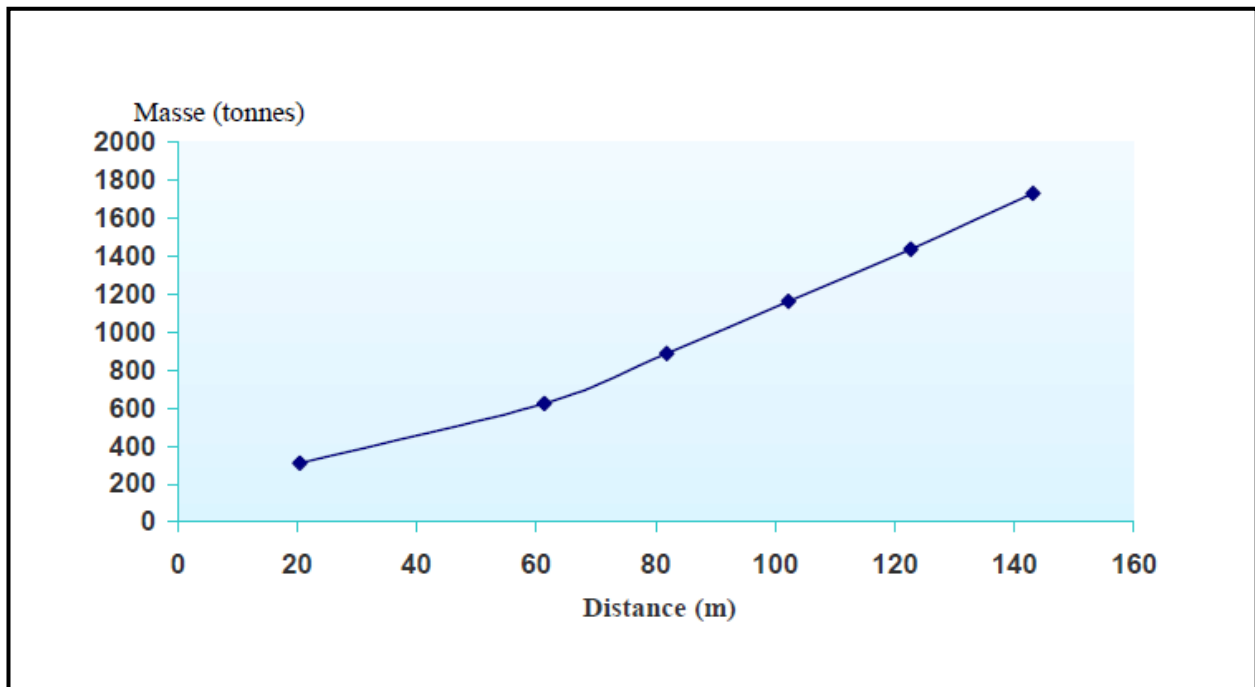


Figure V-4 : Masse décantée durant 180 jours.

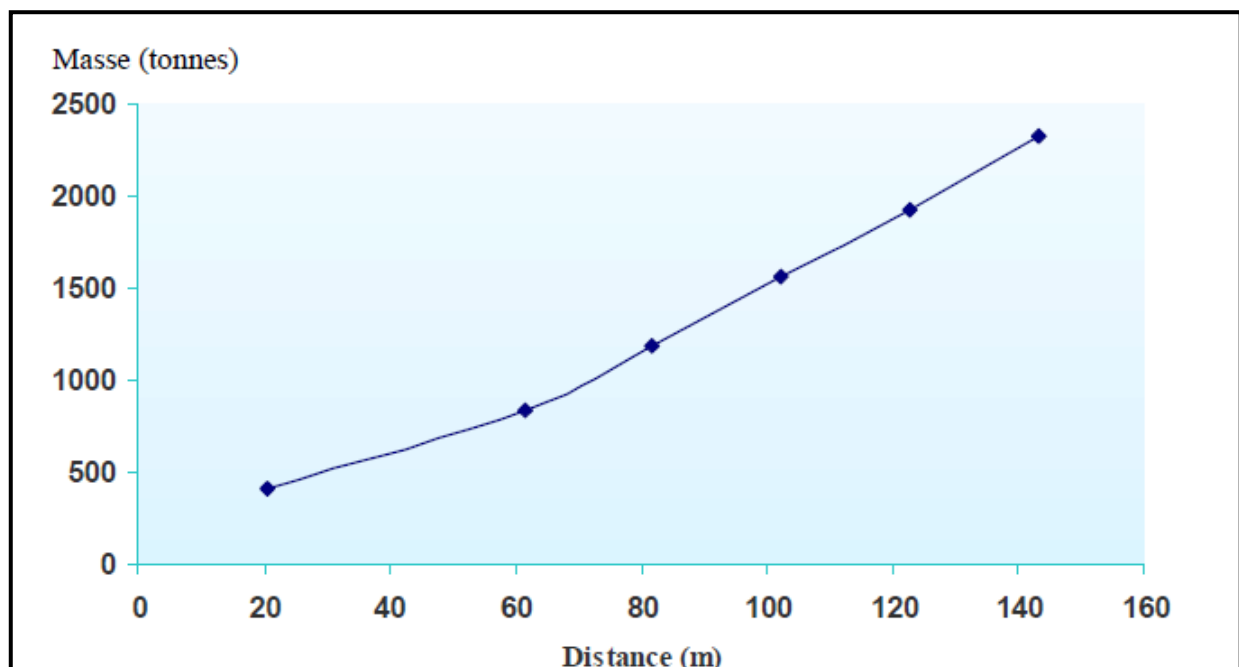


Figure V-5 : Masse décantée durant 240 jours.

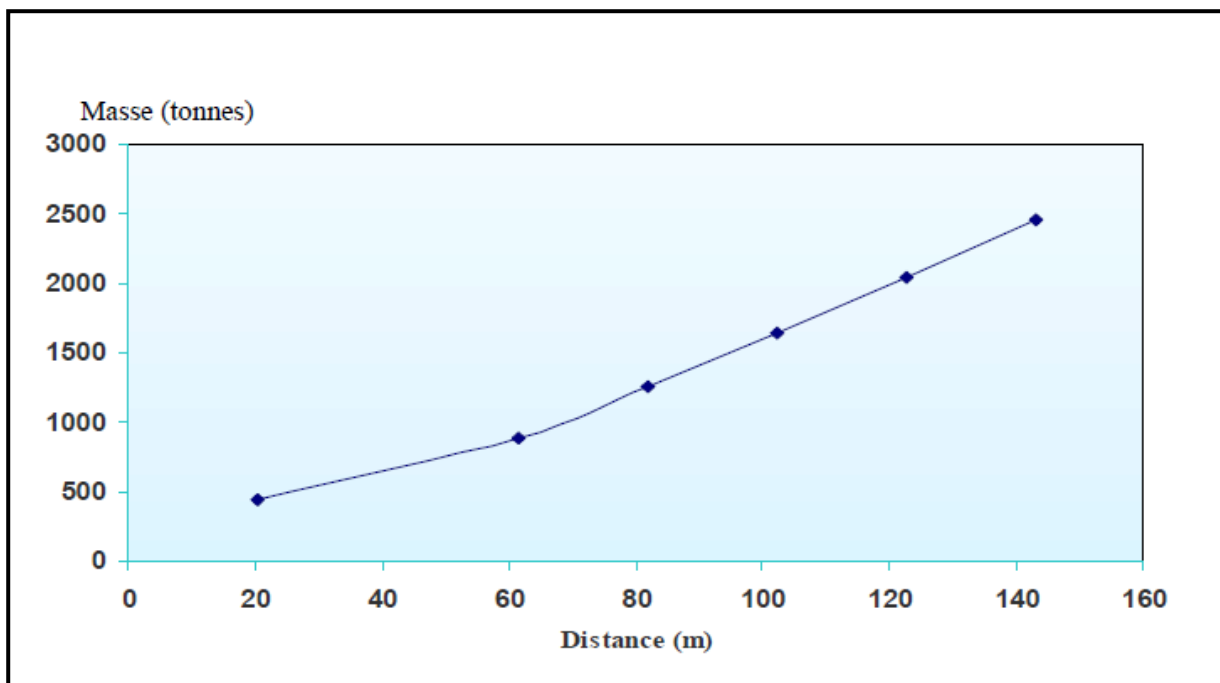


Figure V-6 : Masse décantée durant 300 jours.

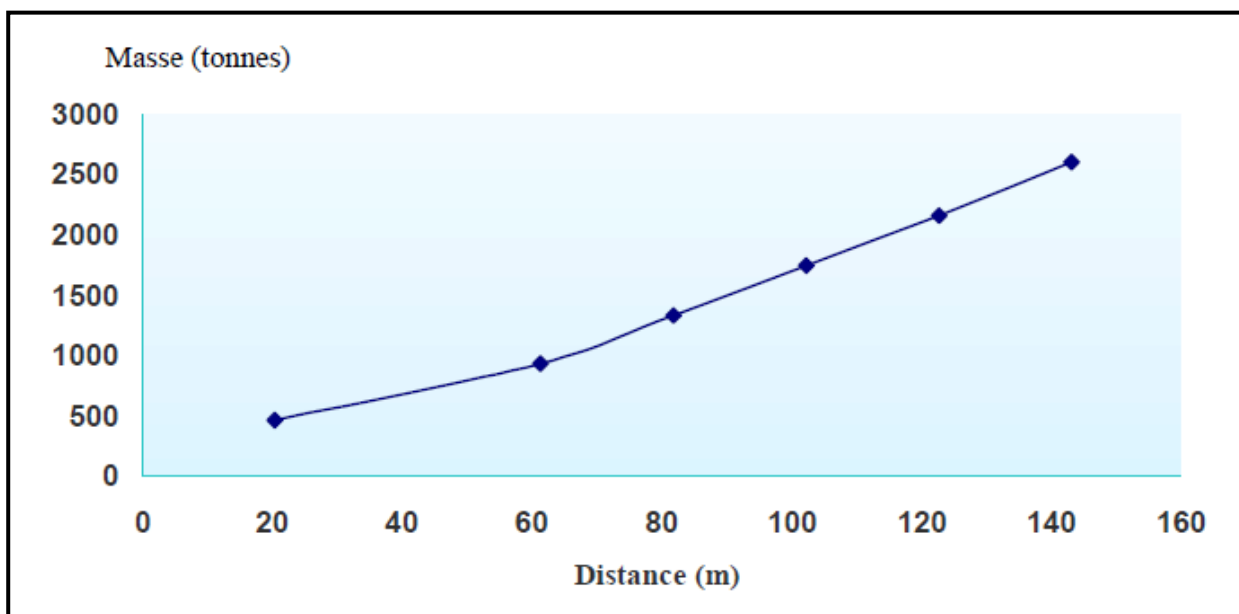
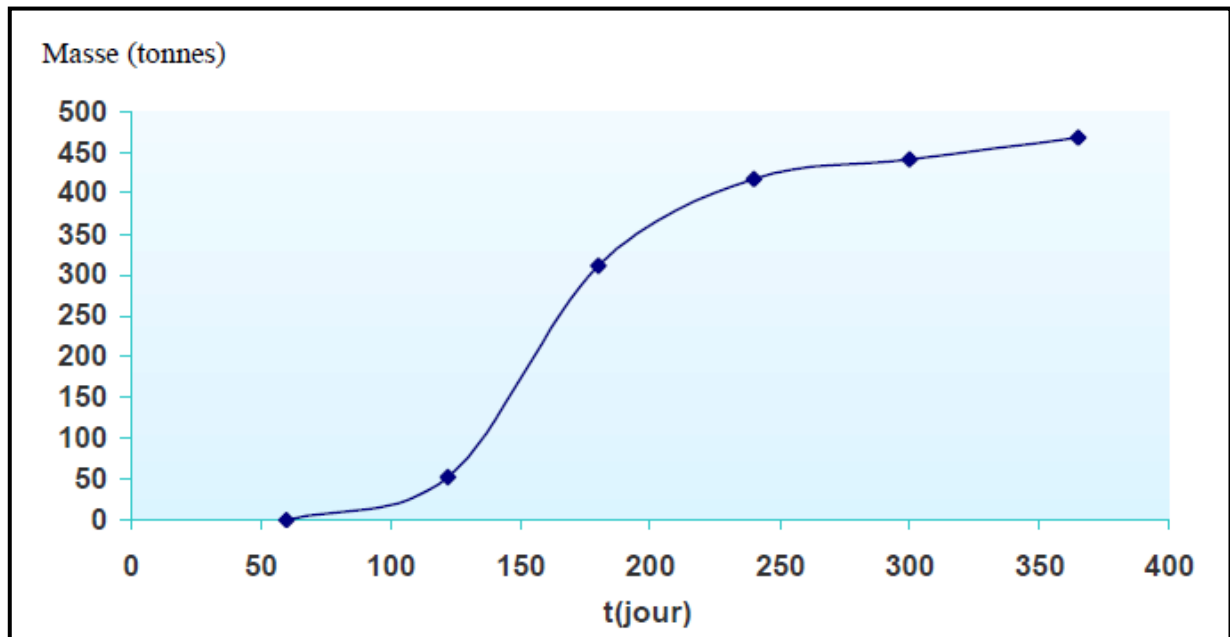


Figure V-7 : Masse décantée durant 365 jours.

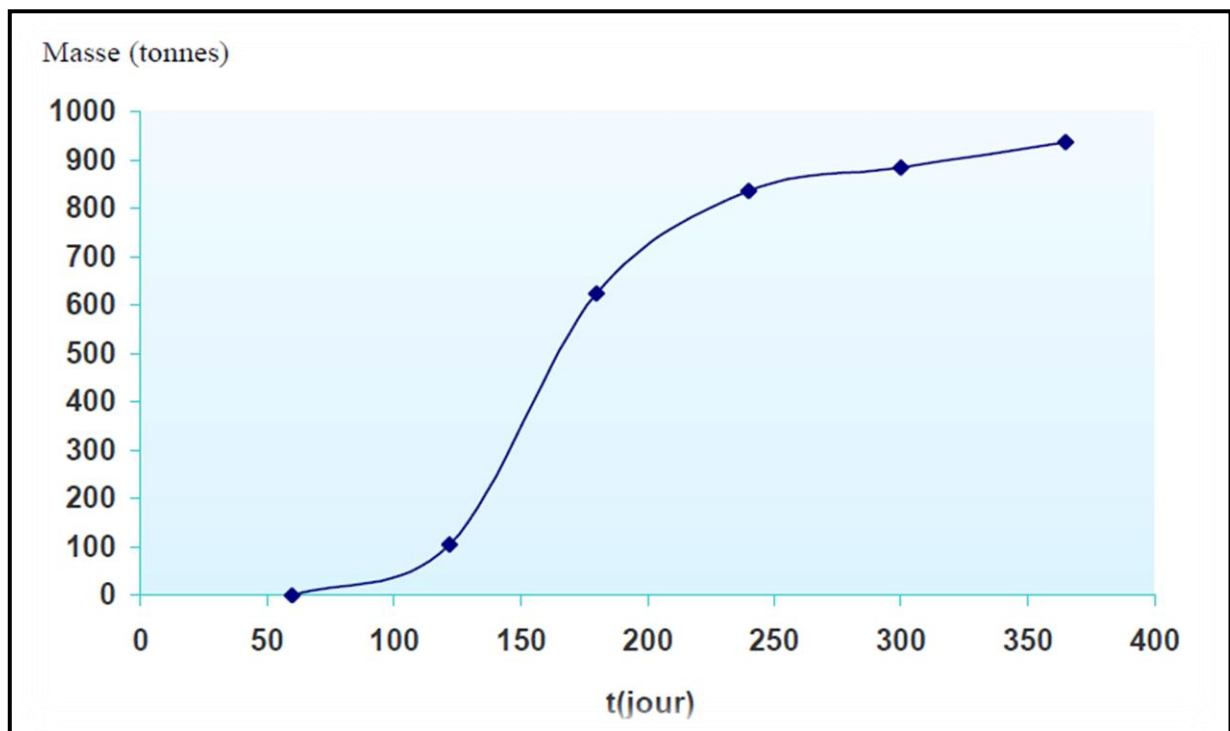


**V.3.2. Variation de la masse décantée en fonction du temps :**

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



**Figure V-8 :** Masse décantée en fonction du temps pour la section 1 (20,45m).



**Figure V-9 :** Masse décantée en fonction du temps pour la section 2 (61,35m).

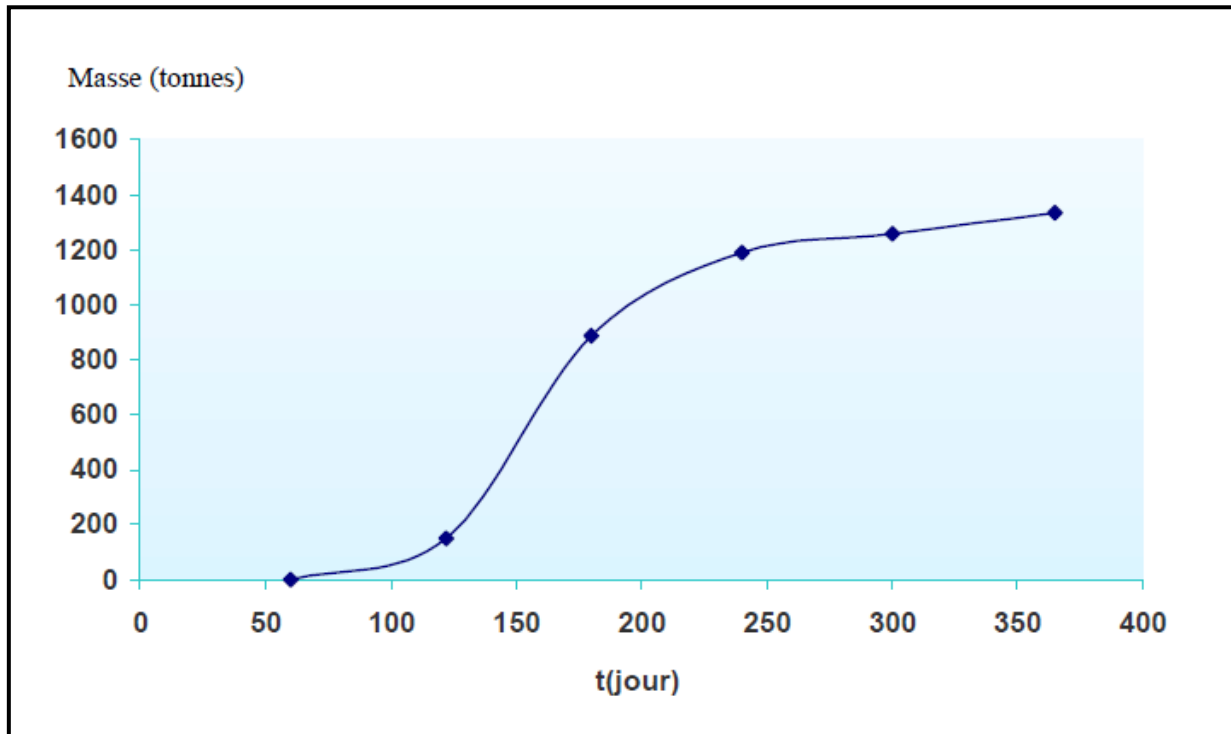


Figure V-10 : Masse décantée en fonction du temps pour la section 3 (81,81m).

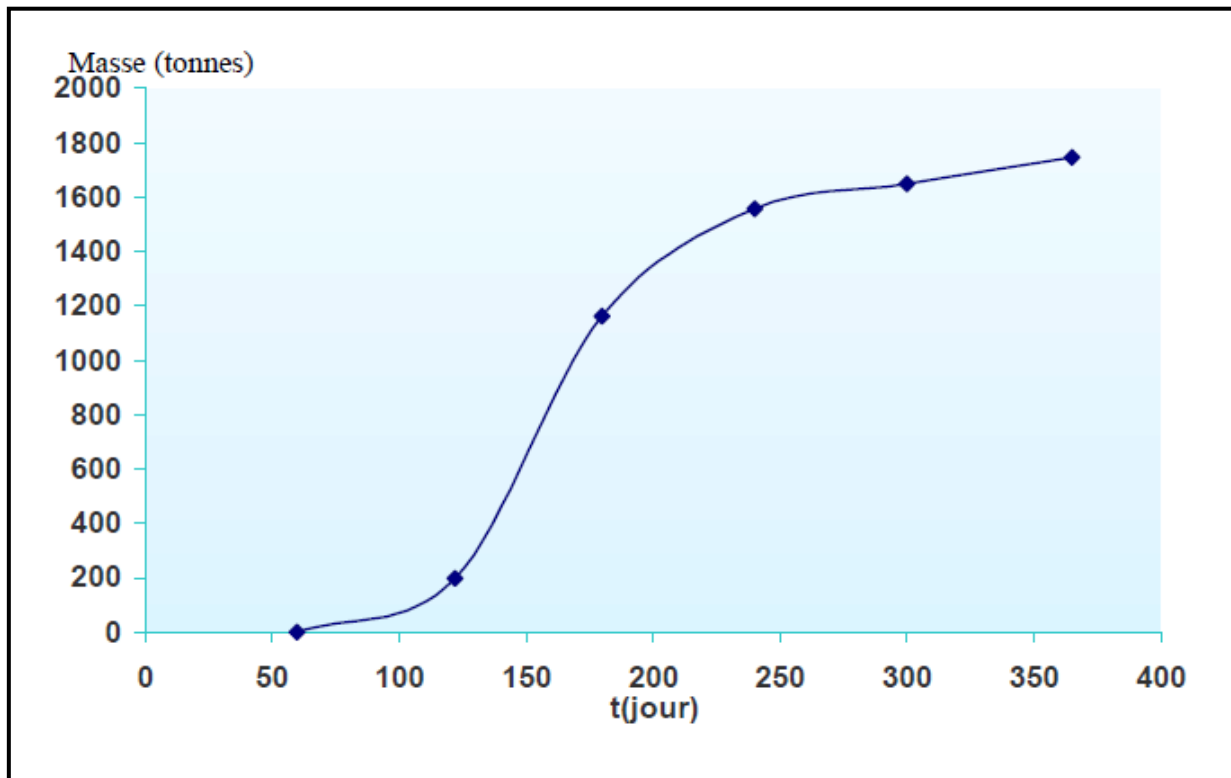


Figure V-11 : Masse décantée en fonction du temps pour la section 4 (102,26m).

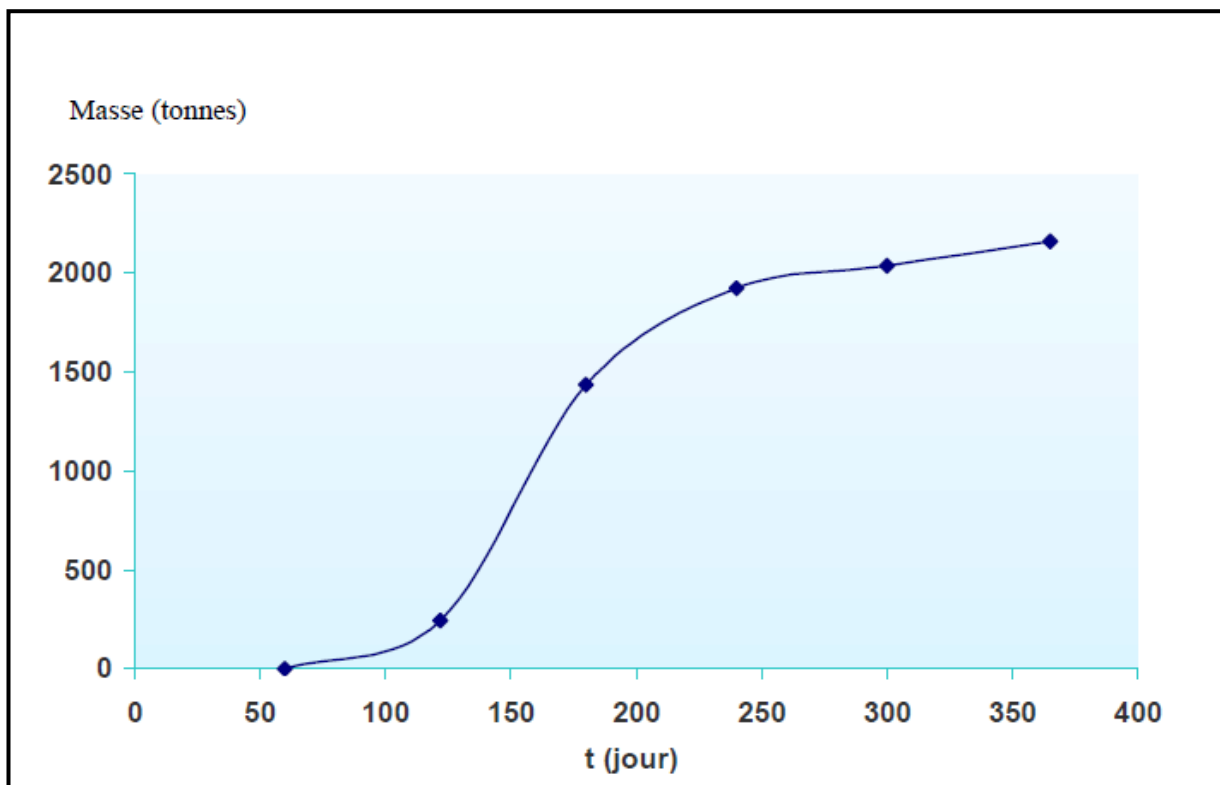


Figure V-12 : Masse décantée en fonction du temps pour la section 5 (122,71m).

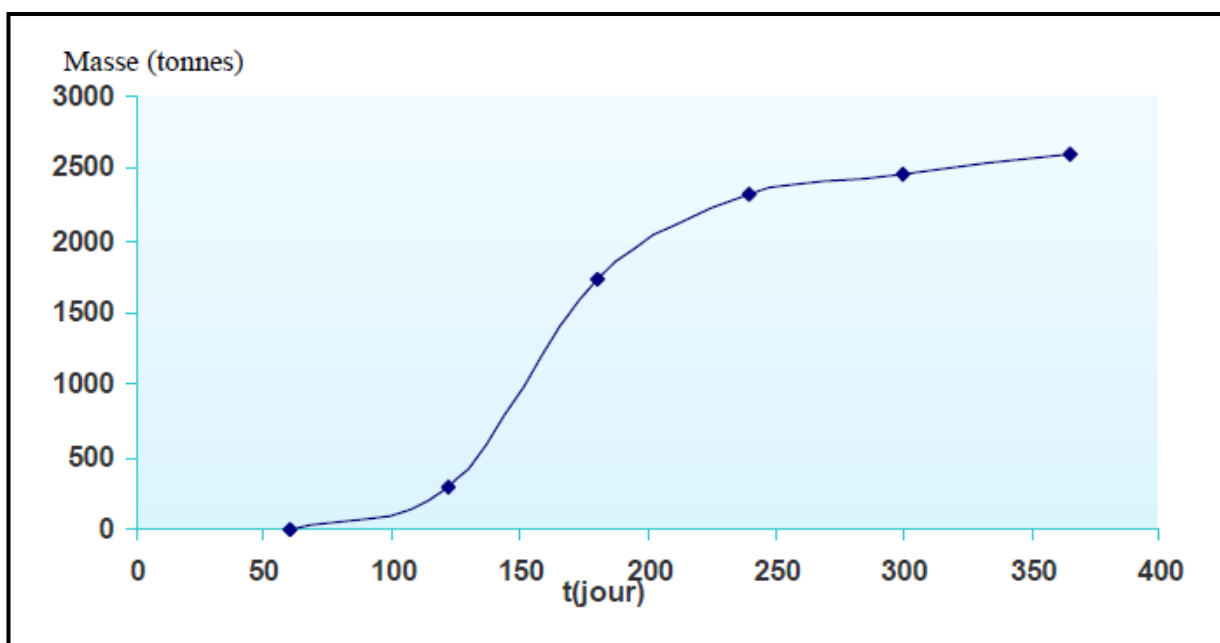


Figure V-13 : Masse décantée en fonction du temps pour la section 6 (143,16m).

V.4. Le volume de vase :

1. A partir des levés topographique :

A partir des trois levés topographiques de la retenue, on calcule le volume de la vase déposée dans la retenue de BENI-AMRANE.

Tableau V-2 : Capacité de la retenue.

Années	1988	1989	1993	1996	2000	2004
Capacité total Mm3	15,6	12,6	8,3	7,08	5,7	5,67
Perte de capacité Mm3	0	2,9	7,27	0,52	1,38	0,03
Nombre d'année	0	1	5	3	4	4
Perte de capacité annuelle Mm3	0	2,9	1,33	0,26	0,34	0,0075

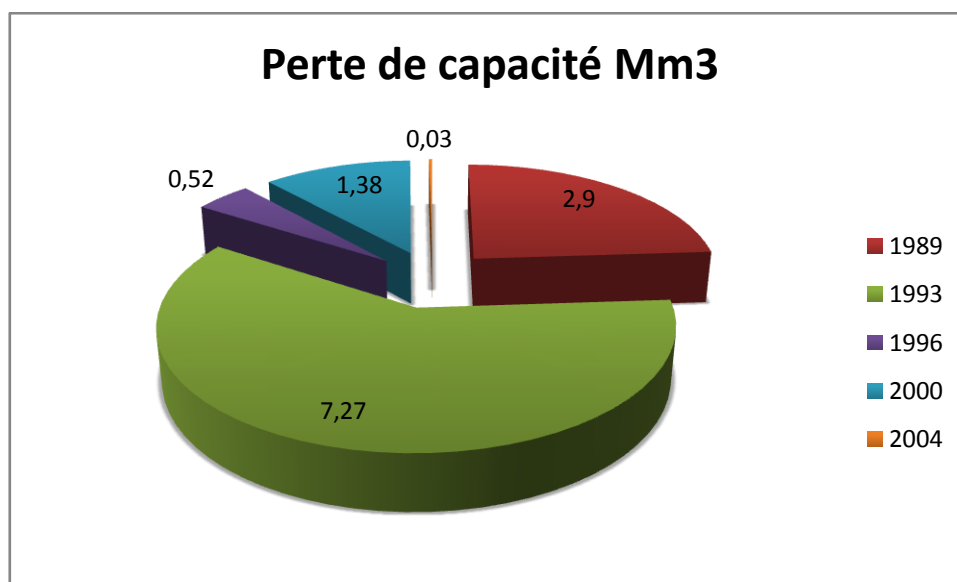


Figure V-14 : Perte de capacité de la retenue.

2. A l'aide des formules :

En absence des levés bathymétriques, le volume des sédiments accumulés dans la retenue est calculé par la relation :

$$W_{sd} = W_{se} - W_{ss}$$

Avec :  $W_{se} = E_s \cdot T_c \cdot S_b$

Volume (estimé) de sédiments apportés par l'oued dans la retenue pendant «  $T_c$  » d'années.

$$E_s = 178 m^3 / km^2 \cdot an, S_b = 4000 km^2, T_c = 5 an.$$

$W_{ss} = 1,32 \cdot 10^6 m^3$ , volume de vase chassée par les vannes du fond durant cinq années d'exploitation.

D'où :

$$W_{sd} = 2,24 \cdot 10^6 m^3, \text{ soit un taux d'envasement égale à } 0,39 \cdot 10^6 m^3 / an.$$

Ce résultat est justifié par une étude menée par le bureau d'étude BENIE et PARTENERS W.S ATKINS UNTERNATIONAL, le dépôt dans la cuvette du barrage par la simulation du programme SABA sur sept années était formé de 38% de sable et de graviers équivalent à un taux moyen d'accumulation de  $0,37 \cdot 10^6 m^3$  (REMIMI, 1997).

### V.5. Discussion des résultats :

Les résultats obtenus par la première approche sont très faibles ce qui est dialectique car la nature du sol (roche métamorphique, 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 faibles, car la turbulence dans ce stade est prépondérante, ce qui implique force hydrodynamique intense dans ce point.

---

---

# 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 irréfutable ; 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 :*

---

**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), 90 pages.

**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), 240 pages.

**BERKANI, M., (2006) :** Approche rustique unidimensionnelle de la sédimentation dans un réservoir. Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, polycopié de cours.

**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.

**DEGOUTTE, G., (2005).** Aide mémoire d'hydraulique à surface libre, 93 pages.

**LUCAS, G., (1942).** Description géologique et pétrographique des monts de Rhar -Roubane et du Sidi El Abed (frontière algéro- marocaine).

**REMINE, 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, 278 pages.

**REMINE, B. AVENARD J., (2003),** « Envasement des barrages », Edition CEDOC. Kettab, A.

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



## *Références bibliographiques :*

---

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

**STEVAN, B., (1986) :** Méthode de calcul de la sédimentation dans les lacs et les réservoirs, Unesco, (Paris), 238 pages.

**TAOCHE N, (2007) :** Fiabilité et exploitation du barrage de BENI-AMRANE. Projet de fin d'étude, Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, 128 pages.

### **SITES WEB CONSULTÉS :**

**<http://hmf.enseeiht.fr/travaux/CD0001/travaux/optsee/hym/13/vasi.htm>**

**<http://www.sciences.univ->**

**[nantes.fr/physique/perso/aloui/m\\_numeri/51innume/51innume.htm#1](http://www.sciences.univ-nantes.fr/physique/perso/aloui/m_numeri/51innume/51innume.htm#1)**

**[www.univ-mlv.fr/lpmdi/RHE/Ercb/cours%20Suspensions%20coloidales.pdf](http://www.univ-mlv.fr/lpmdi/RHE/Ercb/cours%20Suspensions%20coloidales.pdf)**

**[www.sciences.univ-nantes.fr/animation/Mesures in situ en hydraulique à surface libre -  
Techniques de l'ingénieur.htm](http://www.sciences.univ-nantes.fr/animation/Mesures_in_situ_en_hydraulique_à_surface_libre_-_Techniques_de_l'ingénieur.htm)**

---

---

# Annexes

## Annexes

---

---

## Annexes

**Annexe 1 : Débit liquide annuel de 1988 à 2000 en  $m^3 / s$  : (Station Lakhdaria)**

Mois	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
Janv	1,477	5,658	2,133	5,478	21,09	6,278	13,01
fevr	1,312	3,213	0,5186	17,01	3,322	3,616	8,747
Mars	5,817	2,904	1,276	13,61	4,792	4,214	1,933
Avr	1,22	7,38	1,198	6,988	32,47	1,93	1,591
Mai	1,104	1,887	7,805	2,215	15,38	2,749	0,1564
Jui	0,4112	0,4582	0,8655	1,303	2,397	0,0929	0,0435
Juill	0,0339	0,1742	6,834	0,0116	0,2282	0,0289	0,0189
Aout	0,014	0,6893	0,6517	0,0548	0,0426	0,012	0,0133
Sept	2,686	1,933	0,0192	0,5375	0,4957	1,731	4,171
Oct	0,1769	0,9828	0,9151	4,824	0,5801	0,3492	15,36
Nov	0,3698	0,4355	0,9909	0,232	9,172	0,2722	2,11
Dec	32,24	0,283	7,599	0,3331	5,759	5,17	3,278
<b>moyenne</b>	<b>3,90515</b>	<b>2,1665</b>	<b>2,56716667</b>	<b>4,38308333</b>	<b>7,97738333</b>	<b>2,2036</b>	<b>4,202675</b>

Mois	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Janv	75,11	3,206	0,93	2,61	9,02	2,31
fevr	8,119	28,43	0,81	8,93	20,22	0,83
Mars	30,38	10,86	0,14	2,95	9,87	0,21
Avr	5,325	11,57	1,4	5,58	3,22	0,13
Mai	1,438	10,75	0,24	18,09	1,30	0,94
Jui	1,654	3,841	0,01	1,71	0,04	0,02
Juill	0,0297	1,629	0,01	0,05	0,01	0,00
Aout	0,1532	0,0946	1,96	0,02	0,01	0,00
Sept	0,0211	0,58	13,66	2,95	0,71	0,75
Oct	2,012	0,15	3,15	1,77	0,22	5,73
Nov	0,5534	0,14	9,98	4,26	0,03	1,23
Dec	0,07648	0,62	9,99	4,5	17,37	2,41
<b>moyenne</b>	<b>10,40599</b>	<b>5,98921667</b>	<b>3,52333333</b>	<b>4,45166667</b>	<b>5,16825111</b>	<b>1,21221278</b>

## Annexes

### Annexe 2 : Débit solide annuel de 1988 à 2000 en kg/s : (Station Lakhdaria)

Mois	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
Janv	9,6785	15,3584	28,4492	53,71	744,044	8,6451	249,0433
fevr	8,6744	1,4578	0	596,3862	1,2186	3,7659	44,7739
Mars	117,6672	59,6004	125,0387	129,5685	14,8866	10,1958	0
Avr	32,7444	637,1066	15,5773	24,1082	785,3562	7,8237	2,1656
Mai	77,2767	175,2774	923,6522	5,0414	337,2093	19,9221	
Jui	36,5515	9,5003	147,4739	53,1731	4,9521	0	0
Juill	0,1362	13,9556	484,5162	0	0	0	0
Aout	0	0	79,0858	0,449	0	0	0
Sept	309,8924	659,9937	0	63,717	50,7212	253,435	0
Oct	207,1264	437,1697	177,329	607,1633	31,8529	20,5256	2771,9461
Nov	163,7589	9,0659	151,382	0,8313	300,4866	1,3636	52,1041
Dec	1771,9265	0,01383	295,628	0,085	41,136	212,81	55,6067
<b>moyenne</b>	<b>227,9527583</b>	<b>168,2083025</b>	<b>202,3443583</b>	<b>127,85275</b>	<b>192,6552917</b>	<b>44,8739</b>	264,6366417

Mois	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Janv	1606,2993	147,6081	1,4407	7,5263	95,1463	1,0262
fevr	10,4162	1141,755	2,8994	237,9339	94,8468	0
Mars	587,2992	57,0437	0	2,5979	232,4902	0
Avr	0	216,7985	52,5901	66,8295	2,8975	0
Mai	0	224,6246	3,3427	378,6618	28,3809	68,5689
Jui	0	597,5056	0	0,5075	0	0
Juill	0	454,967	0	0	0	0
Aout	0	0	501,4673	0	0	0
Sept	0	89,5516	2995,5657	701,0747	30,0917	177,3628
Oct	0	0,5888	250,5433	149,1329	13,5159	1842,2489
Nov	65,7239	0	637,2277	644,64	0,1994	128,755
Dec	3,7387	5,4445	174,142	26,7601	769,703	324,4489
<b>moyenne</b>	<b>189,4564417</b>	<b>244,6572833</b>	<b>384,9349083</b>	<b>184,6387167</b>	<b>105,605975</b>	<b>211,8675583</b>

## Annexes

### Annexe 3 :

#### 1. Données de base :

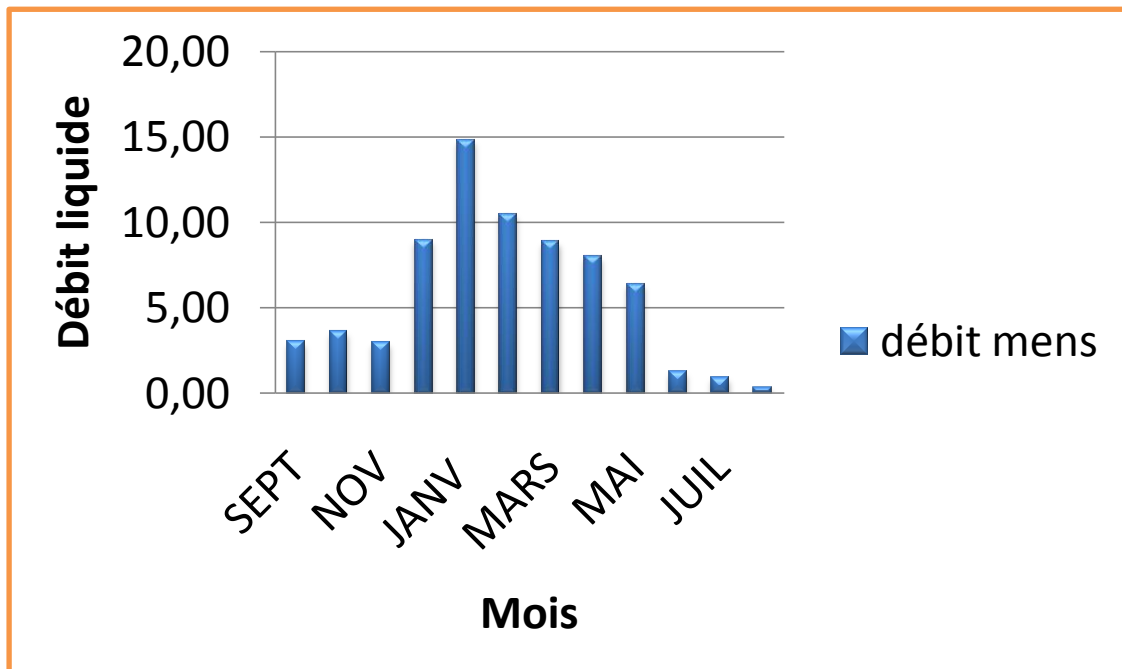
Paramètres	Désignation	Valeur	Unité
Largeur de la section d'entrée	$B_0$	56	m
Hauteur de la section d'entrée	Y	15	m
Diamètres des particules solide	D	20	$\mu\text{m}$
Distance	d	264	m
Section d'entrée	$S_0$	844	$\text{m}^2$
Débit	Q	200	$\text{m}^3 / \text{s}$
Masse volumique	$\rho$	1770	$\text{kg} / \text{m}^3$

#### 2. Profile de la retenue :

<b>Distance (m)</b>	0	20,4	40,9	61,35	81,81	102,26	122,71	143,16	163,16
<b>Hauteur (m)</b>	54,3	48,9	45,3	43,7	41,9	40,2	39,4	39,2	39,3

### Annex 4 : variation mensuelle moyenne du débit liquide dans l'oued Isser en $\text{m}^3 / \text{s}$

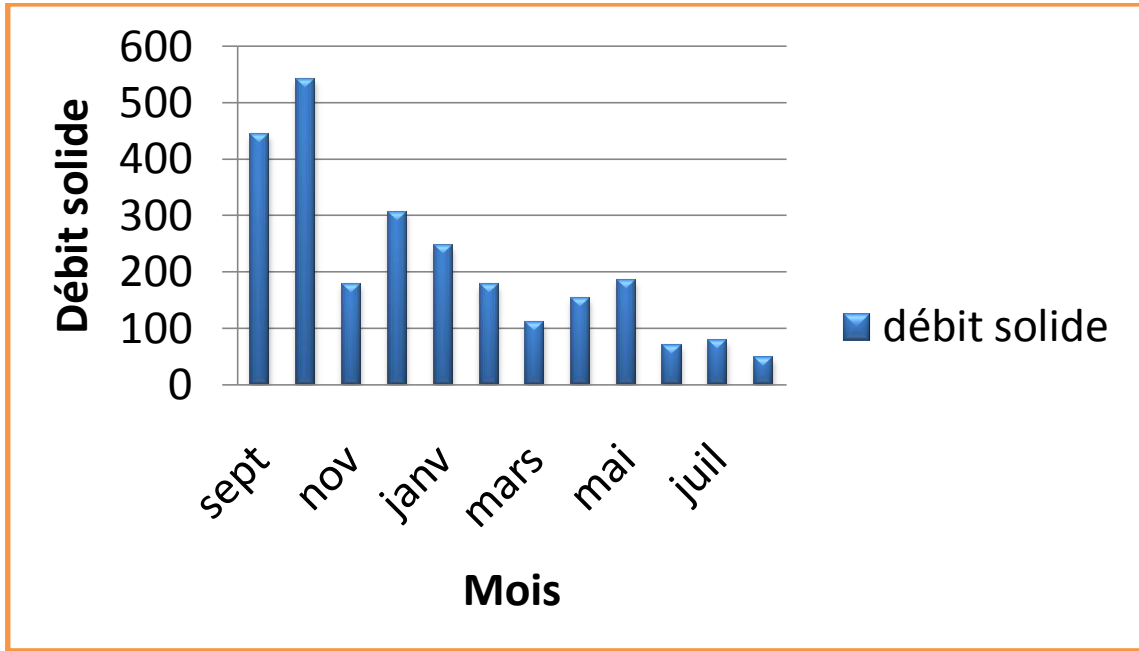
Station Lakhdaria : Période d'observation 12 ans.



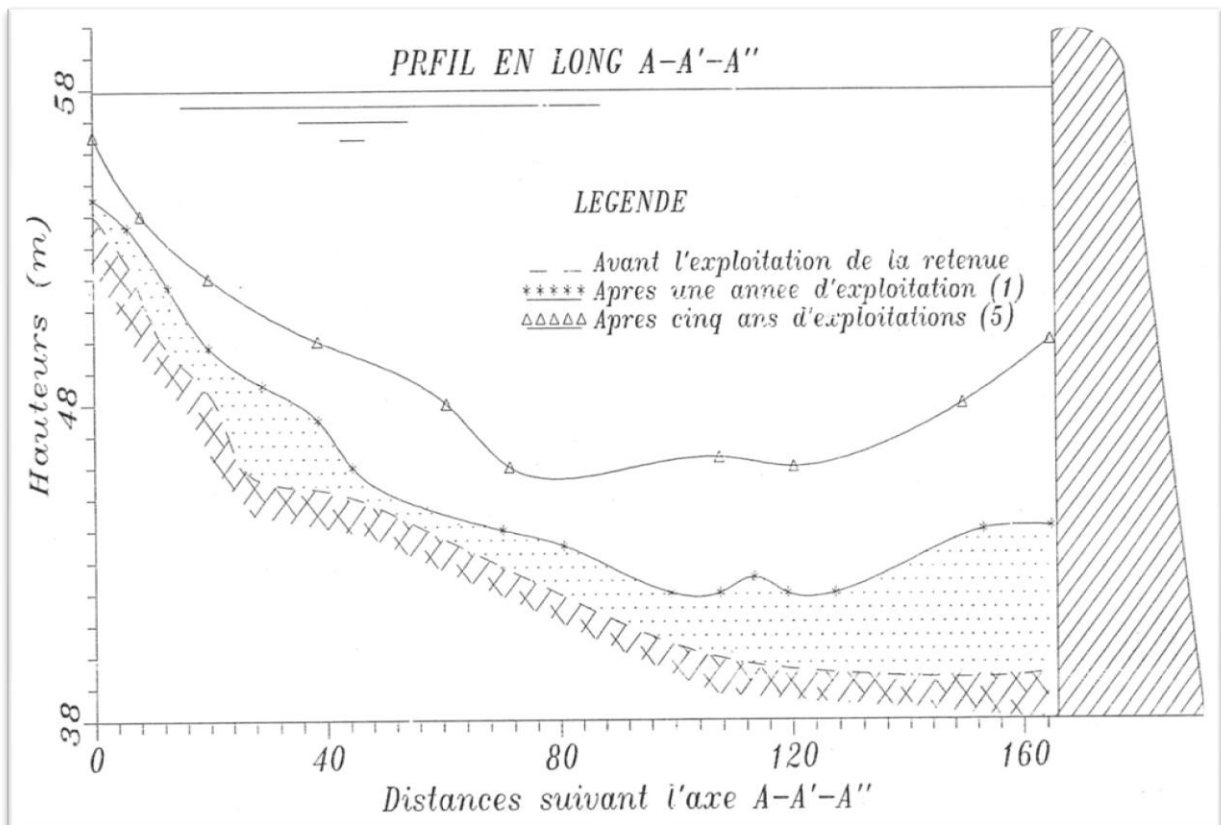
## Annexes

### Annexe 5 : variation mensuelle moyenne du débit solide dans l'oued Isser en kg/s :

Station Lakhdaria : Période d'observation 12 ans.



### Annexe 6 : Levés bathymétriques du barrage de BENI-AMRANE.



# Annexes

## Annexe 7 : programme sous Matlab 7.5 .

```
C:\Documents and Settings\autres\Bureau\programme mat\Masse d'écanté\solide.m
File Edit Text Go Cell Tools Debug Desktop Window Help
Stack: Base
1 % lecture des données
2 donne=xlsread('donnees.xlsx',1);
3 for i=1:6
4     for j=1:6
5         hc(j)=(10^6*donne(1,5)^2)*(donne(j,13)/(3*donne(1,4))*((donne(1,9)/donne(1,8))-1)*(donne(1,6)+((donne(1,6)*donne(j,12))^(1/2))+donne(j,13)))
6         BB(j)=donne(j,13);
7     end
8     q=donne(1,15);
9     A2=q^2+(2*q)+16,4;
10    integral(i)=(q/2)*(11+(2*q)+A2);
11    for k=1:6
12        CC=((2*donne(k,13))+donne(k,13)^2/donne(1,2))-(donne(1,2)/(1+(donne(k,13)/donne(1,2)))));
13        masse1(i,k)=((10^6*donne(1,5)^2*donne(1,1))/3)*((2*donne(k,13))+donne(k,13)^2/donne(1,2))-(donne(1,2)/(1+(donne(k,13)/donne(1,2)))))*integr
14    end
15 end
16 plot(BB,hc);
17 grid on
18 for i=1:6
19     for j=1:6
20         q=donne(j,15);
21         A2=q^2+(2*q)+11;
22         integral(j)=(q/2)*(11+(2*q)+A2);
23     end
24     for k=1:6
25         CC=((2*donne(i,13))+donne(i,13)^2/donne(1,2))-(donne(1,2)/(1+(donne(i,13)/donne(1,2)))));
26         masse2(i,k)=((10^6*donne(1,5)^2*donne(1,1))/3)*((2*donne(i,13))+donne(i,13)^2/donne(1,2))-(donne(1,2)/(1+(donne(i,13)/donne(1,2)))))*integr
27     end
28 end
29 masse2;
30 for i=1:6
31     C(i)=(donne(1,9)/2)*donne(1,1)*donne(i,13)*(2+(donne(i,13)/donne(1,2)));
32 end
33 for i=1:6
34     for j=1:6
35         hd(i,j)=masse1(i,j)/C(j);
```

