

4/95

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT DE GENIE HYDRAULIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

THEME

CONTROLE DES SEDIMENTS
AU MOYEN D'OBSTACLES EMERGES

Proposé par :

M. B. REMINI

Etudié par :

M. F. BENIDJER

M. A. M. SEHILI

Dirigé par :

M. B. REMINI

M. M. BERKANI

PROMOTION

JUIN 1995

E.N.P. 10, Avenue Hassen Badi El-Harrach - ALGER

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT DE GENIE HYDRAULIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

THEME

CONTROLE DES SEDIMENTS

AU MOYEN D'OBSTACLES EMERGES

Proposé par :

M. B. REMINI

Etudié par :

M. F. BENIDJER

M. A. M. SEHILI

Dirigé par :

M. B. REMINI

M. M. BERKANI

PROMOTION

JUIN 1995

- الموضوع:

” التحكم في الجزيئات المترسبة بحواجز بارزة ”

- الملخص:

في هذا العمل طورت طريقة من اجل تصور عقلائي لتجهيز مكون من حواجز بارزة للتحكم و للاتقاط الجزيئات المترسبة داخل قناة موشورية ذات سطح حر .

تعتمد هذه الطريقة على تقدير كمية المواد المترسبة بفعل الدومات الناتجة عن وضع الحواجز على مجمل طول القناة

تمكنا دراسة مقارنة بين مختلف وضعيات الحواجز من اختيار الوضعية التي يمكن تطبيقها على الواقع .

SUBJECT

Sediments Control by emerged obstacles

ABSTRACT :

A procedure is developed for a rational design of an emerged obstacles system for sediments control and trapping in open prismatic channel.

This procedure is based on evaluation of the quantity of deposit sediments by the effect of rollers created by the obstacles all a long the channel.

A comparative study between differents dispositions of obstacles, will allow a trial concerning the one which may be applied in a natural scale.

SUJET :

***CONTROLE DES SEDIMENTS AU MOYEN D'OBSTACLES
EMERGES.***

RESUME :

Une procédure est développée pour une conception rationnelle d'un système d'obstacles émergés pour le contrôle et le piègeage des sédiments dans un canal prismatique à surface libre.

Cette procédure est basée sur l'évaluation de la quantité de sédiments déposée sous l'effet de tourbillons créés par les obstacles tout le long du canal.

Une étude comparative entre différentes dispositions d'obstacles, permettra un jugement concernant celle qui pourrait éventuellement faire l'objet d'une réalisation dans une échelle grandeur nature.

DEDICACE

***A MA MERE
A MON PERE
A TOUS CEUX QUI ME SONT CHERS
A MON PAYS***

AISSA-MOUNIR

DEDICACE

*A MA MERE
A MON PERE
A TOUS CEUX QUI ME SONT CHERS*

FARID

REMERCIEMENTS

Nous tenons ici à exprimer nos chaleureux remerciements à tous ceux qui ont participé à l'élaboration de ce présent mémoire :

Mr REMINI et Mr BERKANI du plaisir et de l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant d'être nos encadreurs, et qui par ailleurs ont bien voulu procéder à l'examen critique de cette étude .

Mr. MESSEL KA A.. pour l'aide appréciable qu'il nous a apporté lors de la réalisation du modèle expérimental .

Tout le personnel de la bibliothèque et plus particulièrement Salah et KarimS.

Nos derniers remerciements et non les moindres vont à Madame BENNAI;

Mr SEBA Samir ;Mr Bassel qui ont si patiemment apportés un soin particulier à la correction et à la saisie du texte, et qui nous ont énormément aidés à améliorer la clarté de la présentation.

SOMMAIRE

CHAPITRE 0 : INTRODUCTION

0.1 : Position du Problème	1
0.2 : Objectif de l'Etude	2

CHAPITRE I: Ampleur du phénomène

1.1 : Introduction	3
1.2 : Spécification du Problème de l'Erosion en Algérie	3
1.3 : Bilan d'Envasement des barrages Algériens	5
1.4 : Conclusion.	6

CHAPITRE II : Mouvement des Sédiments et Mécanisme de l'envasement.

2.1 : Caractéristiques des Sédiments	9
2.1.1 : Tailles des Particules	9
2.1.2 : Forme des Particules	12
2.1.3 : Masse volumiques des Particules	12
2.2 : Vitesse de Chute	13
2.3 : Vitesse limite de mise en mouvement	14
2.4 : Transport de fond et Transport en suspension	14
a) - Transport de fond	14
a.1) - Généralités	14
a.2) - Description du phénomène	15
b) - Transport par Suspension	16
b.1) - Généralités	16
b.2) - Description du Phénomène	16
2.5 - Séparation entre Charriage et Suspension	17
2.6 - Matériaux fins (charge de ruissellement)	18
2.7 - Pavagè du lit	18
2.7.1 - Lacs et Retenues	19
2.7.2 - Plaines d'inondations	20
2.8 - Etude théorique sur l'envasement des retenues	21
2.8.1 - Introduction	21
2.8.2 - Mécanisme de l'Envasement	23
2.8.3 - Analyse du mécanisme d'envasement	23
2.8.4 - Facteurs favorisant l'Envasement	29

2.9 - Méthode de détermination du taux d'envasement des retenues	30
2.9.1 - Mesure à l'écho-sondeur	30
2.9.2 - Méthode turbidimétrique	31
2.9.3 - Méthode Stéréophotogramétrique	31
2.9.4 - Méthode bathimétrique	31
2.9.5 - Mesure par extrapolation des courbes de dégradation	31
CHAPITRE III : Moyen de lutte contre l'Envasement des retenues.	
3.1 : - Introduction	33
3.2 : - Lutte au niveau du bassin versant.	34
3.2.1 : - Procédé agrotechnique	34
3.2.2 : - Procédé hydrotechnique	35
3.2.3 : - Restauration des forêts	35
3.3 : - Lutte au niveau du cours d'eau	35
3.3.1 : - Protection directe ou continue	36
3.3.2 : - Protection indirecte ou discontinue	36
3.4 : - Conclusion	37
3.5 : - Lutte au niveau du barrage	37
3.5.1 : - Les chasses	37
3.5.2 : - Le dragage	38
3.5.3 : - Conclusion	38
CHAPITRE IV : Aménagement des rivières alluviales par épis	
4.1 : Principe de l'aménagement	39
4.1.1 : But de l'aménagement	39
4.1.2 : Conditions permettant les améliorations	39
4.1.3 : Base des diverses méthodes d'aménagement	40
4.1.4 : Méthodes d'aménagement	40
4.2 : Aménagement par épis	41
4.2.1 : Choix des matériaux	41
4.2.2 : Les épis	41
CHAPITRE V : Etude expérimentale	
5.1 : Introduction	45
5.2 : Modèle expérimental	46
5.3 : Réalisation du modèle expérimental	48
5.4 : Technique expérimentale	49

5.4.1 :Différentes variantes de dispositions étudiées	49
5.5 : Protocole de mesure	54
5.6 :Etude bibliographique	55
5.7 : Etude théorique	55
5.7.1 : Distribution de vitesses	56

CHAPITRE VI : Analyse et Interprétations.

6.1 : - Introduction	60
6.2 : - Première série d'essais	60
6.3 : - Deuxième série d'essais	61
a) - Analyse qualitative.	61
b) - Analyse quantitative.	65
6.4 : - Troisième série d'essais.	65
a) - Analyse qualitative.	65
b) - Analyse quantitative.	70
6.5 : - Conclusion et Recommandations.	75

Annexe.

Bibliographie.

CHAPITRE 0

INTRODUCTION

01 - Position du Problème :

L'Algérie gère un parc de 98 Barrages en exploitation et 27 autres en voie de réalisation, mais aussi ambitieux que soit ce programme, pourra t-il répondre aux besoins, sans cesse croissants en matière d'alimentation en eau potable, en eau industrielle et en eau d'irrigation ? A priori, non, car pour répondre à cette demande en perpétuelle augmentation, liée à un taux de démographie des plus élevés dans le monde, se pose au delà de la construction de nouveaux barages, le problème de l'exploitation et de la gestion de ces ressources, or ces deux opérations sont directement liées à la capacité utile des retenues, ici va donc se greffer l'une des situations les plus critiques, qui caractérisent les cuvettes de nos barrages : leur envasement.

En effet, toutes les retenues créées par des barrages sur des cours d'eau naturels sont plus ou moins exposées à des apports solides leur dépôt. Les matériaux transportés dans la retenue par le réseau hydrographique amont commencent par se déposer du fait de la réduction des vitesses. Au fur et à mesure que les sédiments se déposent, la capacité de la retenue se réduit.

L'accumulation continue des sédiments, entraîne une modification de la distribution des dépôts qui dépend fortement de l'exploitation de la retenue et de la cadence d'arrivée des crues. Par voie de conséquence, une compréhension des problèmes complexes d'alluvionnements se posant aux stades de l'étude et de l'exploitation des barrages et les retenues s'avère vitale .

02 - Objectif de l'Etude.

Ce présent mémoire s'est fixé comme but à atteindre la mise en relief d'une méthode préventive de lutte contre l'envasement des retenues, au niveau des cours d'eau, ainsi une procédure est développée pour la conception d'un système d'obstacles émergés pour le contrôle et le piégeage des sédiments dans un canal à surface libre ; une étude comparative entre différentes dispositions d'obstacles permettra un jugement concernant celle qui pourrait faire l'objet de réalisation dans une échelle grandeur nature.

CHAPITRE 1 :

***AMPLEUR DU PHENOMENE D'ENVASEMENT
DES RETENUES.***

I.1 - Introduction

L'Algérie est caractérisée, sur l'ensemble de ses bassins versant par un taux d'érosion très important de l'ordre de 5000 T/Km²/an.[1]

Ce dernier est par conséquent, 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 entrave notre développement économique.

I.2 - Spécification du problème de l'érosion en Algérie.

L'intensité du phénomène de l'érosion en Algérie est dû aux différentes conditions hydro-climatiques, physiques, géomorphologiques et socio-économiques.

Toutes ces conditions se trouvent réunies (sari : 1977, DEMMAK : 1982) à savoir:

a) Un climat méditerranéen caractérisé par des fluctuations thermiques très variées et des pluies très irrégulières et torrentielles pouvant atteindre une grande fréquence de 30 mm/24 Heures.

b) Un relief accidenté aux pentes raide.

c) Un couvert végétal présent dans les hautes altitudes (1000 m) et presque inexistant ailleurs.

d) Une lithologie aux formations sensibles à l'érosion hydrique (prédominance de marnes et d'argiles (75 %)).

e) Un développement socio-économique caractéristiques aux pays en voie de développement avec l'impact de la colonisation (3 M ha de forêts détruites), les effets des surpaturages et de l'utilisation du secteur agricole.

f) Un régime hydrologique très irrégulier des oueds caractérisé par des crues éphémères et violentes.

Le tableau suivant donne une idée globale sur l'érosion dans différentes régions en Algérie :

REGIONS	TAUX D'EROSION
ATLAS TELLIEN (Rhiou, Sly, Fodda, Isser...)	2000 T/Km ² /an
Chaîne des cotiers Dahra	4000 T/Km ² /an
Bassin de l'Oued Agrioun (Barrage d'Ighil Emda)	5000 T/Km ² /an

Tableau 1 : Erosion dans quelques régions en Algérie.

Les petits oueds, malgré les faibles débits de crue, transportent pour des raisons qui seront citées ultérieurement, des quantités importantes de sédiments.

L'intensité du phénomène de l'érosion se manifeste essentiellement en période de crue, c'est ainsi que des concentrations très grandes sont fréquemment observées.

Dans le tableau suivant, on a donné quelques concentrations prélevées dans différentes stations.

BASSIN	STATION	DATE	CONCENTRATION
ISSER	La Traïlle	24/08/52	460 g/l
HODNA	Leham	06/10/57	674 g/l
CHELIF	AMI-MOUSSA	11/07/71	390 g/l
AURES	M'CHOUNECHE	24/09/75	407 g/l

Tableau II : Concentrations prélevées dans différentes stations hydrométriques.

1.3 - Bilan d'envasement des barrages Algériens.

La diminution des potentialités hydrauliques de l'Algérie, par suite de l'envasement de ses retenues est estimée annuellement à près de 20 Millions de m³. Le tableau N°3 montre l'état d'envasement des 37 barrages Algériens mis en exploitation et donne une projection faite sur l'an 2010 (ANB 1990), qui est équivalente à celle du barrage de Fergoug.

Nombre de barrages exploitation	Capacité totale initiale (hm3)	Volume régularisé	volume envasé 1990 hm3	Volume envasé (2010) hm3
37	3886,5	1653,3	428,66 (11 %)	933,96 (24 %)

Tableau III : Etat d'envasement des barrages en Algérie.

Le tableau ci-dessus montre que le volume envasé total passera de 11 % (en 1990) à 24 % en 2010 ce qui explique un déficit énorme en capacité de stockage qui croit sans cesse avec le temps.

Cette ampleur du phénomène varie considérablement d'une région à une autre. ceci est dû à la variation des facteurs conditionnant le transport solide.

Le tableau N°IV expose l'état détaillé de l'envasement des barrages Algériens. Les valeurs du taux d'envasement figurant dans ce tableau montre que la durée de vie moyenne des barrages Algériens est courte et ne dépasse pas les 30 ans.

Cette courte durée est dûe d'une part à une mauvaise gestion des barrages, et d'autre part à une mauvaise prise en considération du phénomène d'envasement des retenues.

1.4 - CONCLUSION.

Les valeurs des taux d'envasement citées ci-dessus nous confirment la gravité du problème.

Si on ne procède pas à la planification d'une gestion rationnelle de nos ressources en eau et à des mesures préventives ; on risquera, dans les années avenir d'énormes problèmes en matières d'approvisionnement en eau.

TABEAU N°4 : BILAN D'ENVASEMENT DES BARRAGES ALGERIENS.

BARRAGES	ANNEE DE MISE EN EAU	CAPACITE INITIALE hm3	CAPACITE 1986 hm3	VOLUME ENVASE hm3	TAUX ENVASE %	APPORTS MOYENS ANNUELS hm3	BASSIN VERSANT km2	ENVASE (E) hm3	ENVASE (C) hm3	ENVASE 1990 hm3	ENVASE 2010 hm3
BENI-BAHDEL	1940	63	56,5	6,5	10	73,8	1016	0,2	0,22	7,38	11,78
MEFROUCHE	1963 - 5	15	14,6	0,4	2	16	264	0,12	0,017	0,4	0,74
SARNO	1954	22	21,3	0,7	3	12	264	0,12	0,021	0,7	1,12
BOUHANIFIA	1944	73	51,6	21,4	29,3	138,8	7850	0,78	0,58	23,72	35,32
FERGOUG	1871(1970)	18	3,9	14,1	78,3	56	420	1,50	0,83	14,1	30,70
OUIZERT	1986	100				84	2100	0,3			
BAKHADA	1936/1963	56	45,1	10,9	19,5	70	1300	0,27	0,45	12,4	21,70
SMBA	1978	235	225,6	9,4	4	120	4890	01	1,34	14,76	41,56
MERDJA-SA	1984	54,4	54,1			40					
OUED-FODDA	1932	228	132,7	95,3	42	120	800	2,66	1,73	102,22	136,82
S.YACOUB	1985	280				90		0,2			50
BOUGHZOUL	1934	55	20	35	63,6	82,8	20500	0,66	0,86	37,64	50,84
GHRIB	1939	280	165,6	114,4	40,9	148,5	2800	3,2	2,38	123,92	171,52
DEURDEUR	1984	115				45	468	0,8			20,8
HARREZA	1984	75				30,8	142	0,28			7,28
MEURAD	1859	0,9	0,3	0,6	66,7	1,5	18	0,005			
BOUROUMI	1985	188				26	150	1,5			31,9
HAMIZ	1879/1935	21	16,4	4,6	21,9	55	139	0,33	0,13	5,12	7,72
DAHMOUNI	1987	41				13,3		0,1			2,30

E : Source Etudes

- BARRAGES EN EXPLOITATION

C : Source Levers Bathymétriques

- ENVASEMENT 1990 - PROJECTION 2010 -

TABLEAU N°4 : BILAN D'ENVASEMENT DES BARRAGES ALGERIENS. (Suite):

BARRAGES	ANNEE DE MISE EN EAU	CAPACITE INITIALE hm3	CAPACITE 1986 hm3	VOLUME ENVASE hm3	TAUX ENVASE %	APPORTS MOYENS ANNUELS hm3	BASSIN VERSANT km2	ENVASE (E) hm3	ENVASE (C) hm3	ENVASE 1990 hm3	ENVASE 2010 hm3
KEDDARA	1985	145,6				47,3	92	0,23			5,75
CHEFFIA	1965	171	168,4			140	570	0,12	0,12		5,57
GUENITRA	1984	115,5					202	0,13			3,38
ZARDEZAS	1977-S	31	20,2	10,8	34,8	53	570	0,25	1,08	15,12	36,72
K'SOB	1939(77/S)	31	26,4	4,6	14,8	51,7	1500	0,3	0,46	6,44	15,64
F.GUEISS	1939	03	1,6	1,4	46,7	11,3	156	0,03	0,03	1,4	2
F.GHERZA	1950	47	26,5	20,5	43,6	22,2	1300	0,8	0,44	22,26	31,06
DJORF-TORBA	1969	350	316,4	33,6	9,6	200	22000	1,3	1,87	41,08	78,48
LAKHAL	1985	30	30			22	189				
A.ZADA	1986	45	115			70		0,68			16,32
H.GROUZ	1987	220					1220	0,4			10,40
H.DEBAGH	1987	82					1070	0,54			12,42
A.DELIA	1987	82					193				
B.AMRANE	1988	18					3170				
S.ABDELLI	1988	110						0,178			3,92
GARGAR	1888	450					2900	4,100			
ZERALDA	1988	1,6					33	0,005			90,20
D.HARBIL	1989	0,5					185	0,4			
TOTAUX		3886,5			10 %		78471			428,66	933,96

E : Source Etudes

- BARRAGES EN EXPLOITATION

C : Source Levers Bathymétriques

- ENVASEMENT 1990 PROJECTION 2010 -

CHAPITRE II :

MOUVEMENT DES SEDIMENTS ET

MECANISMES DE L'ENVASEMENT

Le souci d'éviter les inconvénients du transport solide nécessite une connaissance approfondie du mouvement des sédiments et du mécanisme de l'envasement des retenues, c'est précisément le but de ce chapitre, qui se divise par voie de conséquence en deux parties, la première traitera le mouvement des sédiments, la deuxième le mécanisme de l'envasement.

PARTIE 1 :

2.1 - Caractéristiques des sédiments :

On peut distinguer les sédiments cohérents et non-cohérents. Les sédiments cohérents reposant sur le fond ou dans les berges, sont consolidés par les liens électrostatiques ou chimiques qui opposent une résistance aux forces d'érosion une fois en mouvement, cependant, ils perdent dans une certaine mesure, ces liens et peuvent devenir non-cohérents après avoir poursuivi leur mouvement, la taille des sédiments cohérents est en général inférieure à 0.06 mm, mais sans que cette limite soit précise.

Les sédiments non-cohérents sont constitués de particules de plus grande taille dont les mouvements sont déterminés par des propriétés physiques de chaque particule et par les forces hydrodynamiques appliquées. Par fois, le lit du cours d'eau est composé d'un mélange hétérogène de deux types de sédiments.

2.1.1 - Taille des particules :

La taille des particules est un rapport direct avec l'aptitude à être transportée des sédiments. Les tailles vont d'un diamètre équivalent de plus de 2 mètres (très gros rocher roulent dans le lit des torrents de montagne) jusqu'à moins de 0.0005 mm (argile très fine restant presque indéfiniment en suspension sans flocculer).

Les dimensions suivantes sont d'usage courant :

Diamètre au tamis : C'est la taille de la maille du tamis à travers lequel la particule peut passer.

Diamètre équivalent ou de Sédimentation : C'est le diamètre d'une sphère de même densité que la particule, et qui aurait la même vitesse de chute dans un fluide donné, et à la même température.

Diamètre nominal : C'est le diamètre d'une sphère de même dimension que les particules.

Dimensions tri-axiales : Ce sont trois dimensions selon des axes orthogonaux choisis de telle façon qu'elles expriment la plus petite et la plus grande dimension de la particule.

On utilise couramment la taille au tamis pour des diamètres entre 0.1 et 75 mm (du sable fin au gros gravier), pour les particules plus fines, on détermine le diamètre de sédimentation par des méthodes d'analyse appropriées. Diamètre nominal et dimensions tri-axiales sont généralement utilisées pour les tailles supérieures à 75 mm.

Les sédiments d'origine naturelle sont généralement composés de particules de taille variées qu'on peut caractériser par une courbe de fréquences cumulées. La figure 2.1 présente les courbes granulométriques d'une série de sédiments et montre clairement que dans un cours d'eau, l'écart type des tailles pour un sédiment grossier est plus grand que celui d'un sédiment fin.

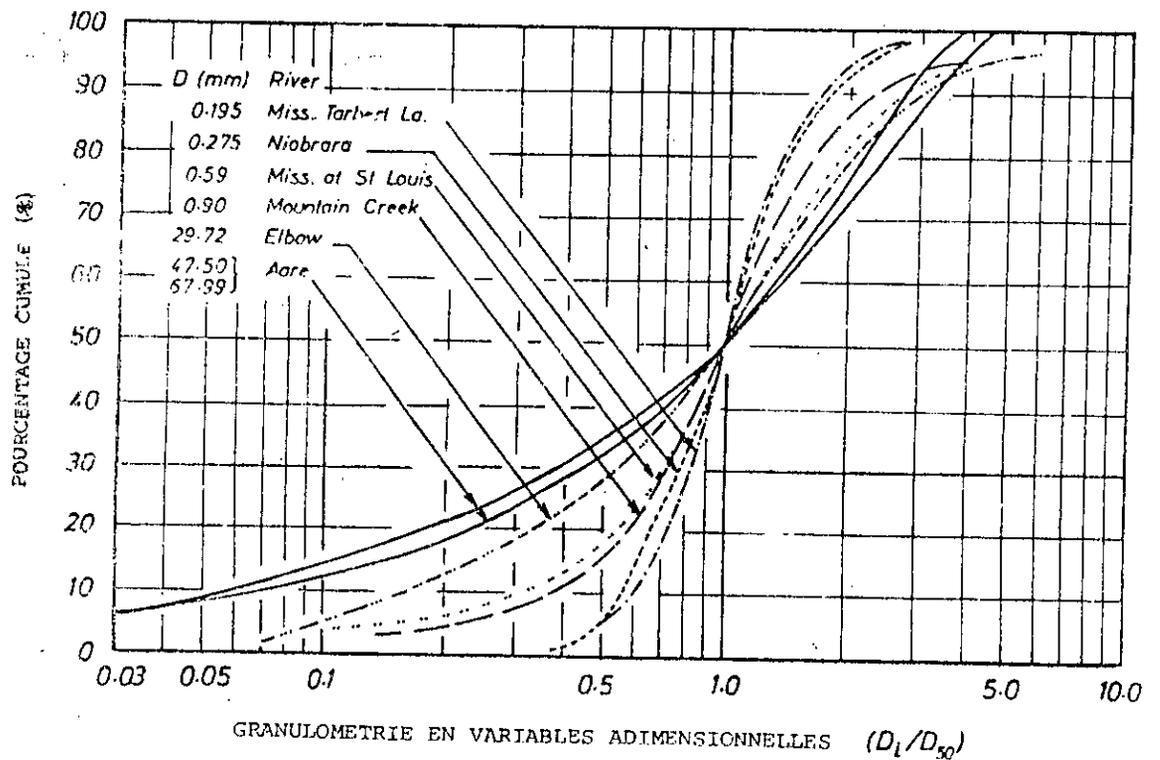


Fig. 2.1 Granulométrie. Dans "Sediment transport: an appraisal of methods (HRS INT 119)", par W.R. White, H. Milli and A.D. Crabbe, 1978. (Copyright de la Couronne, reproduite avec l'autorisation du Contrôleur HMSO et de la Station de Recherche Hydraulique, Wallingford, Royaume Uni).

2.1.2 - Forme des particules :

Ce facteur a une influence sur le volume de transport solide.

Les particules de schistes ou d'ardoise par exemple, reposent sur le fond, orientées de façon à offrir le minimum de prise au courant. Cela veut dire que pour une telle particule la force tractrice n'est pas la même que pour une particule plus arrondie de même volume, les caractéristiques du mouvement s'en trouvant modifiées.

On peut définir la forme d'une particule par l'un ou plusieurs des paramètres suivants:

Rapport Surface Volume : C'est le rapport entre la surface de la particule à la surface d'une sphère de même volume.

Sphéricité : C'est la racine cubique du rapport du volume de la particule au volume de la sphère circonscrite.

Coefficient de courbure : C'est le rapport entre le rayon de courbure moyen des faces de la particule avec le rayon du plus grand cercle inscrit dans une section de cette particule.

2.1.3 - Masse volumique de la particule :

Le mouvement d'une particule dépend du rapport de la force tractrice au poids de la particule. La force tractrice dépend de la forme de la particule, le poids de cette dernière dépend de sa taille et de sa masse volumique.

2.2) Vitesse de chute :

Elle est utilisée souvent dans les méthodes de prévision des transports solides. C'est une propriété fondamentale du système Eau / Sédiment, qui dépend de la taille, de la forme et de la densité de la particule, de la densité et de la viscosité de l'eau.

Elle est définie par la formule de STOCKES lorsque l'écoulement relatif autour de la particule est laminaire :

$$V_s = g(\rho_s - \rho) / 18\mu \quad (2.1)$$

Yalin (1972) donne un graphique adimensionnel (Fig 2.2), qui fournit la relation générale pour les particules sphériques -la forme des particules modifie cette relation et l'ecart est très net pour les grosses particules ayant des vitesses de chute élevées, voir : Graf (1971), Romansky (1972), Asce (1975).

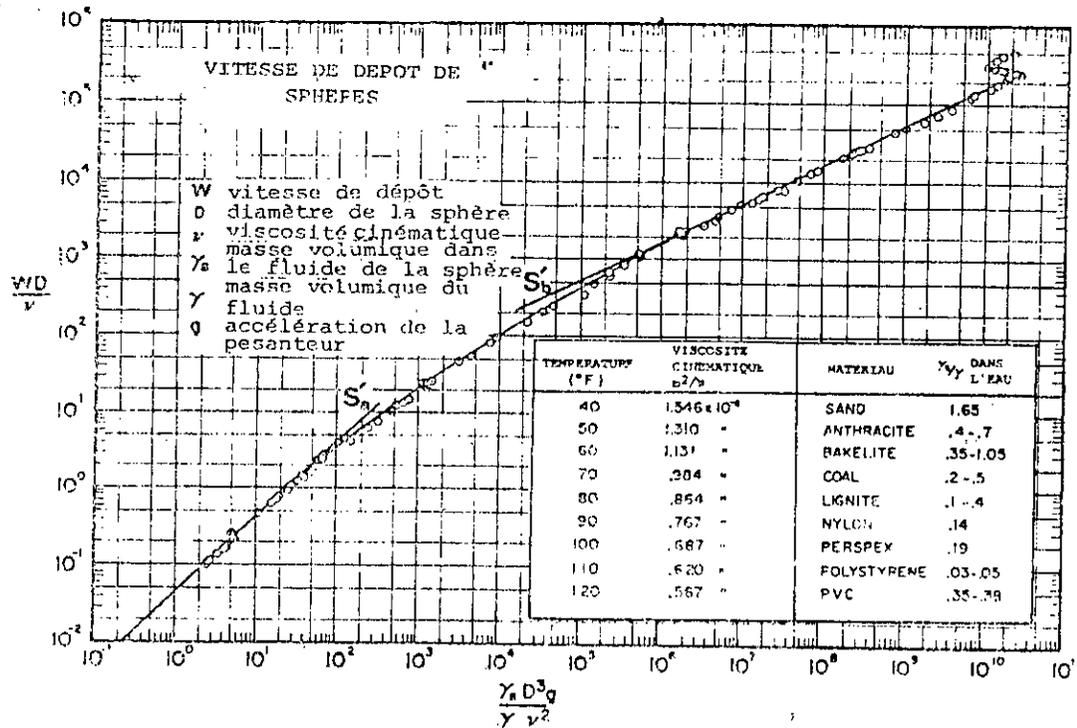


Fig. 2.2 Vitesse de dépôt. Extrait de Mechanics of sediment transport par M.S. Yalin (publié par Pergamon Press, 1977).

2.3 - Vitesse limite de mise en mouvement :

Lorsque la vitesse du courant croît au-dessus d'un lit de matériaux granulant non-cohérents, il arrive un moment où quelques grains sont délogés par l'écoulement et se déplacent à une petite distance dans le sens du courant. Ceci, bien que difficile à préciser, définit le seuil de mise en mouvement. En s'appuyant sur les propriétés physiques des sédiments et les contraintes de cisaillement imposées, bien des auteurs ont décrit le phénomène. (voir conditions d'apparition de l'érosion).

2.4 - Transport de fond et transport en suspension:

a) Transport de fond:

a.1) Généralités:

Tout accroissement de la force hydrodynamique au delà de ce qui est nécessaire pour provoquer le début du mouvement, entraîne le déplacement des matériaux de fond dans le sens du courant. Les particules individualisées commencent à se déplacer le long du lit du cours d'eau en roulant, glissant ou éventuellement par des sauts, par saltation.

la direction du mouvement est en gros parallèle au fond, et les accélérations verticales sont faibles. Ces particules qui se déplacent constamment près du fond à tout instant constituent le transport de fond du cours d'eau.

Einstein a dressé une liste de caractéristiques qui y sont généralement associées :

1 - Il y a un échange de particules permanent et intense entre la charge de fond en mouvement et le lit.

2 - La charge de fond se déplace lentement vers l'aval et le mouvement de chaque particule individuellement, se fait par à-coups rapides séparés par des intervalles de repos relativement longs.

3 - Le saut moyen d'une particule est à peu près indépendant des conditions d'écoulement, de l'intensité du transport solide et de la composition des sédiments.

4 - Les vitesses de déplacement des différentes particules individuelles varient selon qu'elles se déplacent plus ou moins souvent

a.2) 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 hydrodynamiques sont des forces déstabilisatrices (trainée et portance), dues à l'écoulement

-les forces de pesanteur, sont des forces stabilisatrices ou capacité de résistance à l'entraînement.

La grandeur physique explicatives de ce mode de transport (charriage) est la contrainte hydrodynamique critique τ_c

Donc les grains constituant l'interface solide-liquide ayant un poids et un coefficient de frottement fini, ils ne peuvent être mis en mouvement par l'action du fluide que si la contrainte sur le fond τ dépasse la valeur τ_c .

ce mouvement de granulats se traduira par un transport solide sur le fond dans le sens de l'écoulement. La contrainte sur le fond de la rivière s'exprime par :

$$\tau = \rho g R J$$

ou J est la pente de charge régulière de l'écoulement et R représente le rayon hydraulique de la rivière.

pour cela, on dit que le charriage est un phénomène à seuil, et l'analyse très simplifiée pour 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.

b) Transport par suspension:

b.1) Généralités

Le transport par suspension est le deuxième mode de transport solide dans un cours d'eau. Il concerne les éléments fins, qui progressent dans le sens du courant au sein même du liquide. Ces éléments fins du transport solides sont maintenus en suspension par la turbulence et la quantité de ces matériaux dépend essentiellement des quantités d'éléments fins, qui proviennent de l'érosion des bassins versants, due au ruissellement des eaux de pluies.

b.2) 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.

Les étapes composant ce mode de transport sont:

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, elles ne suivent plus une trajectoire bien définie, au lieu de cela, elles suivent des trajectoires aléatoires dans l'épaisseur du fluide.

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

Une formule donnée par W. Kresser, définit le critère d'apparition des phénomènes de suspension qui consistent à définir la vitesse « U » d'écoulement du liquide pour lequel la poussée du liquide sur les grains de diamètre « D » permet la mise en suspension des grains quartzeux de 0.2 à 0.85 mm de diamètre dans les écoulements naturels en rivières.

Ce critère correspond à la formule $U^2 = 360 \cdot g \cdot D$

Mais on peut la mettre aussi sous la forme :

$$\tau = 360 \cdot (\gamma \cdot g / C^2) \cdot D$$

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

puisque l'on a : $U = C \cdot (h \cdot J)^{1/2}$ $\tau = \gamma \cdot h \cdot J$

En désignant par « h » la hauteur du liquide qui s'écoule et par « J » la perte de charge régulière (pente de la ligne d'énergie).

2.5 - Séparation entre Transport en suspension et transport de fond :

Au fur et à mesure que la vitesse du courant s'accroît dans un cours d'eau, l'intensité de la turbulence est l'épaisseur de la couche turbulente s'accroissent également. On arrive finalement à un stade 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.

CHAPITRE II

Suivant une trajectoire aléatoire, les particules peuvent éventuellement se déposer sur le fond. Ainsi, il est difficile scientifiquement parlant de distinguer le transport de fond et transport de suspension. (voir Tableau ci-dessous)

Dimension (Diamètre moyen)	Désignation	Zones concernées	Modes de transport	Nature des phénomènes
$(4 \div 62) \mu$	Silt	Lacs, retenues de barrage, zones d'eau mortes ...	Suspension et de courants de densité.	Mécanique.
$(0.24 \div 4) \mu$	Vases	Lacs, estuaires, littoral.	Suspension et de courants de densité.	Mécanique ou physico-chimique.
$(0.062 \div 2) mm$	Sable	Littoral, cours d'eau.	Suspension ou charriage.	Mécanique.
$(2 \div 64) mm$	Graviers	Cours d'eau.	Charriage.	Mécanique.
$(64 \div 250) mm$	Galets	Plages, rivières à forte pente, torrents.	Charriage.	Mécanique.
$>250 mm$	Blocs	Torrent à très forte pente.	Charriage.	Mécanique.

2.6 - Matériaux fins (charge de ruissellement) :

Ces matériaux fins constituent la charge en matériaux fins et chaque particule se déplace à une vitesse proche de celle de l'eau à son emplacement. La quantité de matériaux fins en suspension ne dépend pas directement des caractéristiques hydrauliques, elle dépend uniquement de la quantité de matériaux fins entrant dans le bief considéré et de la disponibilité en matériaux fins dans le bief même. Ceci est la différence essentielle entre la charge en matériaux fins et le reste du transport en suspension.

2.7 - Pavage du lit :

Dans les chenaux où le matériau du fond se compose de particules de tailles très variées, il y a des mouvements différentiels selon la taille : Les grosses particules sont moins facilement emportées que les petites, et ainsi la couche de surface devient plus grossière que le fond d'origine. Cette couche de surface a un effet protecteur sur les couches sous-jacentes. On désigne ce phénomène par le terme de pavage du lit.

Le mouvement de sédiment de tailles très variées, à partir d'un fond pavé à l'origine, est un sujet complexe pas encore complètement élucidé.

Les méthodes de prévision sont encore balbutiantes.

Dépôt et érosion :

Les hypothèses sur les mécanismes du transport de sédiments et le concept de chenal ou de chenal de cours d'eau à régime régulier, sont fondés sur la prise en considération de phénomènes qui sont supposés correspondre à un état d'équilibre. Ceci est probablement vrai pour des chenaux en laboratoire avec des débits et des apports de sédiments constants. Cela peut être considéré comme vrai également pour de longs biefs de chenaux naturels où des modifications significatives ne se manifestent qu'après de longues périodes. Ces chenaux ne sont pas en équilibre à une échelle de temps géologique mais peuvent être considérés comme tels à l'échelle d'une vie humaine ou pour la durée de vie prévue des ouvrages de génie civil.

Dans bien des cas cependant, les conditions d'équilibre ne sont pas réunies et la différence entre les apports de sédiments et la compétence du cours d'eau est la cause soit d'une érosion, soit d'un dépôt. Parfois, cette différence est due à des causes naturelles est parfois à l'homme ou aux animaux.

2.7.1 - Lacs et retenues :

A l'endroit où le cours d'eau pénètre dans le lac ou la retenue, la vitesse d'écoulement diminue. Il en résulte une diminution de la compétence du courant et un dépôt de sédiments sous la forme d'un delta. Les matériaux les plus grossiers se déposent en premier et il peut se faire que les matériaux très fins traversent le système si le temps de résidence dans le lac ou la retenue n'est pas très grand.

Le dépôt de sédiments entraîne une réduction de la capacité du lac ou de la retenue. La durée de vie de bien de réservoirs actuellement en construction est estimée à environ 70 à 100 ans en ce qui concerne la sédimentation.

2.7.2 - Plaines d'inondation :

La teneur en sédiments s'accroît avec l'écoulement et en périodes de crue il y a généralement de grandes quantités de matériaux unis en suspension, ceci est particulièrement vrai dans les biefs les plus bas et les plus plats du réseau de drainage.

Au cours des événements paroxysmiques, les fleuves débordent par dessus leurs berges et un écoulement de débordement se forme, adjacent à l'écoulement du fleuve dans son lit. Du fait de la haute résistance hydraulique des plaines d'inondation, le débordement se traduit par le dépôt d'une partie ou de la totalité des sédiments fins en suspension.

PARTIE 2

2.8. ETUDE THEORIQUE SUR L'ENVASEMENT DES RETENUES :

2.8.1) Introduction :

L'envasement des retenues est le résultat d'un processus complexe qui se caractérise par trois étapes successives : Erosion, Transport et Sédimentation.(fig 2.3).

L'Erosion est à l'origine de l'envasement : sous l'effet des forces hydrauliques tractrices, les sols des bassins versants, des oueds sont érodés, et on assiste au développement de courants de mixture liquide - solide, caractérisé par une concentration plus ou moins forte, en matériaux solides.

Ces particules solides qui forment les sédiments, peuvent être entraînées, par l'élément moteur qui est l'eau, jusqu'au réservoir ou la cuvette des retenues où elles se déposent, se tassent et forment un lac de vase très important.

Ce processus d'envasement constitue la conséquence la plus dramatique et la plus dangereuse, car il entraîne la diminution des potentialités hydrauliques du pays, réduit la durée de vie des barrages et compromet leur fonctionnement et leur rentabilité.

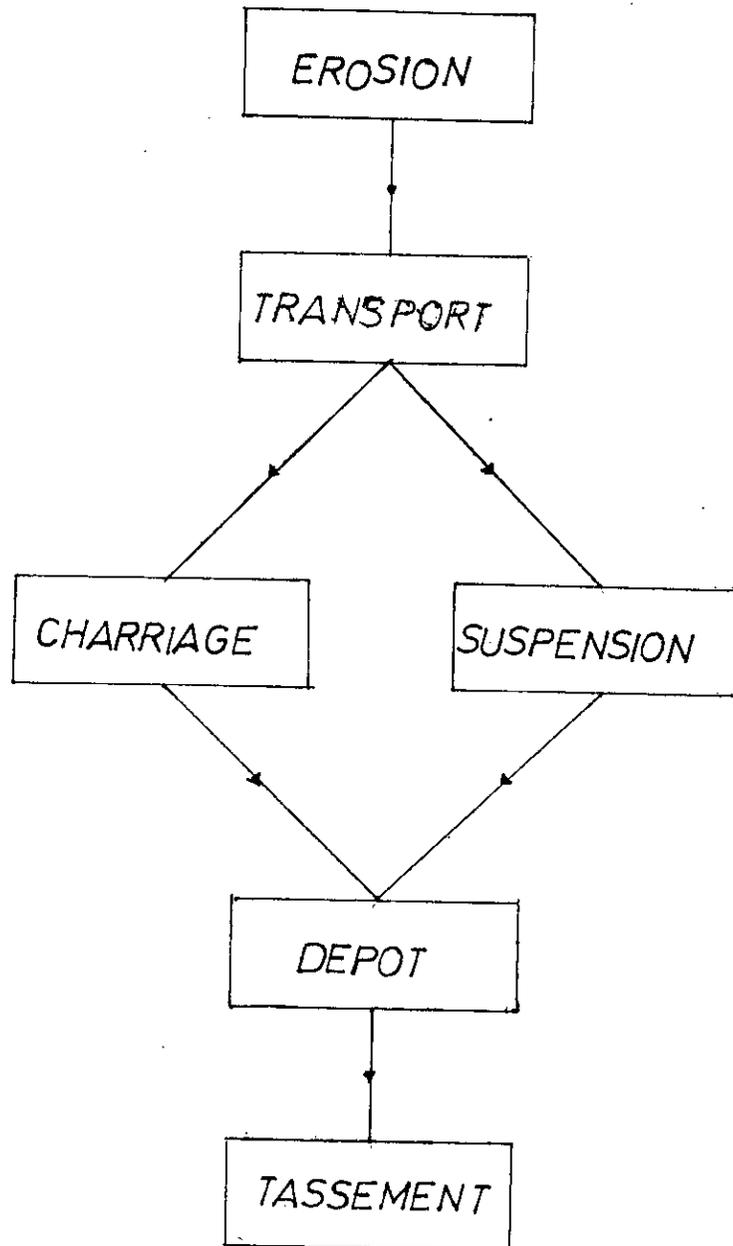


FIG2.3 PROCESSUS D'ENVAISEMENT
DES RETENUES

2.8.2) Mécanisme de l'envasement :

A l'état naturel, les rivières transportent progressivement des quantités importantes de sédiments, soit par charriage soit par suspension. Les eaux chargées de matériaux fins forment un courant de densité qui s'écoule au fond de la retenue et transporte ainsi la vase jusqu'au pied du barrage.

2.8.3) Analyse du mécanisme d'envasement :

1) Conditions d'apparition de l'érosion :

Sous l'action du courant d'eau, les particules solides qui forment les sédiments peuvent être arrachées et entraînées. Les différentes expériences effectuées au laboratoire, ont montré que ces particules ne commencent à s'éroder que lorsque leur contrainte de cisaillement τ_0 exercées par l'écoulement sur le fond dépasse une certaine contrainte critique de cisaillement τ_c .

Donc

$$\tau_0 > \tau_c$$

$$\tau_0 = F \cdot g \cdot R_H \cdot I$$

Où : R_H : Rayon hydraulique.

I : Pente du plan d'eau.

g : Pesanteur

F : Force ou masse volumique de l'eau

$$\tau_0 = d \cdot g (P_s - P) (f \pm I)$$

Où : d : Epaisseur de la couche de fond.

P_s, P : Densité du sol et de l'eau.

f : Coefficient de flottement interne du sol.

I : Pente du fond du lit.

Il faut noter que cette contrainte de cisaillement critique τ_c augmente avec le pourcentage en argile des sédiments et la finesse des particules. Le débit des particules érodées est fonction de la différence entre la contrainte de cisaillement τ_0 et la contrainte critique de cisaillement τ_c .

PARTHENIADES a proposé la formule suivante :

$$Q = M (\tau_0 / \tau_c) - 1 \quad \text{Avec } \tau_0 > \tau_c$$

La constante M dépend de la concentration c (g / ℓ) des sédiments érodés.

BONNE - FILLE a donné :

$$M = 5.5 \times 10^{-11} C^3$$

2) Erosion des bassins versants :

L'érosion des bassins versants est très répandue si les conditions lui sont favorables. Au moment des pluies, une forte érosion est engendrée par plusieurs facteurs, parmi les quels citons :

A) Le relief : Une forte déclivité entraîne une forte vitesse de ruissellement.

B) Irrégularité pluviométrique : Les pluies torrentielles contribuent à accroître l'agressivité climatique sur le terrain.

C) La géologie : L'argile et le marne ont une très faible résistance aux forces érosives.

D) L'absence du couvert végétal favorise la dégradation des terrains.

Tous ces paramètres liés entrent simultanément en jeu, et il est difficile d'en isoler un, pour dire qu'il est le seul à considérer dans l'érosion des bassins versants pendant la crue.

3) Erosion et transport solide dans les rivières :

Les particules qui forment le fond et les berges d'une rivière sont arrachées lorsque la vitesse de l'eau est très élevée.

Cette érosion est d'autant plus importante que la crue est violente et que le lit de la rivière présente une faible cohésion et une fine granulométrie avec une absence de végétation ; Ces érosions sont particulièrement très accentuées sur les zones concaves des méandres.

Dans certains terrains argileux, au moment de la décrue, le fluage peut engendrer une dégradation du talus causée par une baisse rapide du niveau de l'eau dans la rivière. Toutes ces particules arrachées du bassin versant et du lit de la rivière, sont transportées vers l'aval par le cours d'eau, soit en suspension pour les particules fines (sables fins, argile ...), soit en charriage sur le fond pour les particules grossières (sable, gravier, galets, ...).

4) Envasement des retenues et consolidation des vases :

A l'état naturel, les rivières transportent progressivement jusqu'à la mer des quantités importantes de sédiments.

En aménageant ces rivières, l'homme modifie le transit naturel de ces sédiments.

C'est ainsi que les matériaux grossiers transportés par charriage sont freinés dans la zone de remous caractérisée par la présence d'objets flottants et formant un delta en queue de la retenue.

Mais les eaux turbides chargées de matériaux fins, traversant cette zone de remous, forment un courant de densité qui s'écoule en fond de la retenue et

CHAPITRE II

transportent ainsi les vases jusqu'au pied du barrage. En absence de soutirage de fond, il se forme un lac de vase d'un volume très important : (fig 2.4 et 2.5).

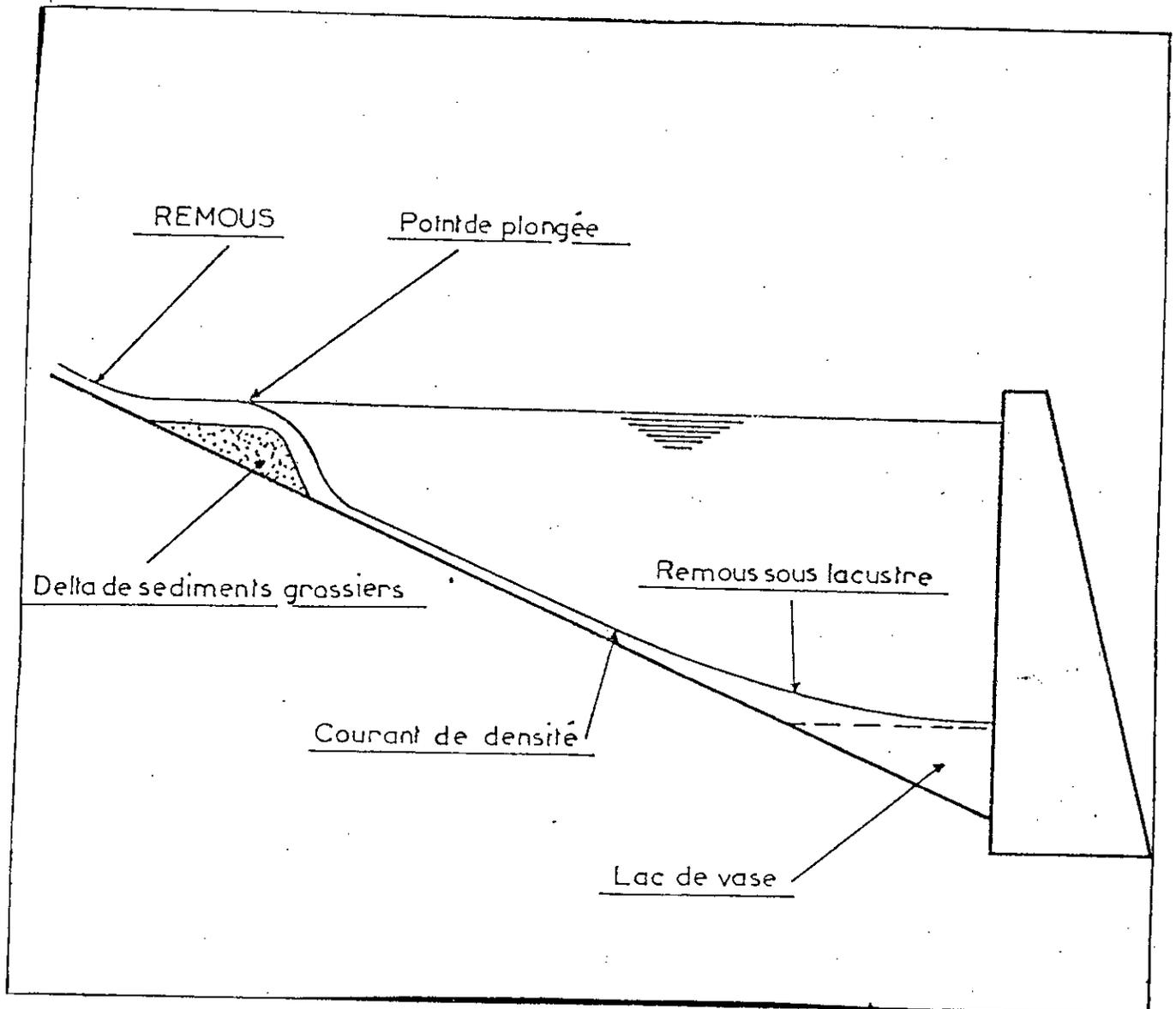


FIG: 2.4 COMPORTEMENT DES SEDIMENTS FINS.

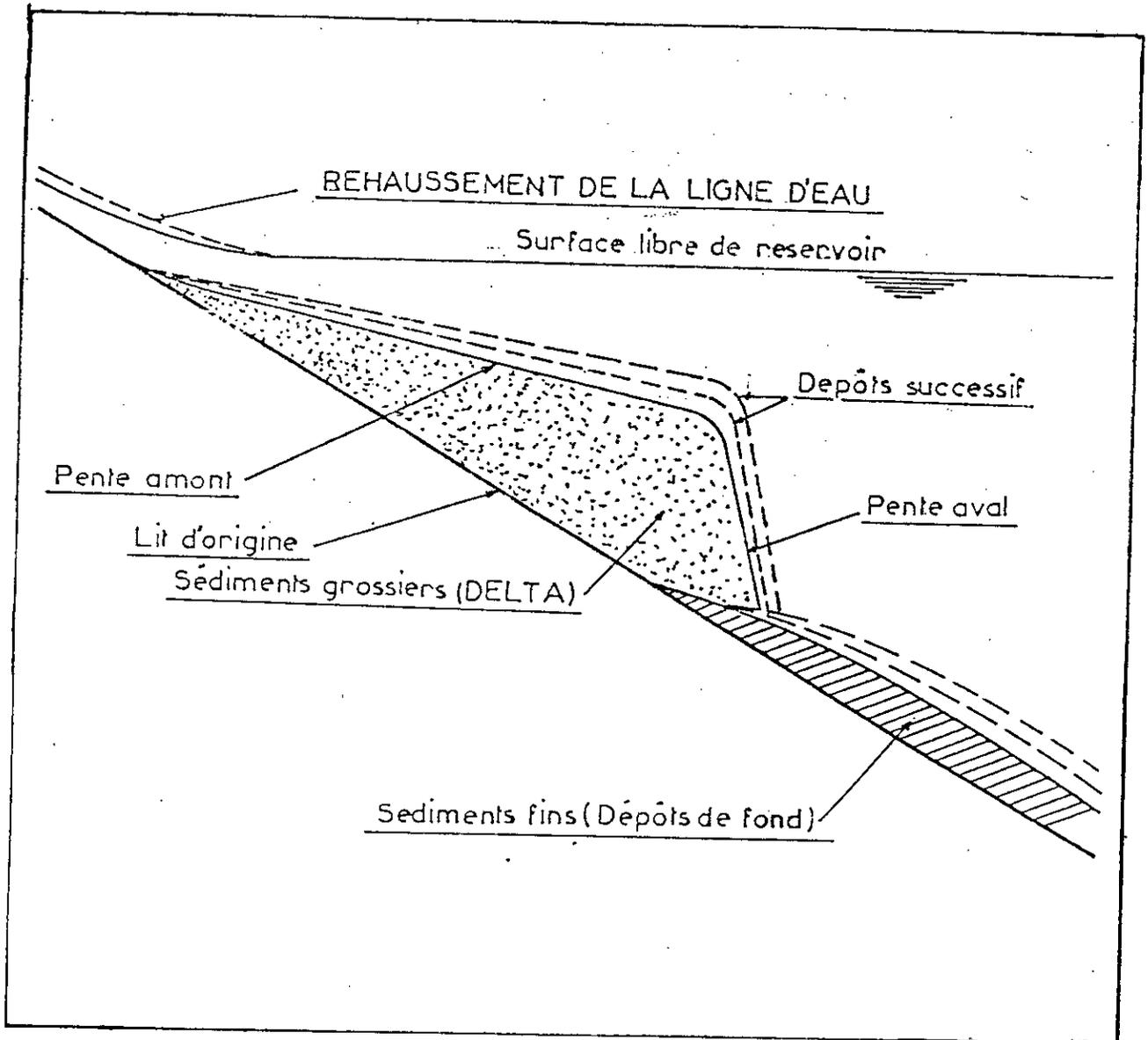


FIG: 2.5 COMPORTEMENT DES SEDIMENTS GROSSIERS.

CHAPITRE II

En réalité, le mécanisme d'envasement des retenues est très complexe, vu l'influence de diverses caractéristiques de la retenue sur son envasement.

Parmi les facteurs principaux qui modifient le schématique précédent, on a

A) La topographie de la retenue qui modifie l'envasement en modifiant les conditions d'écoulement.

B) Les affluents qui se jettent dans la retenue perturbent le mécanisme d'envasement classique, surtout s'ils sont chargés en matériaux en suspension.

C) La végétation existante au fond de la retenue retient une grande partie de sédiments et accélère la consolidation des vases par drainage.

Les particules érodées et transportées par suspension, arrivent au niveau de la retenue où elles commencent à se décanter selon leur granulométries et les conditions d'écoulements.

Le débit de dépôt a été évalué par KRANE en 1962 par une formule empirique dans la quelle il montre qu'au dessus d'une certaine contrainte de cisaillement de fond $(\tau_0)_s$, il n'y a pas de dépôt. Il a proposé une loi donnant un débit de dépôt proportionnel au pourcentage de cette contrainte, à la concentration et à la vitesse de chute des particules :

$$Q_{\text{dépôt}} = C \cdot W_s \left(1 - \frac{\tau_0}{(\tau_0)_s} \right) \quad \text{Avec } \tau_0 < (\tau_0)_s$$

Où

τ_0 : Contrainte de cisaillement exercée par l'écoulement.

$(\tau_0)_s$: La limite de résistance au cisaillement.

Pour les vases marines, KRANE donne une valeur de l'ordre de 8×10^{-2} N/m².

Après cette phase de décantation, les vases vont commencer à se consolider sous la surcharge des couches déposées, en évacuant progressivement les eaux interstitielles. Cela fait diminuer les distances interparticulaires et augmente la cohésion et la concentration du dépôt avec le temps .

$$C(t) = C_0 + \alpha \text{ Log } t$$

C_0 : Concentration initiale.

$C(t)$: Concentration après un temps t .

α : Facteur qui dépend de la taille des particules.

Les sédiments passent alors d'un état fluide à un état plastique et enfin solide.

Cette consolidation peut être plus accélérée en présence d'un chainage naturel assuré par des couches de sables dans le dépôt ou par une végétation.

Il existe aussi un gradient important de concentration entre la surface et la profondeur H , telque :

$$C(H) = C(0) + m \cdot \text{Log } H$$

La consolidation varie d'un matériau à un autre. Certains restent fluide pendant des mois, alors que d'autres se consolident en quelques jours.

2.8.4) Facteurs favorisant l'envasement :

A) La topographie de la retenue :

La topographie de la retenue modifie l'envasement en modifiant les conditions d'écoulement du courant. En général, plus la forme de la retenue est tortueuse, plus l'envasement se déplace vers l'amont. Les élargissements brusques de la vallée, sont des zones de dépôts et de disparition des courants de densité,

d'autres part, pour les retenues de basses chutes, les méandres créent des zones d'eau calme qui favorisent les dépôts.

B) La taille du bassin versant :

Les plus petits bassins versants produisent proportionnellement le plus de dépôts. Cela est évident car si l'on considère que sur un bassin versant de taille réduite, les matériaux érodés peuvent être entraînés et déposés dans la retenue au cours d'une même crue, les distances à parcourir étant faibles, et en général, la pente du lit de l'oued assez forte. Par contre, dans un bassin versant grand, il peut exister des zones d'épandage intermédiaire, ou des tronçons de lit où l'oued dévague, et peut abandonner une partie de la charge solide transportée.

2.9) Méthodes de détermination du taux d'envasement des retenues :

Le contrôle de l'envasement des retenues permet la surveillance des ouvrages et la détermination des mesures de protection à prendre.

Parmi les méthodes les plus utilisées pour déterminer le taux d'envasement des retenues, on trouve :

2.9.1) Mesure à l'écho-sondeur :

Le principe de la méthode est la relève des fonds de la retenue le long du profil en travers choisi au préalable. Les profondeurs sont enregistrées par un écho-sondeur à ultra-son qui se compose lui même d'un émetteur et d'un enregistreur sur papier, le tout est transporté par un bateau. Etant donné les profils en travers d'origine, et en utilisant les nouveaux profils envasés, on peut déduire le volume de la vase déposée au fond de la retenue.

Cette méthode est utilisée dans les grandes profondeurs car la précision est de l'ordre de 20 cm.

2.9.2) Méthode turbidimétrique :

C'est plutôt une méthode qui donne un aperçu sur l'envasement au futur. Le débit massique instantané au niveau d'une station est obtenu en multipliant la turbidité instantanée par le débit liquide instantané, on trace le turbidigramme fournissant la masse solide instantanée véhiculée en fonction de la durée de la crue, et par la même, toute l'année.

2.9.3) Méthode stéréophotogramétrique :

L'un des procédés actuels le plus précis pour établir les données de base, est la stéréophotogramétrie ancienne complétée au sol par un travail topographique. L'erreur commise par ce procédé, dans l'évaluation des coordonnées des points particuliers, est de l'ordre de 0.1 m. Une telle précision permet l'utilisation de cette technique pour déterminer le volume d'envasement des retenues par répétition de photographies semblables, à des intervalles de temps suffisants de l'ordre de 5 ans ou même de 2ans.

Malgré son application qui se limite aux périodes de secheresse, cette méthode reste la plus précise.

2.9.4) Méthodes bathimétrique :

Cette méthode est basée sur les relevés bathimétriques du réservoir et des épaisseurs des sédiments déposés, permettant ainsi d'évaluer le rythme d'envasement du réservoir.

Suivant des profils préalablement repérés, les sondages sont effectués à l'aide de fil avec pesée et avec écho-sondeur graphique à bonde roulante.

2.9.5) Mesure par extrapolation des courbes de dégradation :

A partir d'une expérience acquise sur l'étude de l'envasement de plusieurs barrages dans le monde, on a pu établir une loi de dégradation (degré d'érodabilité) des bassins versants, où la formation lithologique et la lame d'eau écoulee moyenne annuelle ont une grande importance.

CHAPITRE II

Cette dégradation spécifique moyenne annuelle a été formulée par ordre d'importance par trois formations lithologiques :

I = { marnes, schistes, micaschistes, limons, shales, flysihs }

II = { calcaires, marno-calcaires, shales-calcaires }

III = { grés, marno-grés, quartzites, granites, pelite }

Pour les différentes formations lithologiques, on a établi la relation entre la dégradation spécifique annuelle D, et la lame d'eau écoulée moyenne annuelle L.

Formation I : à forte érosion :

$$D = 23 \cdot L^{0,749}$$

$$[D] = [T / Km^2 / An]$$

$$[L] = [mm]$$

Formation II : à moyenne érosion :

$$D = 70 \cdot L^{0,434}$$

Formation III : à faible érosion :

$$D = 90 \cdot L^{0,347}$$

L'application des formules, établies sur la base de l'observation, permet d'estimer l'ampleur du phénomène d'envasement d'un barrage durant toute sa durée de vie et pour des formations lithologiques du bassin versant très variées.

CHAPITRE III :

MOYENS DE LUTTE

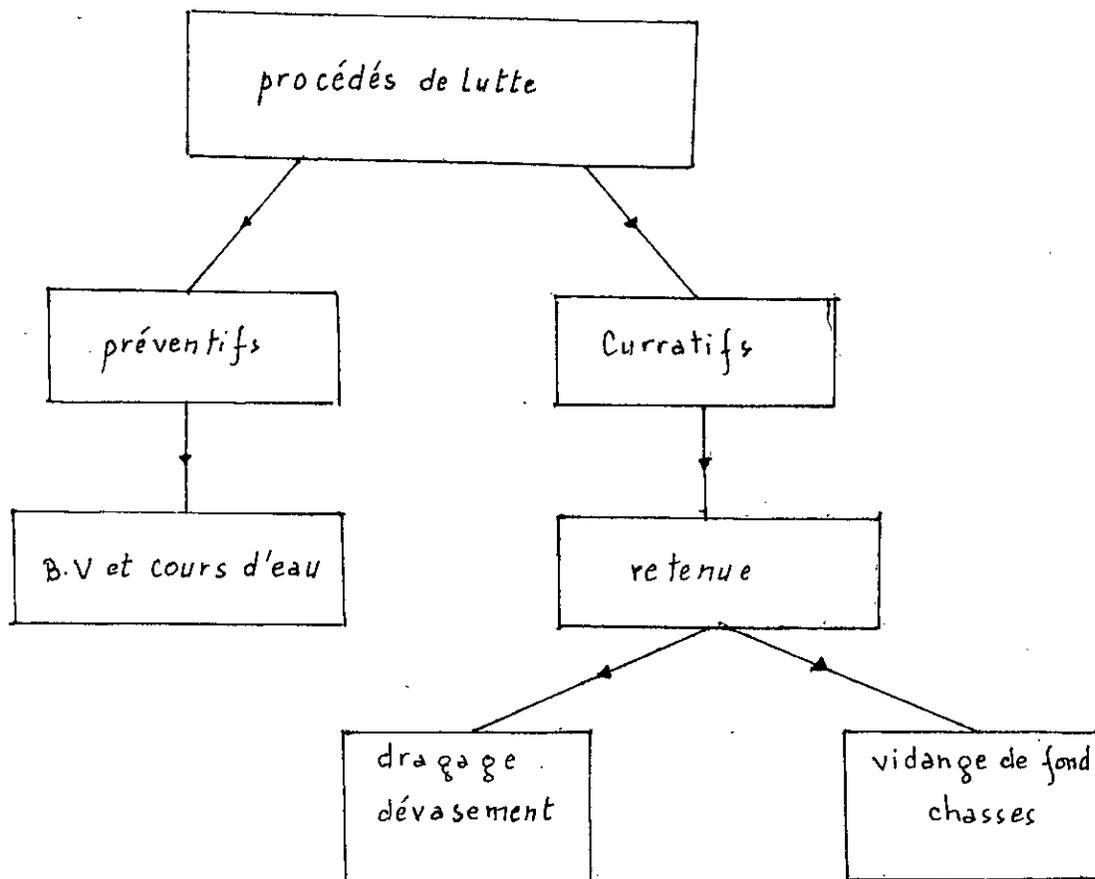
CONTRE L'ENVASEMENT DES RETENUES

3.1 - INTRODUCTION.

L'envasement des retenues constitue actuellement une préoccupation fondamentale, qui met, aussi bien les services d'exploitation et de gestion que les services de mobilisation des ressources hydrauliques devant des difficultés supplémentaires, du fait que, les procédés de lutte engagés s'avèrent peu efficaces et onéreux.

Ces derniers sont schématiquement préconisés sous deux aspects : (voir ci-dessous)

- préventif
- curratif (dévaselement).



Le premier aspect consiste à empêcher l'arrivée des sédiments dans la retenue, il s'agit du traitement du bassin versant et du lit majeur du cours d'eau.

Le second aspect utilise, 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 mécanique.

3.2-LUTTE AU NIVEAU DU BASSIN VERSANT:

On utilise à ce niveau une variété de techniques qui peuvent être classées selon une nomenclature retenue par un nombre important de chercheurs et d'ingénieurs, dans les catégories suivantes:

1-Procédés agrotechniques

2-Procédés hydrotechniques.

3-Restauration des forêts.

3.2.1 - PROCÉDES AGROTECHNIQUES : Ils consistent à :

a) - Choisir des cultures particulièrement capables de protéger les sols contre l'érosion, à titre d'exemple, les herbes remplissent bien cette condition (diminuent l'impact des gouttes de pluies sur le sol).

b) - A diminuer la pente et sa longueur par billonnage et cultures en terrasses suivant les courbes de niveau.

c) - A réduire les perturbations du sol, notamment par des techniques culturales conservatrices qui permettent de cultiver sans retourner du tout le sol.

3.2.2 - PROCEDES HYDROTECHNIQUES.

Ces procédés hydrotechniques de protection contre l'érosion comportent certains types de structures tels que :

- Des ouvrages de retenues et de diversion au sommet des ravines.
- Différentes types dépandeurs de crues.
- Des terrasses et les dispositifs de stabilisation de l'écoulement etc...

3.2.3 - RESTAURATION DES FORETS.

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

1 - Ceintures forestières sur les terres agricoles pour régulariser le ruissellement, améliorer l'infiltration et protéger de l'érosion éolienne.

2 - Bandes de forêts et bouquets d'arbres à l'intérieur du réseau hydrographiques (dessin des chenaux découlement) les longs des ravines pentues et des vallées soumises à une forte érosion. Les ceintures forestières sont très efficaces, lorsqu'elles sont plantées parallèlement aux courbes de niveau.

3.3 - LUTTE AU NIVEAU DU COURS D'EAU.

Au niveau des cours d'eau, le fond et les berges sont protégées contre l'érosion par des dispositifs variés. Généralement on distingue deux sortes de protection.

- Protection directe ou continue.
- Protection indirecte ou discontinue.

3.3.1 - PROTECTION DIRECTE OU CONTINUE.

Elle consiste à augmenter la résistance du lit de la rivière contre les forces érosives des courants d'eau à vitesse élevée. Pour cela on peut utiliser :

- des plantes à croissance rapide telle que les roseaux, peuplier, osier,
- des enrochements plus ou moins taillés et posés à la main pour former un perré. Ce dernier rejointoyé avec du mastic bitumineux forme un revêtement souple, imperméable et bien résistant aux chocs.
- Les gabillons formés de gallets enfermés dans un grillage de forme prismatique ou cylindrique.
- Dalles de béton préfabriquées ou coulé directement sur les berges et le fond. Cette protection revient très chère, c'est la raison pour laquelle elle est réservée seulement aux cas critiques tels que : les traversées urbaines de rivière, protection des voies de communication ou de bâtiments sur les rives de la rivière.
- Des rideaux de palplanches peuvent bien protéger les berges contre l'érosion.

3.3.2 - PROTECTION INDIRECTE OU DISCONTINUE.

Elle consiste à éloigner de la berge et du fond les courants érosifs. Nous citons :

- a - Les épis disposés sur les berges qui repoussent les courants vers le centre de la rivière.
- b - Les seuils implantés en travers, limitant l'approfondissement du fond.
- c - Les profils en travers de stabilisation, formés par des poutres en béton disposées à des intervalles réguliers.

3.4 - CONCLUSION.

L'utilisation faite des procédés agrotechniques, forestiers ou hydrotechniques varie selon les conditions locales, en accord optimum avec la régularisation du ruissellement, ce qui permet d'obtenir ainsi la diminution souhaitée de l'érosion dans les interfluves. Les méthodes agrotechniques sont souvent les plus économiques, car on peut amortir la dépense rapidement. La plantation de peintures forestières nécessite un investissement initial plus important et cela peut prendre des années avant qu'on obtienne une protection efficace du sol. Les sommes investies dans les dispositifs hydrauliques, plus coûteuses, sont normalement amorties après un temps plutôt long. Dans la plupart des cas, il est difficile, voir impossible de prévoir les bénéfices matériels et économiques des différentes méthodes de protection des sols.

3.5 - LUTTE AU NIVEAU DU BARRAGE.

Parmi, les procédés de lutte contre l'alluvionnement des retenues, au niveau du barrage, on pratique classiquement les techniques suivantes :

3.5.1 - LES CHASSES :

a - Chasse complète (méthode dite Espagnole).

Elle consiste à vider entièrement le barrage, elle n'est cependant utilisée que pour des barrages de moindre importance et à régularisation annuelle méthode utilisée dans les barrages du Hamiz, de Béni-Amrane).

b - Chasse à barrage plein.

Le dévasement s'effectue par une onde de chasse créée par une ouverture rapide des vannes de vidanges (méthode utilisée sur la plupart des barrages algériens).

c - Chasse des courants de densité.

Le soutirage des courants de densité grâce aux vannettes de dévasement, est en moyen efficace pour les retenues où se trouvent réunies les conditions de formation des courants de densité. (Méthode utilisée sur le barrage Ighil Lemda, Sidi-Mohamed - Ben Aouda).

3.5.2 - LE DRAGAGE.

Ce procédé est le plus couramment utilisé, notamment lorsque les consignes d'exploitation interdisent toute perte d'eau. (Méthode utilisée sur les barrages de Cheurfa, de Fergoug, Hamiz et actuellement au barrage Zardezas).

3.5.3 - CONCLUSION.

Les différents moyens de chasses employés seuls, s'avèrent inopérants et insuffisants au regard de l'ampleur des volumes de matériaux solides charriés ou en suspension. Il faut donc toujours leur associer le dragage, comme étant le système le plus fiable.

CHAPITRE IV :

AMENAGEMENT DES RIVIERES ALLUVIALES

AN MOYEN D'EPIS

4.1) Principes de l'aménagement à courant libre des rivières alluviales :

Dans ce chapitre nous nous proposons de présenter les travaux d'aménagement des rivières alluviales à courant libre, ce-ci sous entend que les courants dans ces rivières ne sont pas divisées en biefs par des barrages.

Dans cet objectif on exposera les principes de cet aménagement, son but, et ses méthodes.

L'aménagement des rivières alluviales au moyen d'épis fera ensuite l'objet d'une étude détaillée afin d'avoir une idée sur ce que donnera notre conception du fait que c'est le seul aménagement pouvant être assimilé à notre approche.

4.1.1) But de l'aménagement :

En aménageant une rivière en vue de sa régularisation, les objectifs à atteindre sont généralement les suivants :

- Ecoulement rapide et sans danger des eaux de crue.
- Transport efficace des sédiments par suspension et par charriage ou bien au contraire leur piégeage en vue d'une amélioration des dépôts au niveau du cours d'eau ou une réduction des dépôts à l'aval au niveau de la retenue qui est l'objectif fixé par notre étude.
- Concentration du courant dans une section déterminée du lit.
- Stabilité du cours avec minimum d'érosion des berges.
- Profondeur suffisante et parcours aisé pour la navigation.

Pour ce fait, les travaux doivent concerner les trois débits d'aménagement; Le lit moyen, le lit majeur et le lit mineur.

4.1.2) Conditions permettant les améliorations :

Les parties de rivières stabilisées qui ne varient naturellement que par oscillation autour d'un état d'équilibre permettant des améliorations plus faciles.

Parmi les trois types de rivières alluviales ; Type creusant, type comblant, type sinueux, c'est ce dernier qui est le plus stable.

La réalisation d'un tracé sinueux convenable est donc capable de régulariser une section instable dans son état naturel, mais il faut éviter un allongement trop important du tracé en prévention à une mauvaise transmission des crues.

Les ouvrages réalisés sur une rivières du type creusant, risquent d'être détruits par l'affouillement du lit qui est une caractéristique de ce type de rivières. Il faut donc prendre des dispositions pour la correction de la pente de la rivière.

L'amélioration des rivières du type comblant peut être effectuée dans une légère mesure par stabilisation des berges, ce qui a pour effet de réduire le transport solide en supprimant l'apport dû à l'érosion de ces berges, mais il subsiste une complication due au risque d'enterrement par colmatage des ouvrages, ainsi faut-il prendre des mesures de conservation du sol dans le bassin supérieur.

4.1.3) Bases des diverses méthodes d'aménagement

Pour mettre au point un projet d'aménagement, il est nécessaire de disposer de données suffisantes sur le régime hydraulique du cours d'eau en cause, de connaître la morphologie des terrains traversés et le mécanisme de l'évolution du lit existant, notamment le transport solide, de définir les débits pour les quels se fera l'aménagement. On a alors la possibilité de déterminer les caractéristiques des ouvrages de correction et l'effet qu'ils produiront.

Les études de laboratoires apporteront toujours une aide efficace à la recherche de la solution du problème.

4.1.4) Méthodes d'aménagement :

Pour l'aménagement d'une rivière, on procède généralement par étapes :

On commence par effectuer ce que l'on désigne sous le nom de régularisation, qui consiste à aménager les seuls passages difficiles : Zones de rapides, courbes raides, chenaux multiples.

Le lit étant régularisé, on passe alors à l'étape suivante ; La normalisation, qui consiste à donner au lit des formes telles qu'en basses eaux on dispose du tirant d'eau nécessaire tout le long du processus.

L'amélioration du lit mineur à l'intérieur du lit moyen n'est possible de façon stable que lorsque la largeur de ce lit est en proportion raisonnable de celle du lit moyen, la où le transport de sable s'effectue, l'aménagement mis en oeuvre nécessite une considération complète de tous les points de vue afin de parer aux effets

secondaires qui peuvent prendre forme éventuellement et causer des dommages non négligeables.

4.2 - Aménagement par épis :

Dans ce qui suit, on essayera de cerner un type d'ouvrages d'aménagement qui a trait avec le but fixé par notre étude; Il s'agit des épis qui sont actuellement largement utilisés en vue de régulariser les rivières alluviales et plus précisément leur lit mineur et moyens.

4.2.1) Choix des matériaux :

On est guidé pour le choix des matériaux par les ressources locales et par des considérations de prix de revient. La pente du cours d'eau joue un rôle important pour guider ce choix.

On peut utiliser de la terre pour les ouvrages pleins. La terre ne résisterait pas à la submersion ; les ouvrages doivent s'élever au-dessus des plus hautes eaux. Il y a intérêt à les renforcer en surface par des matériaux résistant ou à disposer la terre dans des sacs.

Les matériaux pierreux peuvent être ceux de la rivière elle-même. Le courant pouvant les déplacer, il s'impose de les recouvrir d'une carapace protectrice, de les enfermer dans des gabions ou être utilisés pour fabriquer des blocs artificiels.

On a intérêt à utiliser des matériaux denses qui sont moins facilement emportés.

4.2.2) Les épis :

Un épi est une structure enracinée à la berge, établie transversalement par rapport au courant. La figure (4.1) représente la coupe longitudinale d'un épi bas d'aménagement du lit mineur.

AB est la partie plongeante, BCD la partie noyée, A est la racine ou attache, AC le dos, C la tête ou la pointe, D le pied, CD le talus.

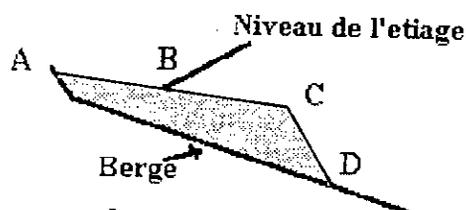
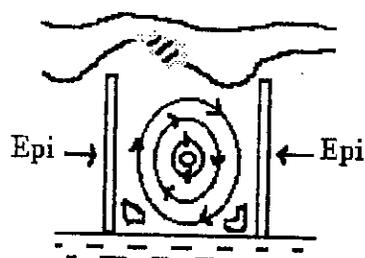
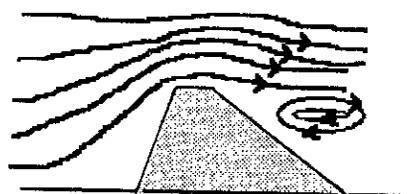


Fig 4.1. Coupe en travers d'un épi bas.



▣ Zone d'affouillement
des courants

En basses eaux



Coupe verticale d'un épi-direction

En hautes eaux

Fig 4.2 : Courants secondaires créés par des épis.

A) Action des épis sur le courant et sur le fond :

Les épis sont des obstacles à l'écoulement de l'eau ; ils provoquent un régime de vitesse décroissant de la tête vers l'enracinement et entraînent un changement de direction du courant à leur voisinage (Fig 4.2). En basses eaux, sans déversement, les courants forment des tourbillons à axe vertical. Lorsqu'il y a déversement par-dessus l'épi, il se forme d'autres tourbillons à axe horizontal qui se superposent aux premiers.

L'eau superficielle qui, lorsqu'il y a submersion, circule à grande vitesse dans le casier que délimitent deux épis successifs entraîne avec elle une partie de l'eau de couches inférieures.

D'autre part, les épis provoquent un léger exhaussement de l'eau qui crée une pente transversale de la surface libre et un décollement des bords vers le milieu du lit. La continuité du débit est assurée par un courant de fond qui contourne la tête de l'épi, les courants de fond et de surface ont une direction croisée, ce qui est à l'origine de la création d'un tourbillon; on constate effectivement une forte perturbation à l'aval du musoir d'un épi. Dans cette zone perturbée, on observe un affouillement.

Le courant de fond, chargé de matériaux, dont nous avons vu qu'il se dirige vers la berge, est ralenti dans l'intervalle entre épis.

Des matériaux peuvent se déposer, les dépôts sont relativement importants le long de la face amont de chaque épi.

B) Profil des épis :

En rétrécissant le lit, les épis bas permettent la navigation en basses eaux .

Ils ont une hauteur qui dépasse de peu l'étiage conventionnel.

La tête en rivière a au plus 50 cm de haut, ce qui a pour objectif de limiter l'importance de la force d'érosion. L'épis rejoint la berge par une faible pente (1/50 à 1/200) ou avec une succession de paliers horizontaux. La pente du musoir, côté rivière, va de 1/4 à 1/5 jusqu'à 1/10 ou 1/20. L'enracinement en rive doit-être particulièrement soigné. La plate-forme des épis a de 1 m à 3,50 m de large, la pente du talus varie de 1/1 à 1/3.

Le parement aval, particulièrement , doit avoir une pente douce au risque de voir le diversement produire l'affouillement au pied de la face avale.

C) Tracé en plan des épis.

En général les épis sont toujours dirigés vers l'amont. Le courant qui les submergent tend à prendre une direction perpendiculaire à celle des épis, ce qui a pour effet de ramener les eaux vers le milieu de la rivière.

On utilise cette propriété des déversoirs noyés pour faciliter le changement de direction des eaux en accentuant l'obliquité vers l'amont des épis de la rive concave.

Une telle implantation favorise aussi la dérivation des sédiments du chenal navigable vers les zones entre épis au moment des hautes eaux.

Lorsque les épis sont dirigés vers l'aval, on observe un courant longitudinal devant leur face amont, qui dans certain cas peut entraîner la nécessité d'une protection s'étendant jusqu'à la berge pour parer à un éventuel affouillement se produisant près de leur pied.

D) Espacement des épis.

Les règles concernant l'espacement des épis ne sont parfaitement fixées. Cet espacement est fonction de la largeur de la rivière et de la longueur.

Des épis de même longueur doivent-être plus espacés dans une rivière large que dans une rivière étroite de débit équivalent.

En gros il semble que l'efficacité d'un système d'épis soit maximale lorsque l'écart de deux épis successifs est de l'ordre d'une fois et demi leur longueur moyenne on peut prévoir un espacement plus important pour les berges convexes (2 à 2,5 fois la longueur des épis, l'espacement étant plus faible dans la branche ascendante que vers l'extrémité avale) que pour les berges concaves et donner une valeur intermédiaire au droit des inflexions.

CHAPITRE V

ETUDE EXPERIMENTALE

PARTIE 1:

5.1) Introduction :

L'entraînements de solide à l'état granulaire en très grand nombre, sous l'action de l'écoulement de l'eau a suscité depuis toujours une attention particulière de la part des chercheurs et des ingénieurs hydrauliciens du fait de son importance, des paramètres qu'il met en jeu, mais surtout de ses conséquences souvent dramatiques.

Aucune théorie élémentaire cernant le problème du transport solide n'a pu être élaborée jusqu'à ce jour, si ce n'est des modèles assez généraux souvent qualitatifs qui permettent de limiter et d'orienter l'emploi des formules empiriques.

A cause donc du manque d'outils analytiques adéquats, le recours à l'expérience devient indispensable, d'une part pour résoudre les problèmes pratiques, d'autre part pour donner les éléments fondamentaux à une théorie qui reste toujours espérée.

Dans ce sens, une procédure est développée pour une conception rationnelle d'un système d'obstacles immergés, pour le contrôle et le captage des particules solides dans un canal à surface libre. Le canal prismatique est à section rectangulaire.

Notre étude est basée sur l'évaluation de la quantité de vase déposée sous l'effet de tourbillons générés par des obstacles placés tout le long du canal.

5.2) Modèle expérimental :

Le dispositif expérimental utilisé dans nos essais est constitué essentiellement de :
(figure:5.1; Photo 1)

- a - Un canal prismatique vitré.
- b - Des obstacles en bois.
- c - Un organe d'amenée de l'eau avec vanne de réglage du débit.

A) Canal vitré :

C'est un canal prismatique en matière plastique transparente, de longueur 8 m, de largeur 39.6 cm et de 40 cm de hauteur.

Le canal est horizontal posé sur des supports à 1.20 m du sol. Une grille de tranquillisait permet de distinguer deux parties différentes de ce canal :

Une partie amont :

Elle présente elle même deux zones :

- Une partie inclinée permettant l'alimentation en eau par une conduite en charge connectée à un réservoir. Une vanne permet le réglage du débit. Deux briques et une étoffe de copeaux y sont déposées afin de tranquilliser l'écoulement et d'éviter une formation de ressaut hydraulique à l'aval.
- Une partie horizontale de 0.65 m de longueur juste à l'amont de la grille. C'est le lieu où est effectué l'injection des particules solides.

La partie aval :

C'est le lieu qui intéresse notre étude, elle présente une longueur de 5.40 m.

Les obstacles y sont déposés suivant différentes dispositions et différentes distances.

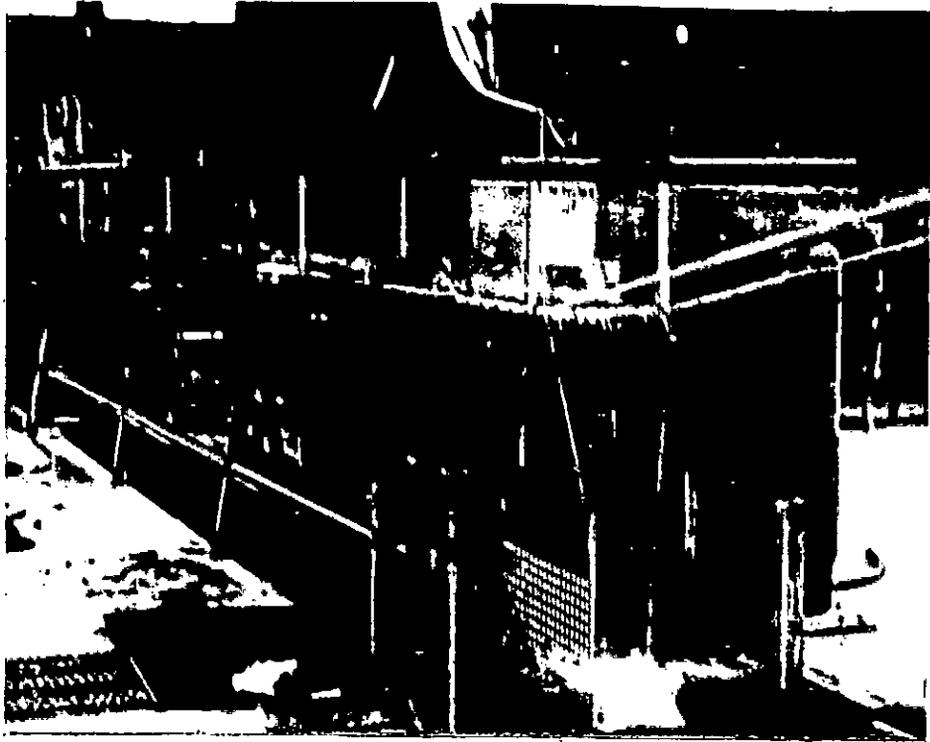


photo 1: vue de coté .

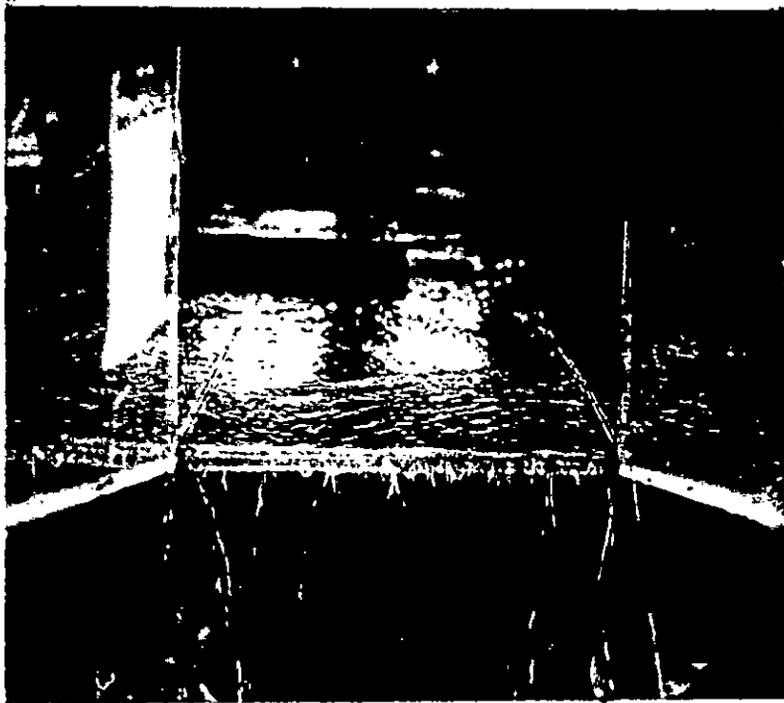
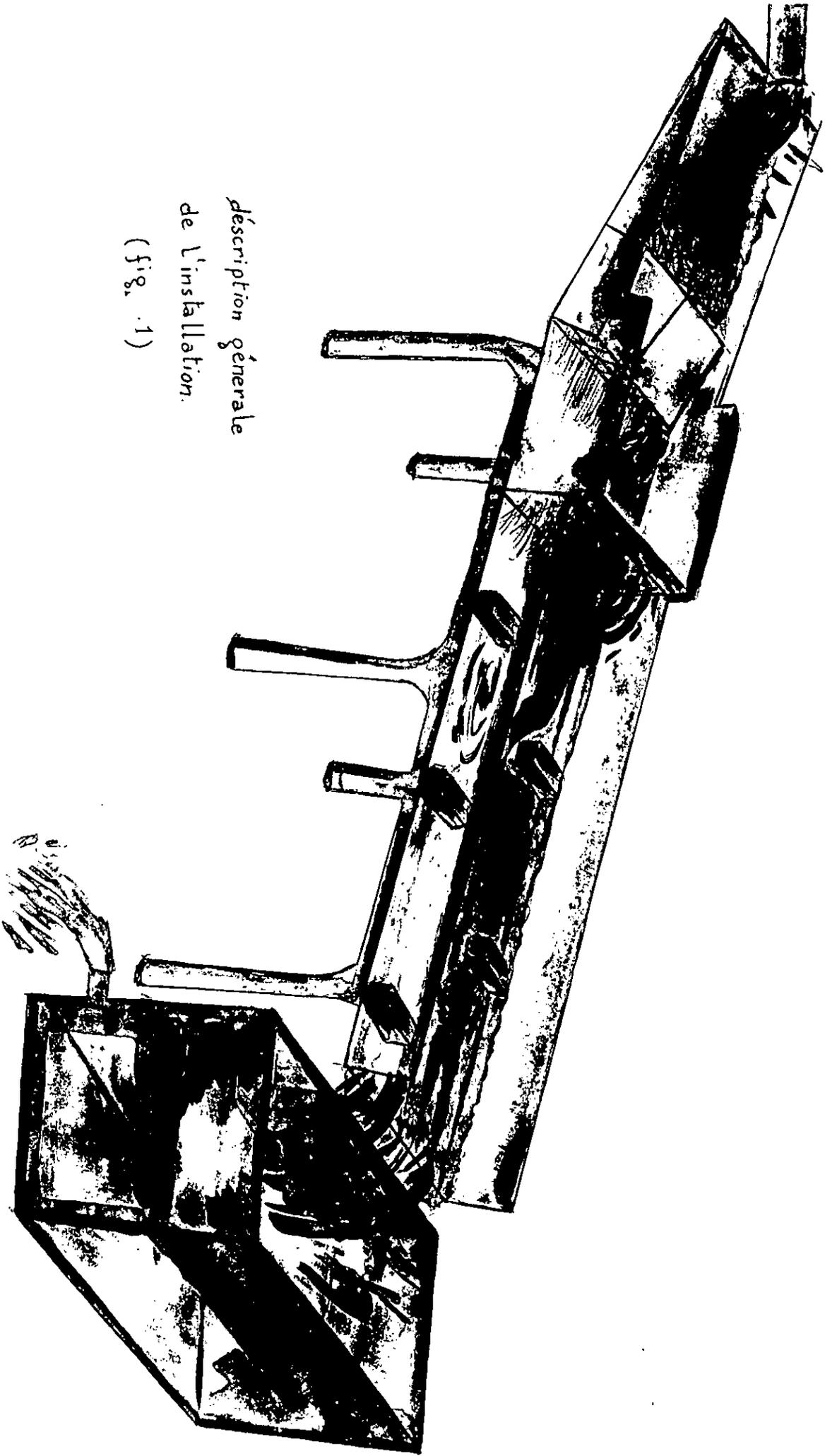


photo 1: vue de face .

déscription générale
de l'installation.
(fig. 1)



C'est aussi le siège de formation des tourbillons où s'effectuent les dépôts.

B) Les obstacles :

Ce sont des boîtes en bois de forme prismatique de 20 cm de longueur, 5 cm de largeur et 6 cm de hauteur. Une deuxième variante d'obstacles de longueur plus réduite ont été utilisées. Ces derniers sont de la même forme que les premiers avec une longueur de 10 cm, une largeur de 5 cm et une hauteur de 6 cm. Ils n'ont été utilisés que pour une seule variante de disposition.

La proportion Hauteur/Longueur des grands obstacles est donc $H/L = 0.3$

La proportion Longueur des obstacles / Largeur du canal est $L/b = 0.5$

C) Dispositifs d'alimentation en eau du canal :

L'alimentation en eau du modèle se fait par l'intermédiaire d'une conduite en charge, elle même alimentée à partir du circuit d'eau du laboratoire d'Hydraulique de l'E.N.P.

5.3) La réalisation du modèle expérimental :

La mise en état de fonctionnement du modèle expérimental a pris 1/3 du temps et de l'effort consacré à cette étude.

Le canal existant déjà, reste à trouver une méthode d'adduction de l'eau, et de son évacuation du canal ainsi qu'un ensemble de détails concernant la méthode d'injection de la vase et l'éloignement du premier obstacle de la grille.

Après maintes essais, des résultats ont pu être obtenus.

La vase utilisée dans notre étude est la vase de l'oued El-Harrach, présentant des dimensions de grains de diamètre moyen équivalent de 10 micron, sa densité :

$$\rho_s = 2.65 \text{ g/cm}^3.$$

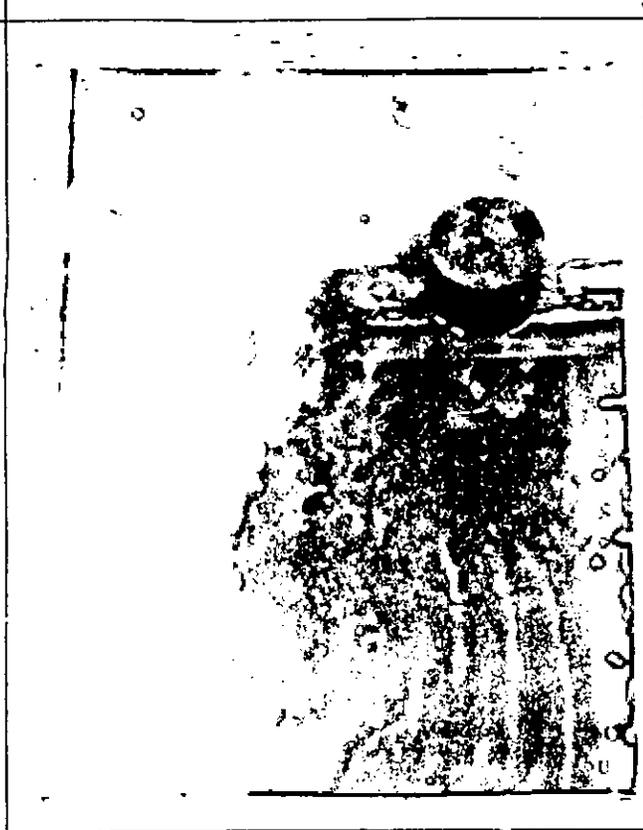


photo 2: b : formation d'un courant
de densité

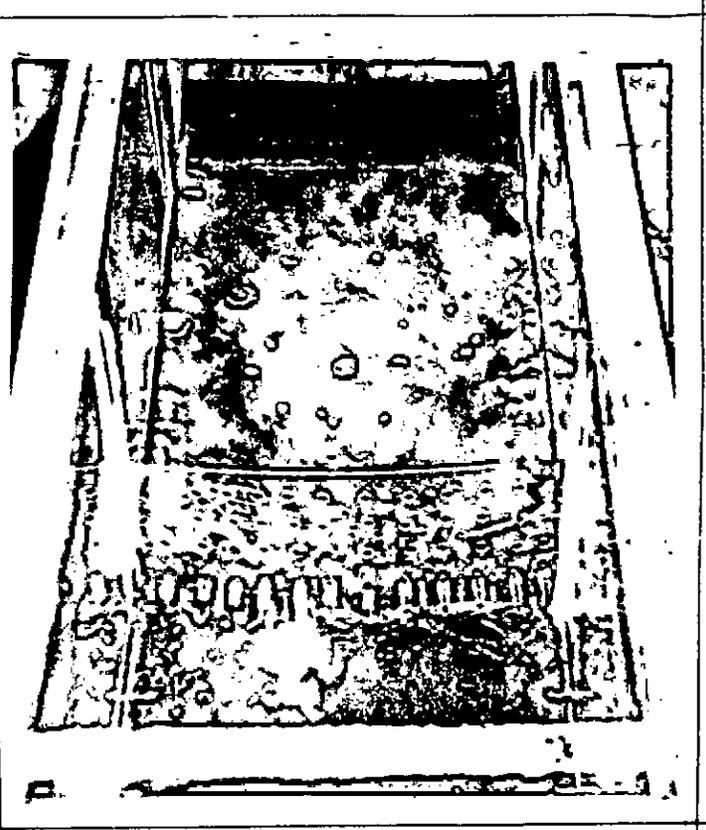


photo 2: a : injection



photo 2: c : diffusion



photo 2: d : commencement de
la déposition.

Ce système de succession est conservé tout le long du canal. La distance entre les deux premiers obstacles et le troisième est de 60 cm. La distance entre ce troisième obstacle et les deux prochains est 60 cm.

Les résultats de cette variante seront discutés dans le chapitre suivant.



Figure (5.2) : Variante 1.

b) Variante avec les grands obstacles : (Variante 2)

C'est la variante qui a pris la majeure partie du temps d'étude, au vu des résultats de la première. Dans cette variante on a testé l'emplacement des obstacles dans le lit du canal, leur éloignement successif ainsi que leur inclinaison par rapport à la paroi du canal.

Au début, les obstacles ont été collés à la paroi d'un même coté du canal, avec un éloignement uniforme tout au long du canal, c'est donc la disposition en forme d'épi.

(Figure 5.3).



Figure (5.3) : Variante 2, disposition en forme d'épis

Une autre disposition était d'interchanger les obstacles deux à deux sur les deux cotés du canal toujours avec un éloignement uniforme. (Figure 5.4)

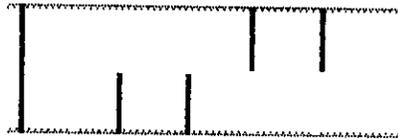


Figure (5.4) : Variante 2, disposition en épis interchangeables

Finalement on a opté pour la disposition en chicane à éloignement uniforme au vue de son meilleur rendement comparé aux dispositions citées plus haut. (Voir chapitre 6)

L'éloignement entre les obstacles a été varié de 60 cm à 120 cm à rythme de 10 cm (Figure 5.5).



Figure (5.5) : Variante 2, disposition en chicane

L'effet de l'inclinaison des obstacles par rapport à la paroi a été étudiée, l'angle d'inclinaison 60° et 30° vers l'amont et vers l'aval ont fait l'objet d'études pour tester une éventuelle modification dans les tourbillons qui se forment entre obstacles dans la finalité d'améliorer les dépôts. (Figure 5.6 a;,b).

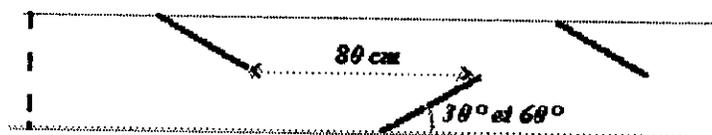


Figure 5.6 a : Disposition en chicane inclinée vers l'aval de 30° et 60°

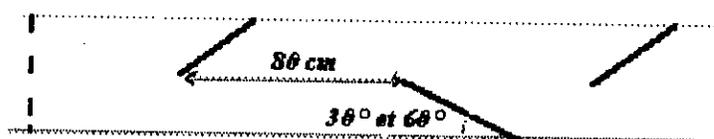


Figure 5.6 b : Disposition en chicane inclinée vers l'amont de 30° et 60°

L'effet combiné des deux obstacles inclinés de 60° vers l'amont et vers l'aval et un obstacle a été testé dans le même but (Figure 5.7 a,b).



Figure 5.7 a : Combinaison d'obstacles inclinés vers l'aval et d'obstacle droit

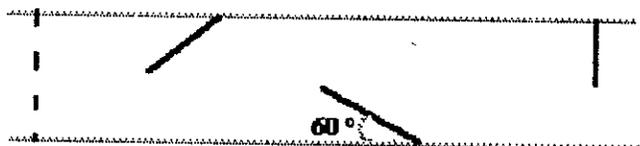


Figure 5.7 b : Combinaison d'obstacles inclinés vers l'amont et d'obstacle droit

5.5) Protocole de mesure :

Les distances entre les obstacles ainsi que les hauteurs d'eau à l'amont des obstacles sont mesurées à l'aide d'une règle graduée.

Le débit est mesuré à l'aide de la méthode volumétrique (un sceau, un chronomètre, une burette étalonnée).

Après séchage du canal, les quantités de sédiments déposés entre les obstacles sont récupérées une à une dans des gobelets portant des indications sur l'expérience réalisée et la zone de dépôt de Chaque quantité.

Une balance électronique permettra de peser chaque quantité avec une bonne précision.

L'efficacité des différentes dispositions d'obstacle a pu ainsi être évaluée.

La masse injectée dans nos essais est de 100 grammes à laquelle on doit enlever les quelques grammes de grosses particules (sable fin) qui se déposent instantanément à l'amont de la grille lors de l'injection.

PARTIE 2 :

5.6) Etude bibliographique :

Le domaine du contrôle des sédiments transportés par les cours d'eau est un immense "chantier" d'études et de recherches très divers. Dû au manque d'outils analytiques, la conception des structures de contrôle des sédiments doit impérativement se baser sur des études effectuées avec des modèles physiques. La solution optimale étant obtenue par essai et erreur.

Une technique qui s'avère économique et dont les potentialités n'ont pas encore été largement explorées, consiste en l'utilisation de vannes submergées ou de panneaux. (Batalin 1961; Chabert et Al 1961, 1962, 1963; Falkovitch 1950; Jansen et Al 1979; Scheuerlein 1985).

Récemment, les travaux de A.J.Odgaard de "Iowa Institute of Hydraulic Research (IIHR)" ont permis une meilleure compréhension de la technique et des paramètres qu'elle met en jeu. Son efficacité a été confirmée lors de l'aménagement de la rivière East Nishnabotna, Iowa. Dans ce qui suit, on donnera un résumé sur les bases théoriques et les équations

régiissant l'écoulement diphasique (Liquide - Solide à faible concentration) dans un canal droit dont le lit est aménagé par des panneaux ou des obstacles.

Une équation de la vitesse sera élaborée en fonction de paramètres dimensionnels sur la base de considérations et simplifications justifiées par des travaux antérieurs (Odgaard)

5.7) Etude théorique :

L'écoulement avant la mise en place des obstacles est fluviatile accéléré du type M_2 (Le canal ayant une très légère pente vers l'aval), les obstacles sont verticaux avec un rapport d'échelle Hauteur - Longueur H/L de 0.3, installés sur le lit du canal et fixés à la paroi avec différents angles d'attaque. Ceci a pour premier effet de modifier les caractéristiques de rugosité de l'écoulement et de créer une séparation de l'écoulement se traduisant par la formation de tourbillons à l'aval des obstacles.

Le rapport Hauteur de l'obstacle - hauteur d'eau H/h varie entre 1 et 2.2 selon la distance des obstacles de la grille. En présence de parails obstacles, l'écoulement acquière une composition transversale (secondaire) de la vitesse qui persiste pour une certaine distance à l'aval. La mise en place d'un obstacle à l'aval du premier crée une certaine interaction se manifestant par un mouvement hélicoïdal en forme de tourbillons.

Cette disposition crée donc des centrifugations locales de l'écoulement entre les obstacles. La hauteur d'eau au niveau de l'obstacle (contraction) diminue en faveur de l'augmentation de la vitesse.

Etant donné que les caractéristiques de l'écoulement biphasique à faible concentration des particules solides sont les mêmes que d'un écoulement monophasique, une idée rationnelle serait d'évaluer l'effet des phénomènes locaux cités plus haut sur le captage des particules solides.

Dans ce qui suit, on donnera une formulation de la vitesse dans un canal droit doté d'obstacles sur son lit.

5.7.1) Distribution de vitesses :

La variation de la composante transversale de la vitesse d'écoulement est obtenue en utilisant la composante transversale de l'équation dynamique, qui sans gradient latéral de pression et en négligeant l'effet de la viscosité du fluide s'écrit :

$$u \cdot \delta v / \delta x + v \cdot \delta v / \delta y + w \cdot \delta v / \delta z = \delta / \delta z \cdot (\epsilon \cdot \delta v / \delta z) \dots\dots\dots (5.1)$$

Avec x, y, z : Cordonnées rectangulaires de l'écoulement dans la direction transversale et verticale; u, v, w : Composantes de la vitesse dans les trois directions x, y, z respectivement; ϵ = Viscosité turbulente.

On a donc une prépondérance des forces de fluctuations turbulentes sur les forces de viscosité et de pesanteur. La viscosité du fluide causant une dégradation de la vorticité a été analysée parmi d'autres par Falkovitch (1950), Nicollet (1964) et Vassiliev (1958).

La solution est simplifiée en adoptant :

a - Un profil linéaire de la vitesse $v = 2 v_s \cdot (3/d - 1/2)$ (5.2)

Avec v_s : La composante transversale de la vitesse en surface.

d : Profondeur de l'écoulement.

b - Un profil parabolique de ε :

$$\varepsilon = k \cdot u^* \cdot z \cdot (1 - z/d) \quad \text{..... (5.3)}$$

Avec k : Constante de Von Karman (= 0.4)

u^* : Vitesse de cisaillement = $(\tau/\rho)^{1/2}$

τ : Contrainte de cisaillement du lit.

ρ : Densité du fluide.

c - Une variation transversale de v_s donnée par :

$$v_s = v_{sc} \cdot \cos(\pi \cdot y/d) \quad \text{..... (5.4)}$$

Avec y comprise entre $-d/2$ et $d/2$.

(En conséquence du mouvement hélicoïdal induit par l'obstacle)

v_{sc} : La valeur au centre du canal de v_s ($y = 0$).

L'équation (5.2) est en bon accord avec les mesures effectuées sur des profils de courants secondaires induits par centrifugation dans les courbures de canaux (Kikawa et Al 1976, Rozovskii 1961, Odgaard 1982).

L'équation (5.3) est utilisée couramment dans le cas des écoulements à surface libre. (d'autres expressions analytiques des équations (5.2) et (5.3) auraient pu être choisies, la solution ne variant pas de façon sensible).

L'équation (5.1), prise à la côte $z = d$ (surface libre), au centre du canal ($y = 0$) s'écrit :

$$(u_{sc}/v_{s0}) \cdot d V_{sc}/d X + 2 k (u^*/v_{s0}) \cdot V_{sc} = 0 \quad (5.5)$$

Avec : $X = x / d$; $V_{sc} = v_{sc} / v_{s0}$; $v_{s0} = v_s$ quand $(x,y) = (0,0)$.

Les indices s et c dénotent les valeurs en surface et au centre. d est pris constant.

L'équation (5.5) est résolue avec : $u_{sc} = \bar{u}_c + u^* / k$ (\bar{u}_c : vitesse principale à mi-profondeur).

$$V_{sc} = \exp (- 2 \cdot k \cdot X / ((8/f)^{1/2} + 1/k)) \quad (5.6)$$

L'équation (5.6) est fonction de paramètres adimensionnels.

Avec :

$$(8/f)^{1/2} = \bar{u}_c / u^* ; f = \text{Facteur de frottement de Darcy - weisbach.}$$

La valeur de f est typiquement comprise entre 0.03 et 0.1.

L'équation (5.6) décrit aussi la variation de la composante transversale de fond de la vitesse à l'aval de l'obstacle :

$$V_{bc} = v_{bc} / v_{b0} ; v_{b0} = \text{valeur de } v_b \text{ quand } (x,y) = (0,0).$$

La vitesse moyenne longitudinale se déduit facilement en utilisant l'équation du débit :

$$Q = V \cdot S$$

Avec : Q : Débit transitant.

V : Vitesse longitudinale.

S : Surface mouillée.

CHAPITRE VI

ANALYSE ET INTERPRETATIONS

6.1 - Introduction

Après la réalisation du modèle expérimental le souci de trouver une méthode d'injection de la vase qui simule le phénomène analogue (débit solide) se produisant dans un cours d'eau naturel, nous a contraint à tester une multitude de méthodes jusqu'à obtention de celle qui soit la plus crédible.

par la suite, pour atteindre l'objectif principal que s'est fixé notre étude, plusieurs série d'expériences ont été réalisées. La première série d'essais fera l'objet d'une étude qualitative seulement .

La deuxième et la troisième série d'essais concerneront, quant à elles une étude quantitative et qualitative. Le critère de subdivision est essentiellement basé sur les résultats obtenus.

6.2 - Première série d'essais:

Trois cas (fg 5.2 ; 5.3 et 5.4) ont été écartés dès les premières expériences, vu leurs faible rendement. Les observations suivantes ont été dégagées :

a) Disposition avec la première variante d'obstacles (fig:5.2):

On a observé que les dépôts étaient faibles et éparpillés d'une façon aléatoire sans suivre la symétrie de la disposition .

La plus grande masse s'est déposée à l'aval d'un des premiers obstacles. Une bande de dépôt allongée se forme derrière le premier obstacle du milieu pour disparaître ensuite petit à petit, ceci est dû à l'absence de tourbillons d'envergures.

b) Disposition en forme d'épis (fig:5.3)

Cette disposition génère des tourbillons entre obstacles entraînant la formation de dépôts dans cet intervalle ; ces derniers s'atténuent puis finissent par disparaître carrément sous l'action de l'écoulement.

C) Disposition d'épis interchangeés (fig:5.4)

Cette disposition présente à quelques détails près le même effet que la disposition précédente.

Le fait de mettre deux obstacles de part et d'autre des parois du canal n'a permis aucune amélioration des dépôts.

En suivant la même manière de procédure, la disposition en forme de chicane (fig:5.5) a permis une amélioration des dépôts dû à l'apparition d'une circulation transversale sous forme de tourbillons à axe vertical (voir photo en annexe).

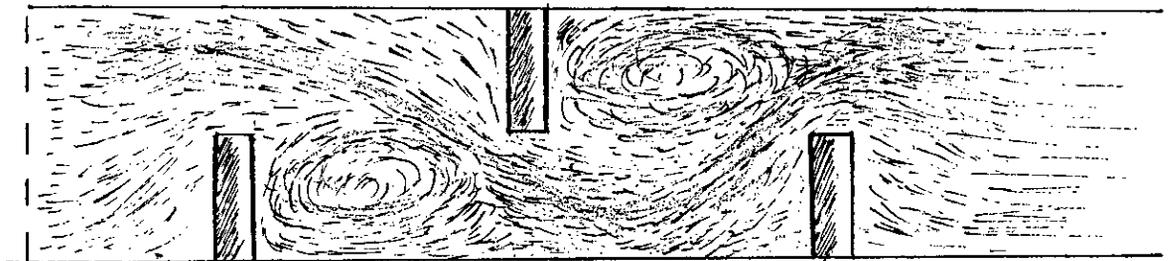
Ceci nous a incité à développer cette installation dans le but de l'optimiser, c'est ainsi que différentes distances variant de 60 à 120 cm à rythme de 10cm ont été testées.

Dans ce qui suit, on présentera les observations et résultats qualitatifs et quantitatifs de cette disposition.

6.3 - Deuxième série d'essais(disposition 1)

a - Analyse qualitative:

En mettant des obstacles contraignant le courant en forme de chicane, on incurve par conséquence le courant principal figure ci-dessous:



Après injection de la vase une petite quantité de cette dernière se dépose instantanément à l'amont de la grille (sable fin); à la sortie de la grille un courant de densité se forme puis se diffuse tout au long du canal. Le mode de transport par suspension est prépondérant, le charriage quant à lui, n'est visible qu'après éclaircissement de l'écoulement, il se manifeste plus dans les deux premières zones de dépôt. Les particules ainsi charriées seront piégées dans les zones de dépôt plus à l'aval. Le charriage dans la dernière zone est pratiquement nul.

De l'amont vers l'aval on observe un tri granulométrique .

-La circulation de surface est plus vive que celle qui est proche du fond, ceci est principalement dû à la distribution non uniforme de la vitesse dans le sens vertical.

-Dans les zones avalées des obstacles, un courant secondaire (tourbillon) se forme par l'effet de la distribution verticale non uniforme de la force centrifuge induit par le courant principal.

-Les deux premières zones de dépôt entre le premier et le troisième obstacle sont plus étalées dans le sens transversal et longitudinal. A partir du troisième obstacle, les zones de dépôt ont tendance à se former du côté de la paroi où est fixé l'obstacle ; ceci est dû au fait que la circulation dans les premiers tourbillons est plus efficace car, elle est du même ordre de grandeur que la vitesse de l'écoulement principal. Plus à l'aval, la vitesse du courant augmente en faveur d'une diminution du tirant d'eau, causant le rétrécissement du tourbillon et donc de la zone de dépôt. (voir photo 3: a, b, c, d)

-Des études antérieures (W.R PAULEY & J.K. EATON) indique que le tourbillon perd de sa circulation seulement par interaction avec la paroi, ce qui nous amène à dire que les tourbillons se créant loin de la paroi perdent lentement de leur circulation, c'est le cas des tourbillons se formant entre les derniers obstacles.

Par voie de conséquence, plus on va dans le sens aval-amont, plus les zones de dépôt ont tendance à s'étaler. Ceci est aussi vrai lorsqu'on augmente la distance entre les obstacles.

(voir photo 4: a, b) .

D'autre part la mise en place de ces obstacles entraîne un exhaussement du tirant d'eau .



photo 3 : c : zone de dépôt à l'aval
du troisième obstacle



photo 3 : a : zone de dépôt à l'aval
du premier obstacle



photo 3 : b : zone de dépôt à l'aval
du deuxième obstacle



photo 3 : d : zone de dépôt à l'aval
du quatrième obstacle.

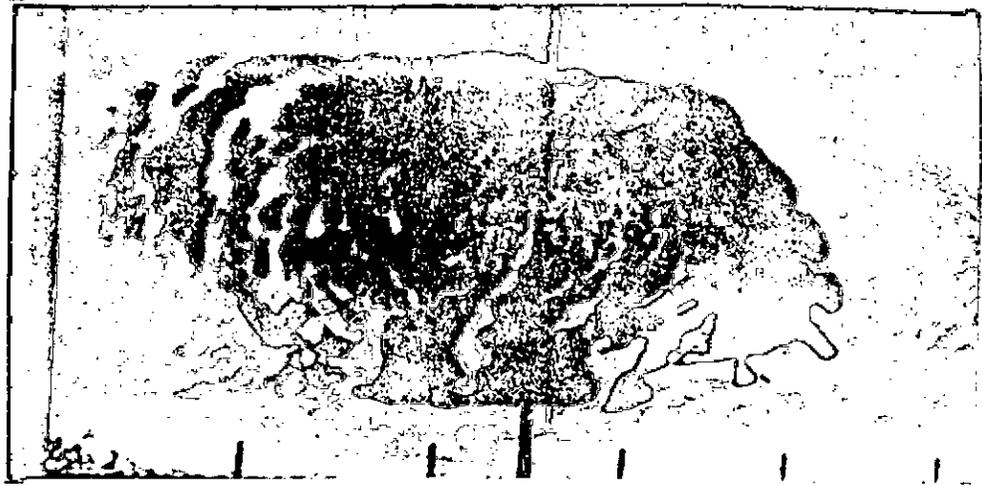


photo 4 : a : vue de dessous ..
zone de dépôt à l'amont

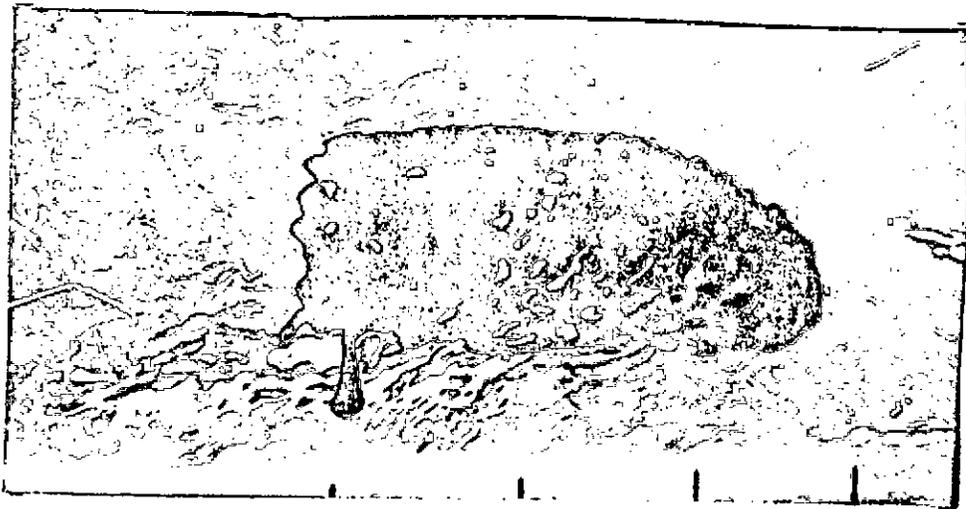


photo 4 : b : vue de dessous
zone de dépôt à l'aval.

b - Analyse quantitative:

-La vitesse de l'écoulement augmente dans le sens amont-aval et varie entre 3 cm/s à l'amont du premier obstacle et 8 cm/s à l'amont du dernier obstacle .

-les hauteurs d'eau varient entre 6 cm à l'amont du premier obstacle et diminue jusqu'à atteindre 2 à 3 cm à l'amont du dernier obstacle.

-Les résultats obtenus pour les différentes distances 60, 70, 80, 90, 100, et 120 cm (fig:6.1; 6.2; 6.3) ont permis de conclure en faveur de l'intervalle entre 70 et 80 cm. La distance optimale d'éloignement successif des obstacles c'est -à-dire celle donnant le meilleur rendement est comprise dans l'intervalle 70 à 80 cm; les deux ayant donné un rendement de l'ordre de 50 % (fig:6.1 b ; 6.2 a).

On voit bien, sur la figure (6.9), que les deux courbes se détachent nettement des autres ; ce décalage est de l'ordre de 10 % comparé aux distances 60 et 90 cm, et de 20 % comparé aux distances 100 et 120 cm. Tout en sachant que la distance 80 cm permet d'économiser la mise en place d'un obstacle. Elle est d'un point de vue général l'optimum.

-Les résultats sont représentés sous forme d'histogrammes ; les dépôts cumulés en (%) sont représentés en ordonné, la distance en abscisse.

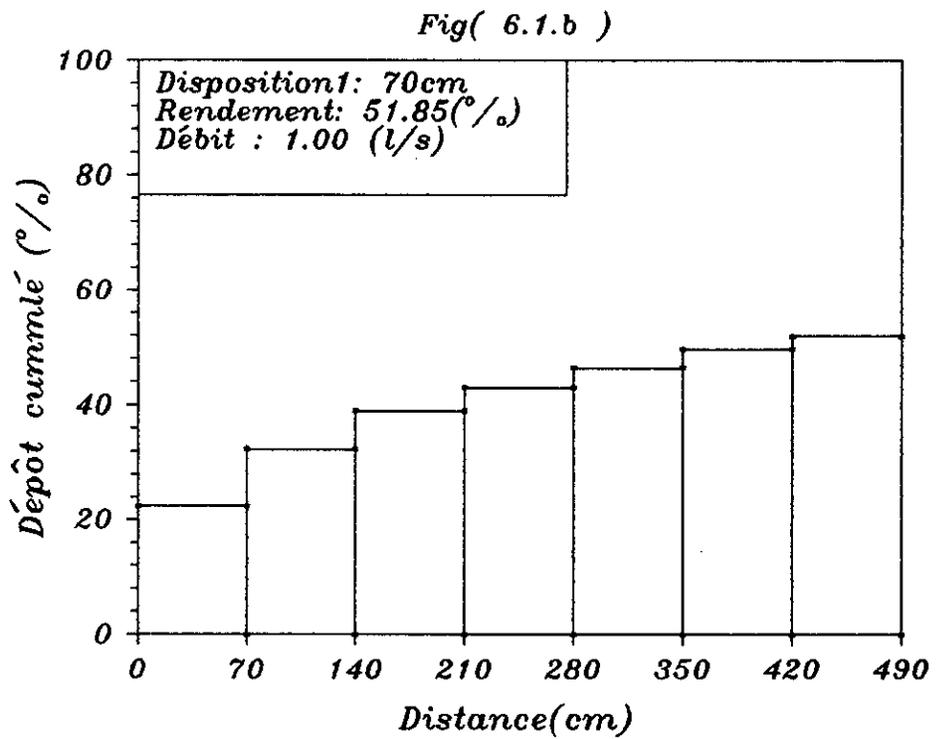
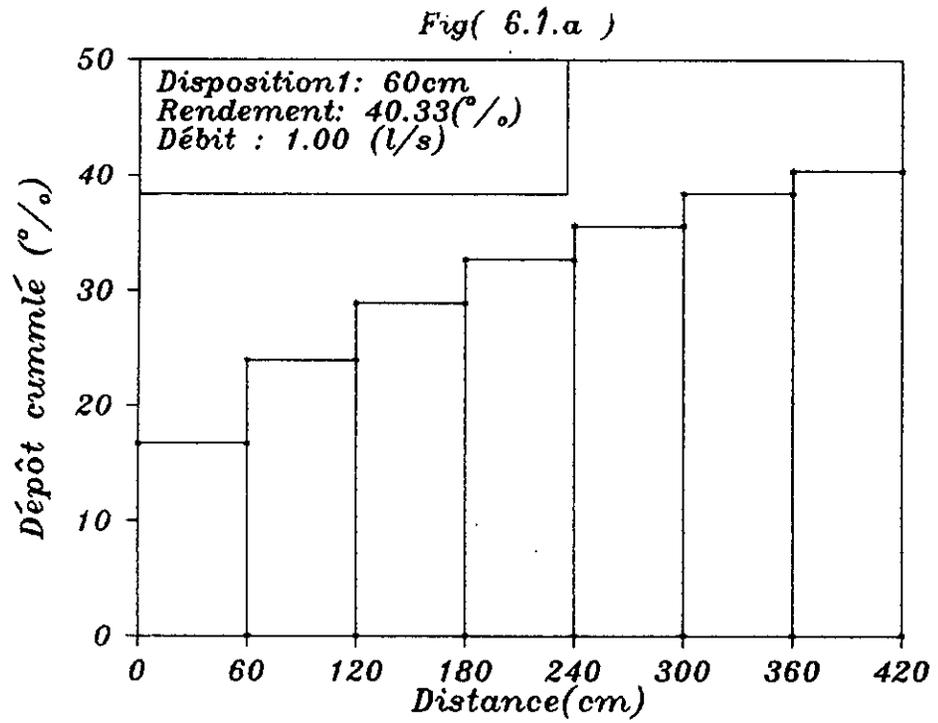
Les résultats encourageant de cette seconde série d'essais nous a motivé à tester l'effet de l'inclinaison des obstacles sur une éventuelle amélioration du rendement pour la distance 80 cm. Les angles d'inclinaison 30, 60, 120 et 150° (fig:5.6), ainsi que la combinaison d'obstacles inclinés et droits (fig:5.7) ont fait l'objet d'une troisième série d'essais.

6.4 Troisième série d'essais

a - Analyse qualitative

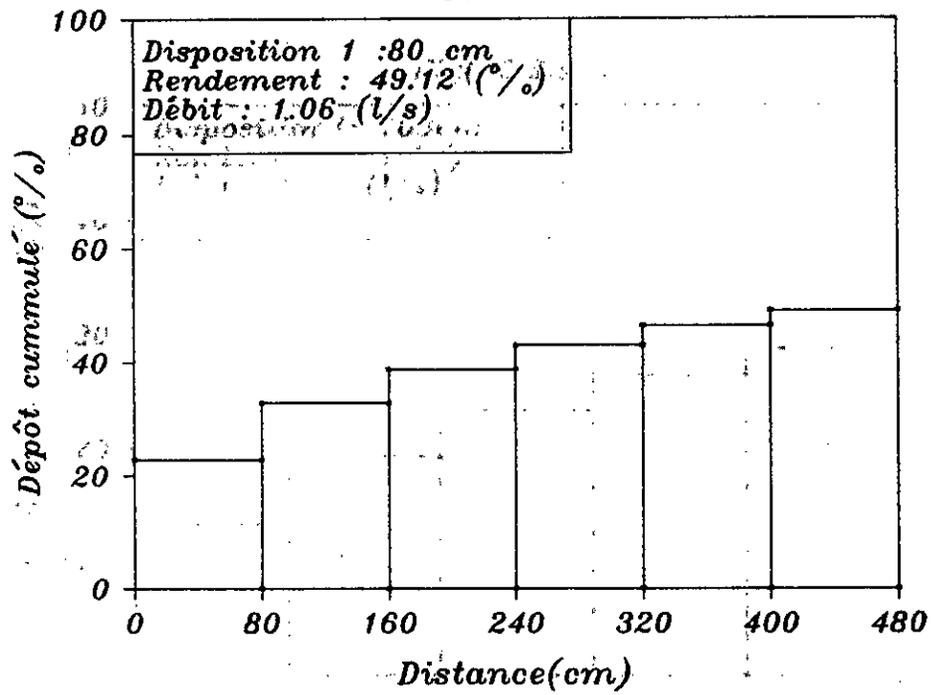
En général, les observations faites pour la deuxième série d'essais sont aussi valables pour celles-ci. Néanmoins, certaines caractéristiques de ce type de disposition sont à noter :

L'exhaussement du niveau d'eau est plus grand pour les angles d'inclinaison modérés de 60 et 120° que celui des angles abrupts de 30 et 150°.

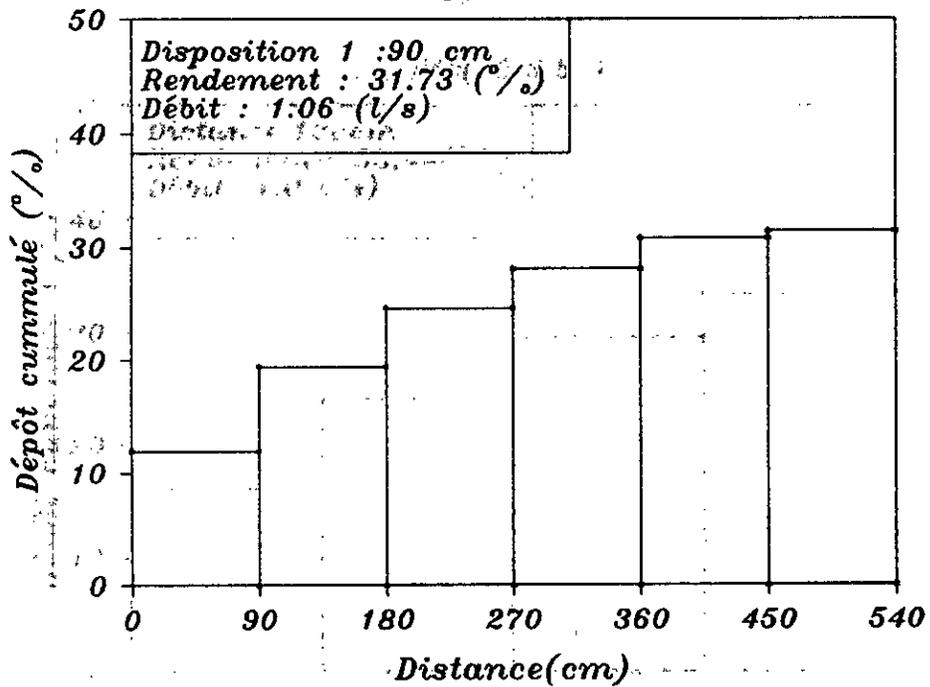


Fig(6.1): Evolution des dépôts de sédiments à l'aval des obstacles

Fig(6.2.a)



Fig(6.2.b)



Fig(6.2): Evolution des dépôts de sédiments à l'aval des obstacles

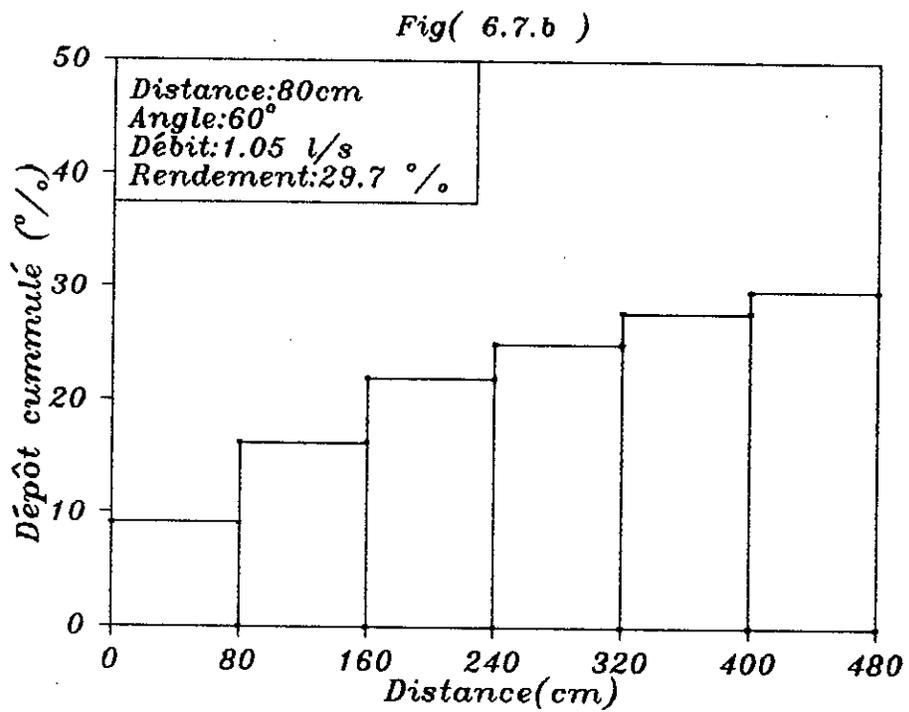
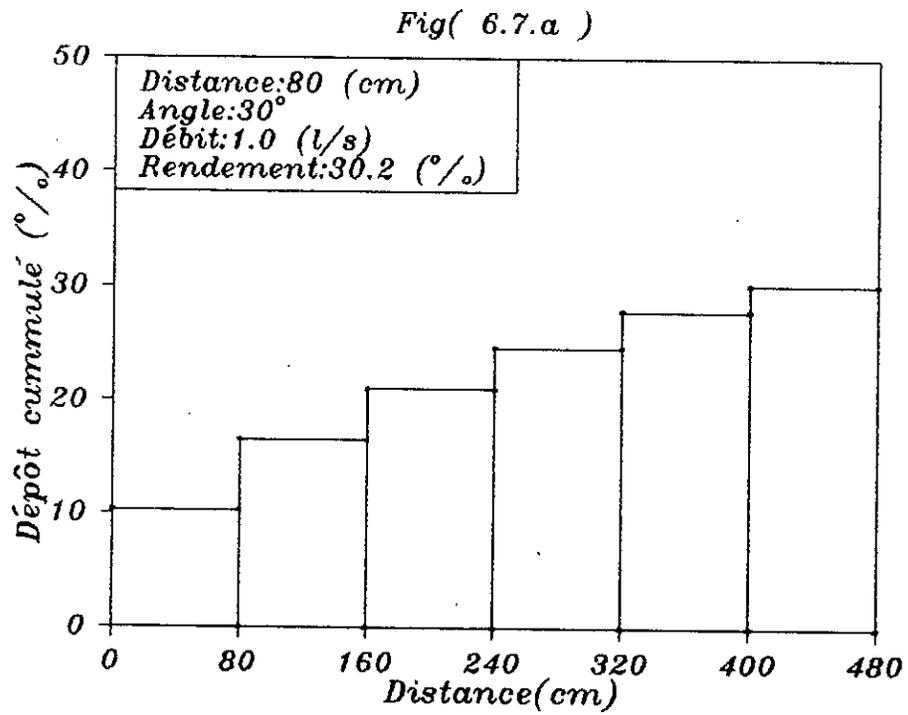
Dans ce type de disposition les rouleaux sont plus étalés et se rapprochent de la paroi suivant que l'inclinaison est plus ou moins abrupte. Dans les coins d'angles des zones mortes s'établissent, permettant un dépôt. Après avoir testé l'effet des inclinaisons une autre idée était de combiner des obstacles inclinés et d'autres droits dans une même disposition (fig: 5.7 ; disposition 2 et 3). Le meilleur rendement obtenu est de l'ordre de 33% (fig : 6.4 et 6.5). Cette disposition ne permet aucune amélioration du point de vue rendement. Au contraire, on constate une régression comparée aux résultats cités plus haut.

b-Analyse quantitative

Les résultats obtenus pour les angles d'inclinaison des obstacles 30, 60, 90, 120, et 150° montrent très bien que l'angle d'inclinaison modéré de 120° donne un rendement nettement plus élevé que les autres inclinaisons, il permet même une certaine amélioration (voir figure 6.7 a, b et 6.8 a, b). Ceci démontre qu'une inclinaison optimale existe bel et bien. Sur la figure (6.10) et pour une même distance optimale de 80 cm, un détachement apparaît nettement entre les tracés des inclinaisons 90 et 120°, et les autres. Ce décalage est de l'ordre de 20 % à la limite aval du canal.

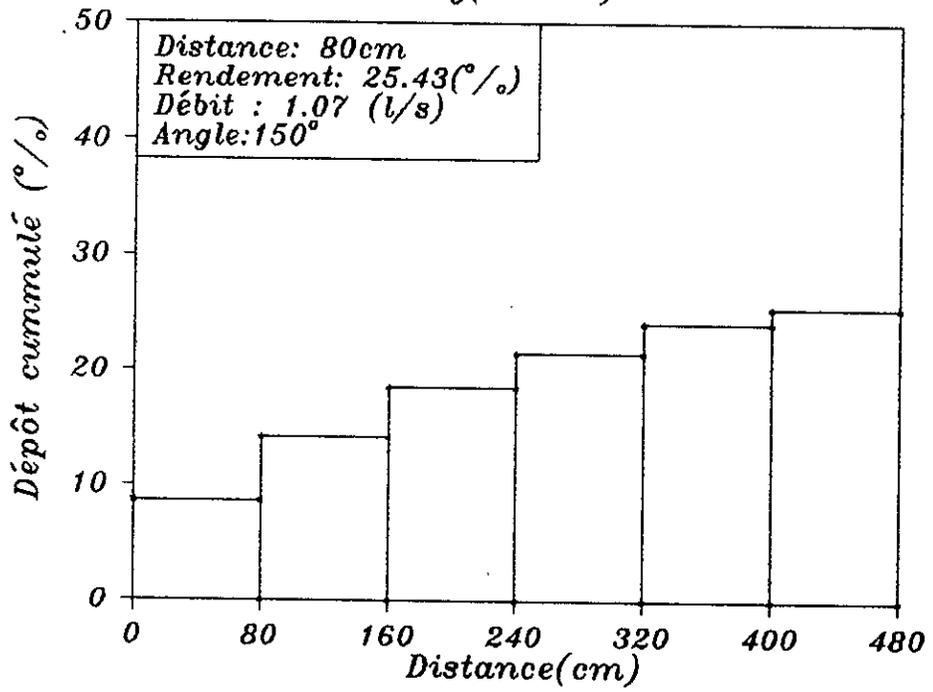
Une première conclusion serait de dire qu'une amélioration des dépôts dans le canal est possible dans la mesure où les obstacles sont inclinés vers l'amont d'une manière modérée.

La combinaison d'obstacles inclinés et droits que nous avons testé n'a pas permis une amélioration tangible des dépôts (voir résultats, disposition 2 et 3) du moment que ces derniers ne dépassaient pas les 33 % .

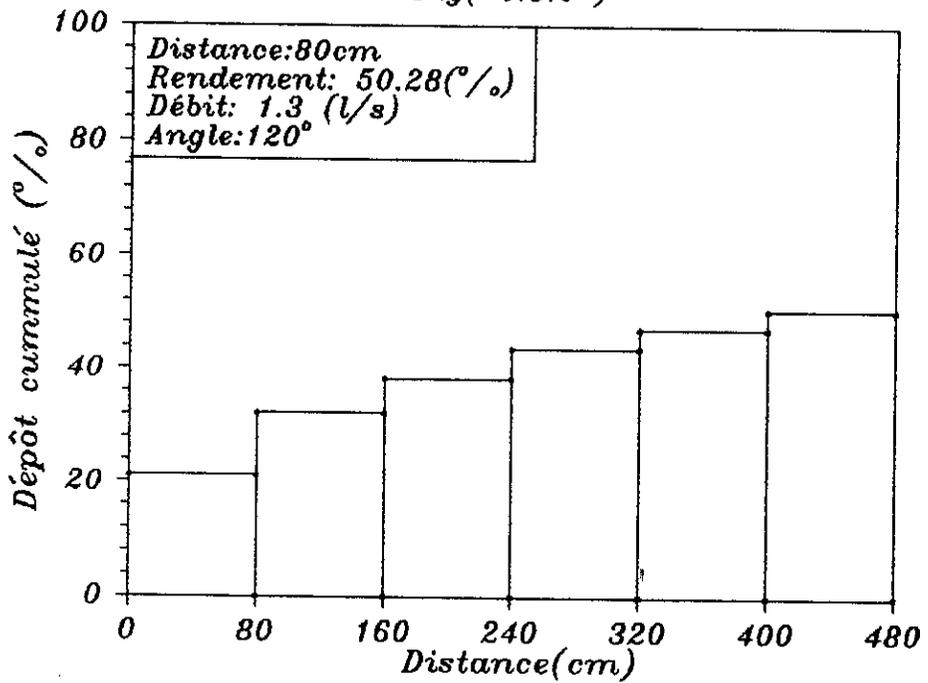


Fig(6.7): Evolution des dépôts de sédiments à l'aval des obstacles

Fig(6.8.a)



Fig(6.8.b)



Fig(6.8): Evolution des dépôts de sédiments à l'aval des obstacles

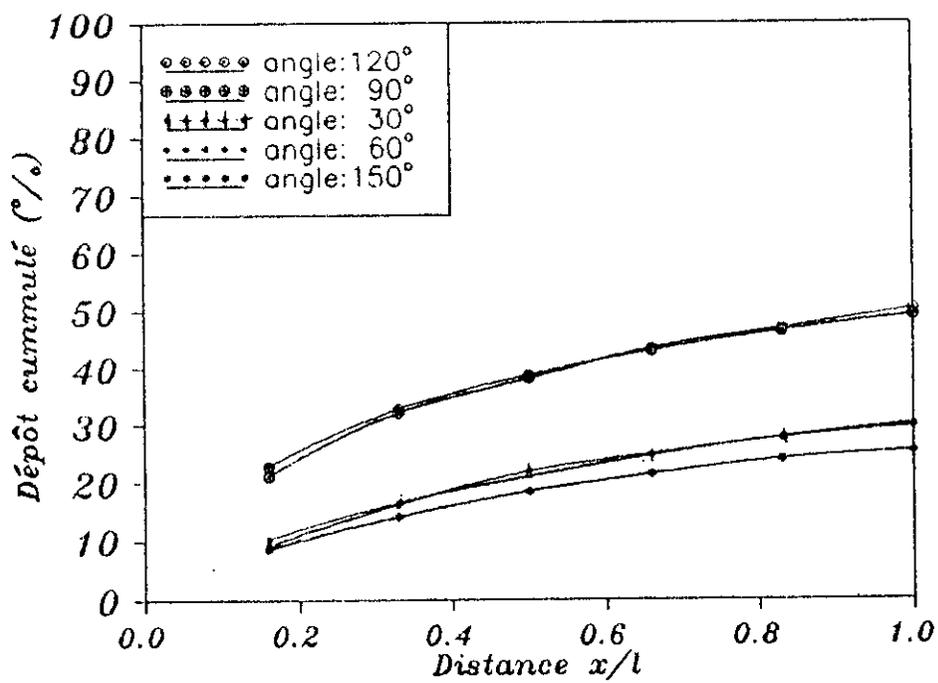


Fig (6.10): Comparaison des rendements des inclinaisons d'obstacles pour la distance $L=80\text{cm}$

6.5 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

La complexité que revêt le phénomène de transport des sédiments dû au grand nombre de paramètres qui lui sont attachés a motivé l'intérêt qui lui est accordé.

On retrouve dans la littérature spécialisée dans ce domaine un grand nombre de travaux de recherches ayant pour but de lutter contre ce phénomène .

Le travail accompli dans ce mémoire, s'inscrivant dans cet ordre d'idée n'est qu'une modeste contribution à l'élaboration d'un moyen de lutte efficient.

les résultats obtenus, nous permettent de conclure que l'approche élaborée réponds à l'objectif assigné. Toute fois on notera que les conclusions qui découlent de cette approche sont tributaires dans une grande mesure des données spécifiques du modèle physique.

Comme indiqué auparavant, l'étude que nous avons menés s'est fixé comme préalable une valeur pratiquement constante du débit ainsi qu'une même pente du canal, c'est-à-dire qu'on taché de garder exactement le même régime d'écoulement pendant toutes les expériences .

Ces dernières ,avaient comme champs d'essai, les divers dispositifs d'obstacles sur le lit du canal dans un but bien précis: celui de déterminer une disposition optimale du point de vue de la dimension des obstacles, de la façon de les installer dans le canal, de leur espacement ainsi que de leur inclinaisons.

Les résultats obtenus confirment que cette disposition existe bel et bien et permet l'obtention d'un rendement allant jusqu'à 51 % ; C'est la disposition en chicane, espacés de 80 cm et inclinés de 60° vers l'amont .

Mais encourageante que soient ces résultats les recommandations suivantes s'imposent dans la finalité de cerner l'influence de tous les paramètres sur notre approche et de permettre ainsi son perfectionnement et sa généralisation :

- *- Faire varier le débit de l'écoulement sans que les obstacles soient submergés.
- *- Faire varier la pente du canal .
- *- Tester d'autres formes d'obstacles.
- *- Tester d'autres dispositions à espacement non uniformes.
- *- Faire l'étude sur un cas réel à l'aide de la mise en place d'un modèle réduit (étude à l'échelle).

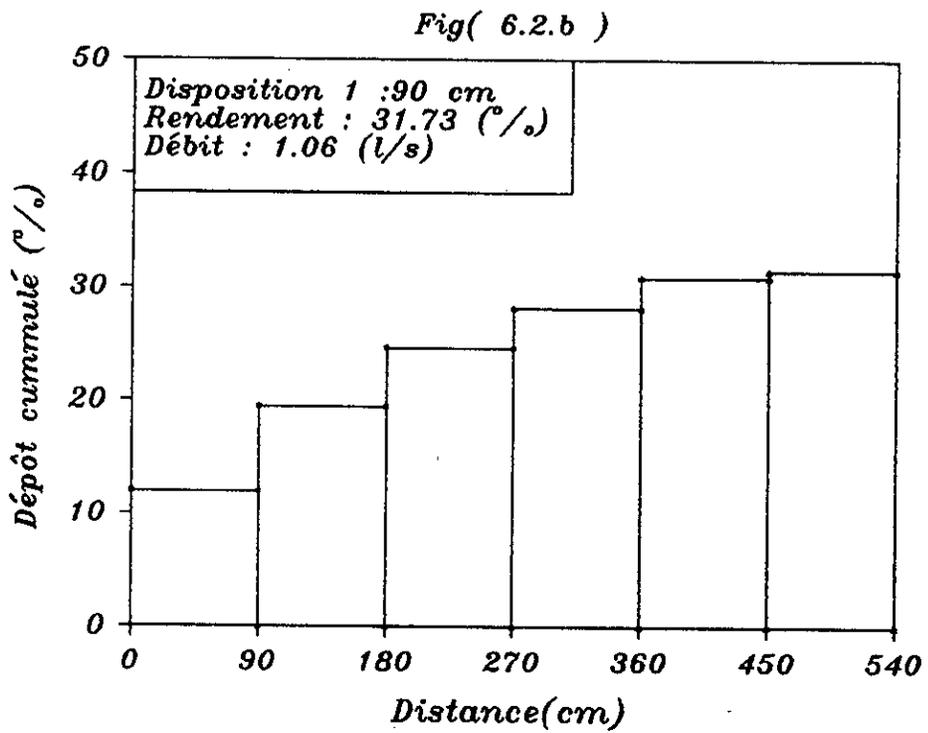
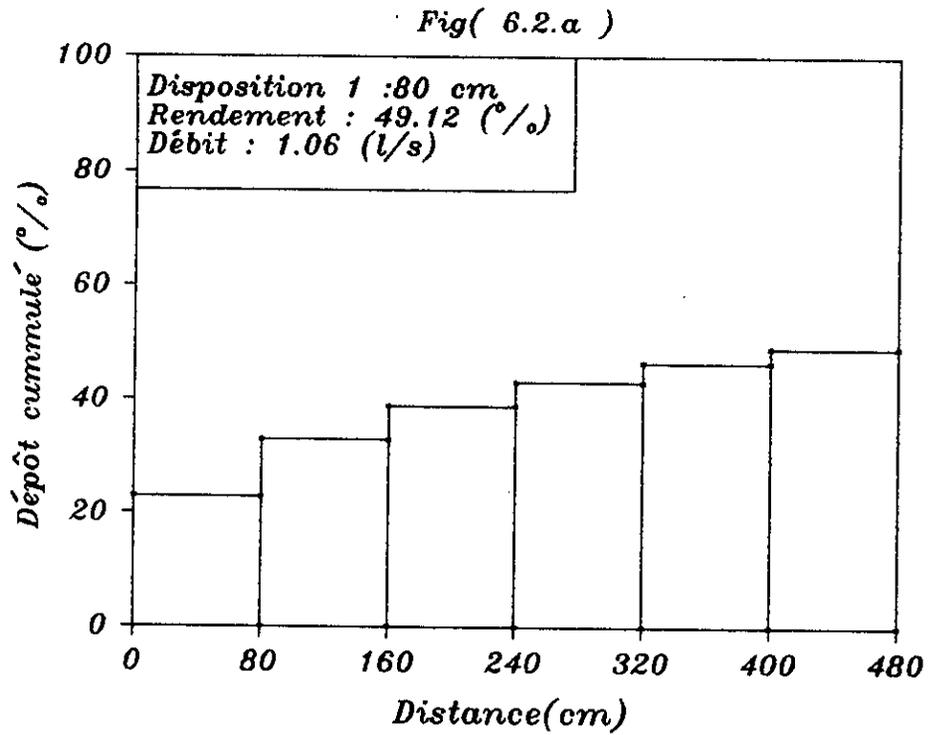
Cependant, il faut noter que la dite conception est destinée à aménager le lit majeur du cours d'eau, et comme elle entraîne un exhaussement de l'écoulement, des mesures protectrices doivent être prises en compte à l'égard des berges et des terrains qui leur sont immédiatement proches.

Etant donnée, que l'année hydrologique se divise en saison humide et sèche, la vase accumulée pendant la première peut être déblayée lors de la deuxième (période d'étiage); à l'aide de simples moyens mécaniques

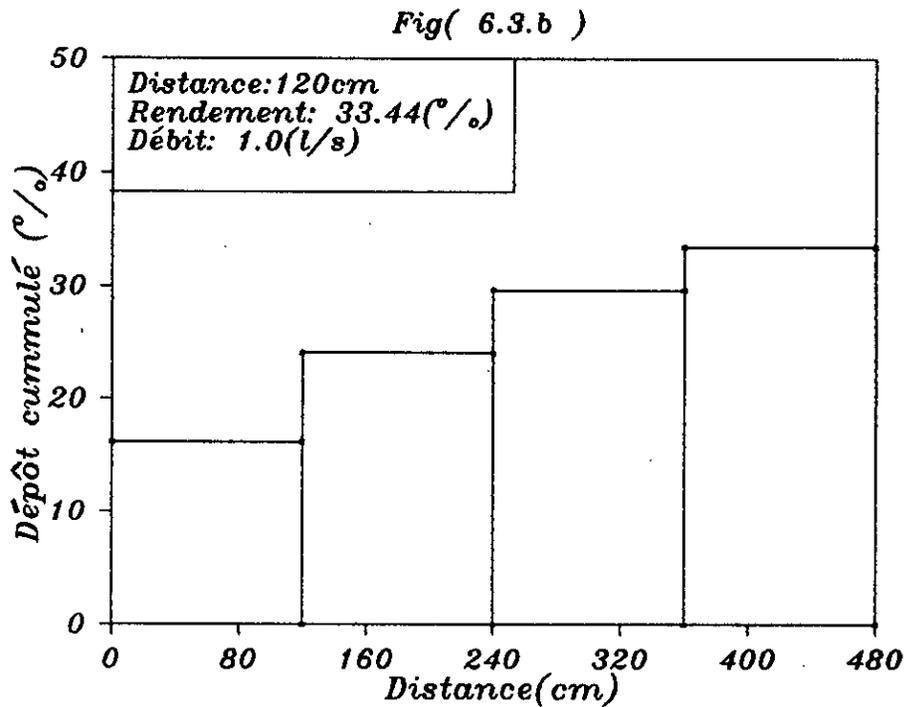
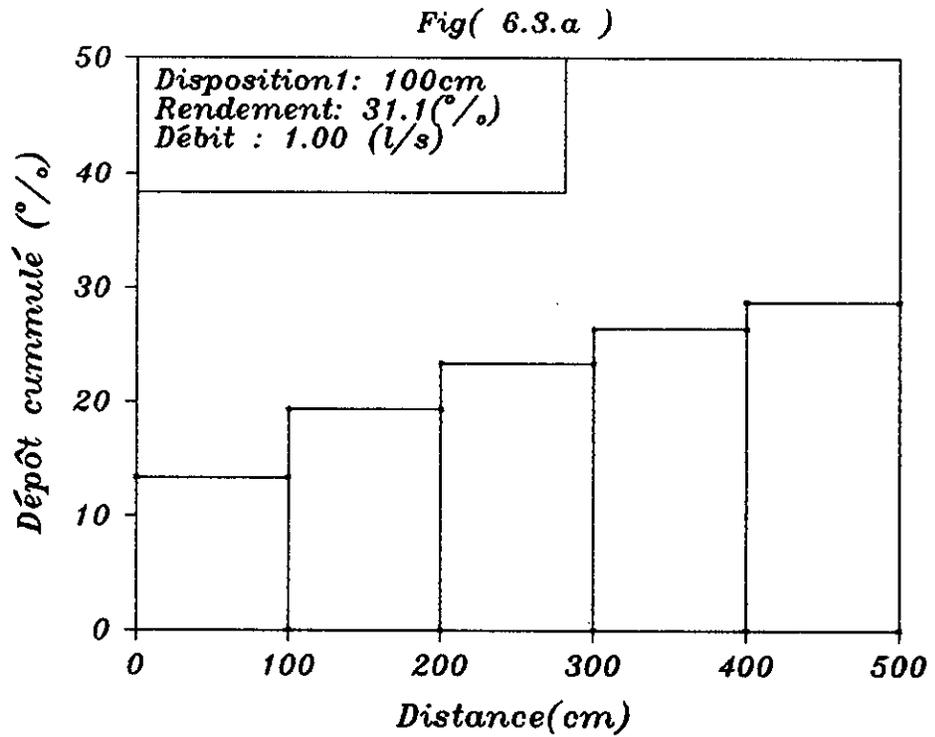
.On a alors l'avantage d'avoir des dépôts repartis tout au long d'une grande distance et à l'air libre .

* *Notre approche doit être accompagnée par d'autres moyens de lutte notamment le salinage sélectif afin de minimiser au maximum possible les dépôts dans nos barrages =*

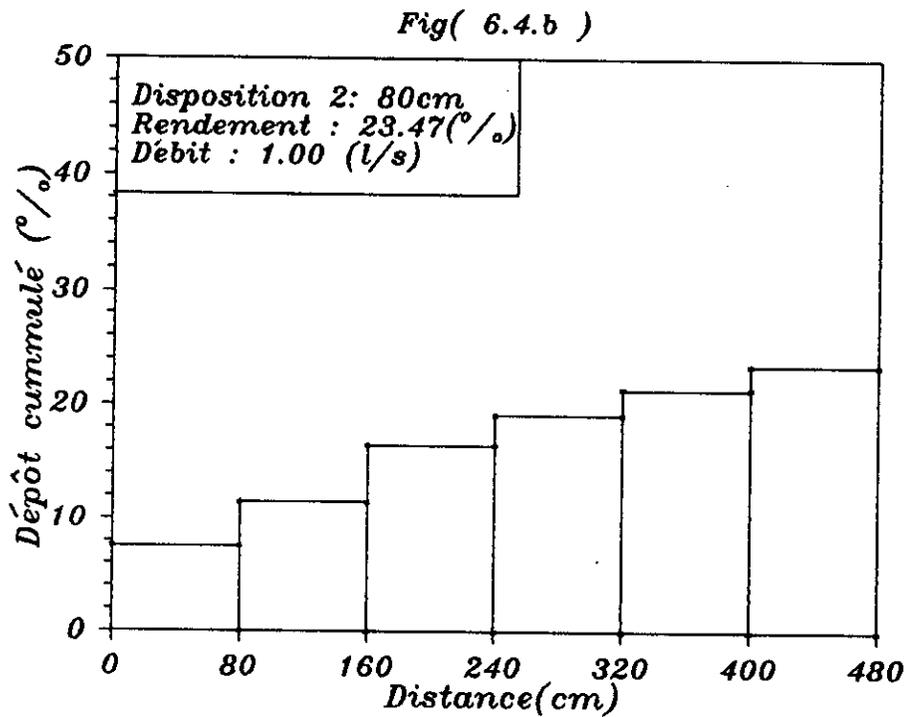
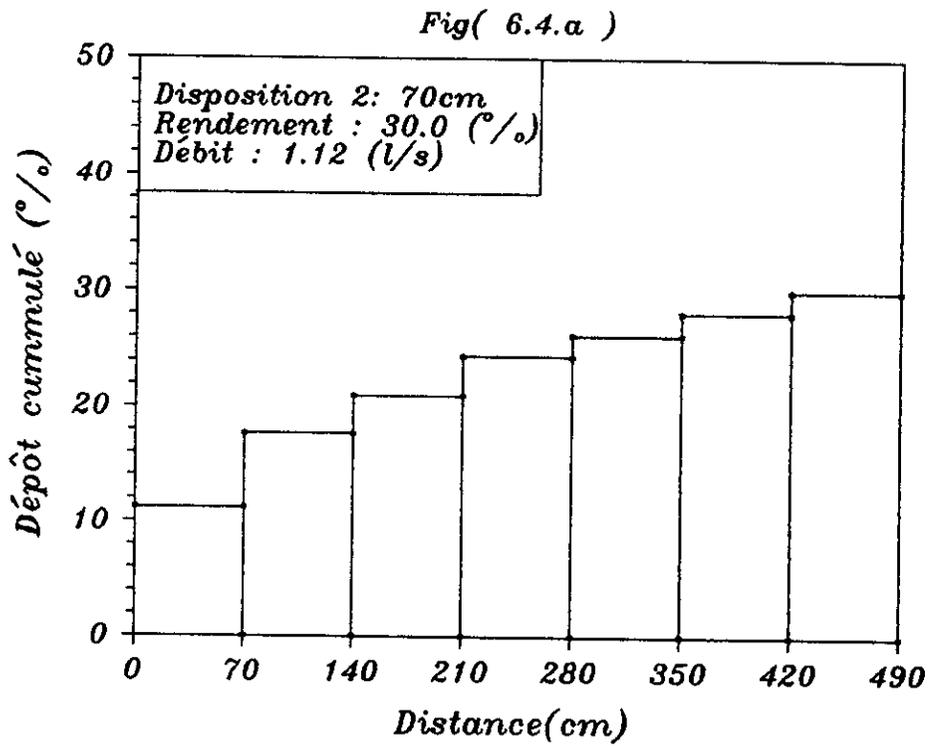
ANNEXE



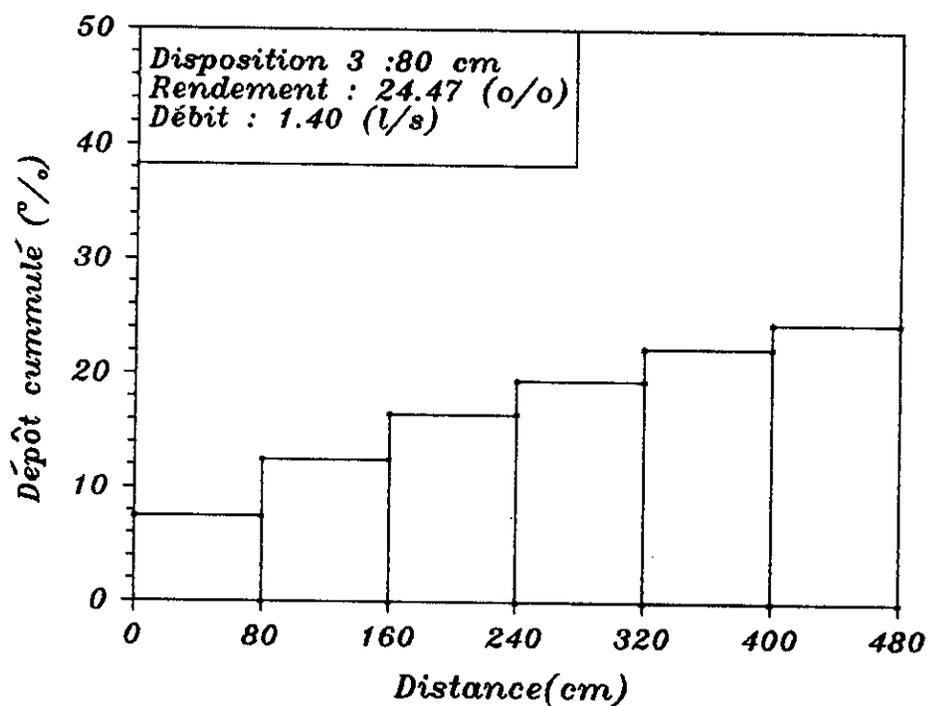
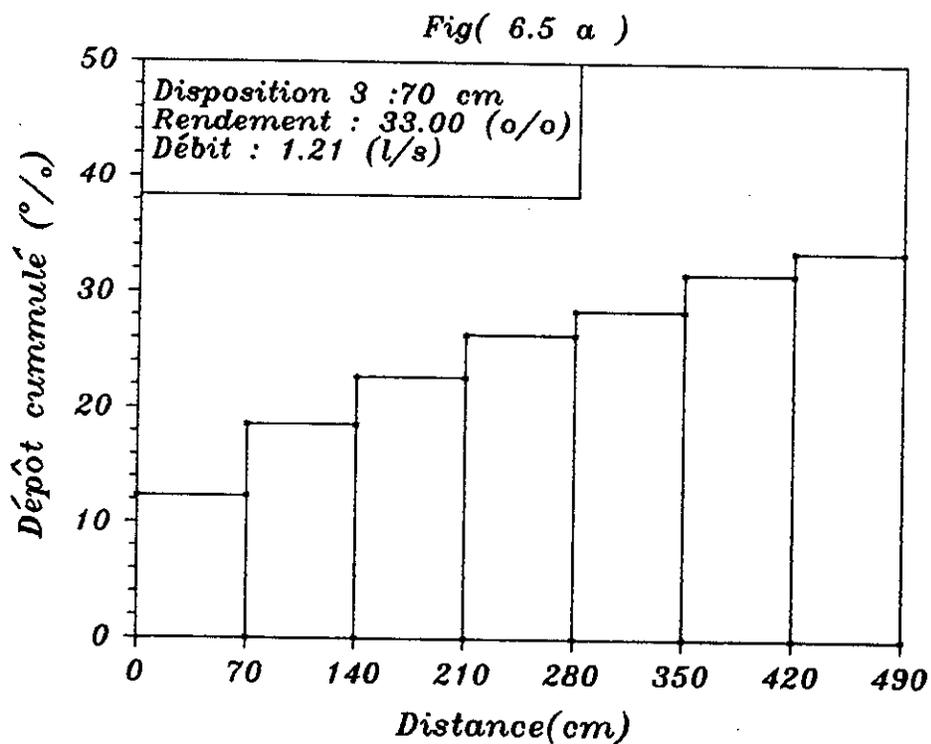
Fig(6.2): Evolution des dépôts de sédiments à l'aval des obstacles



Fig(6.3): Evolution des dépôts de sédiments à l'aval des obstacles



Fig(6.4): Evolution des dépôts de sédiments à l'aval des obstacles



Fig(6.5): Evolution des dépôts de sédiments à l'aval des obstacles

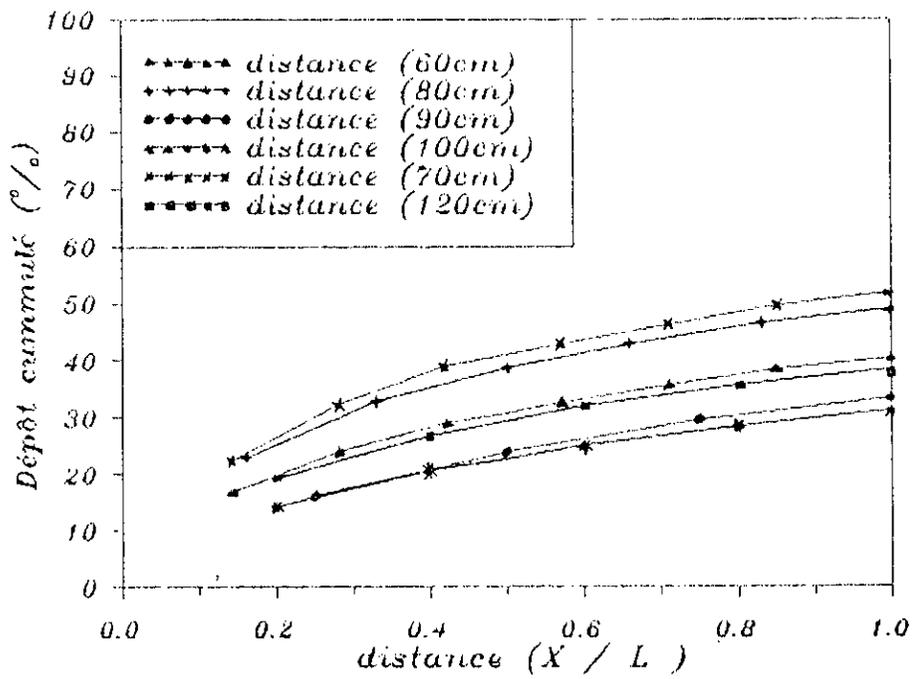


Fig (6.9): Comparaison des rendements des différentes distances pour la disposition 1

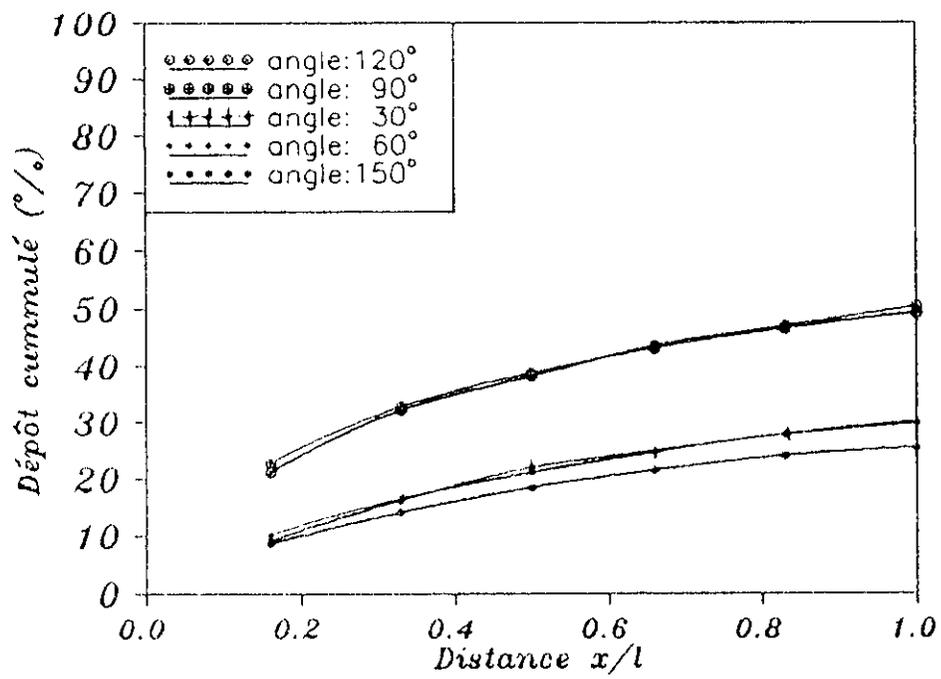


Fig (6.10): Comparaison des rendements des inclinaisons d'obstacles pour la distance $L=80\text{cm}$



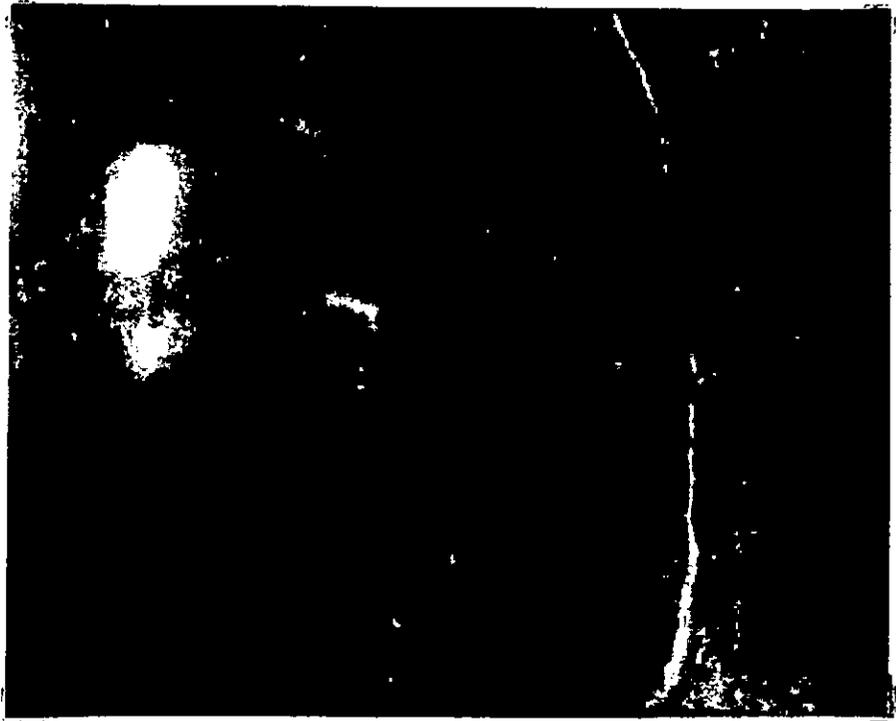
(a)



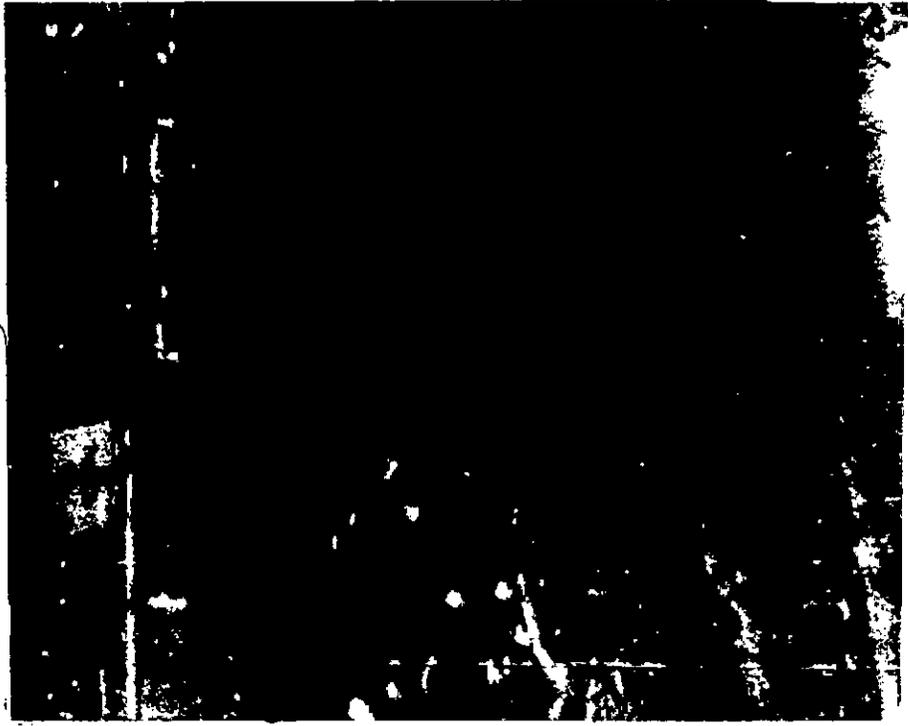
photo 8; a; b; c; d; e; f: (b) visualisation rapproché du
tourbillon. |



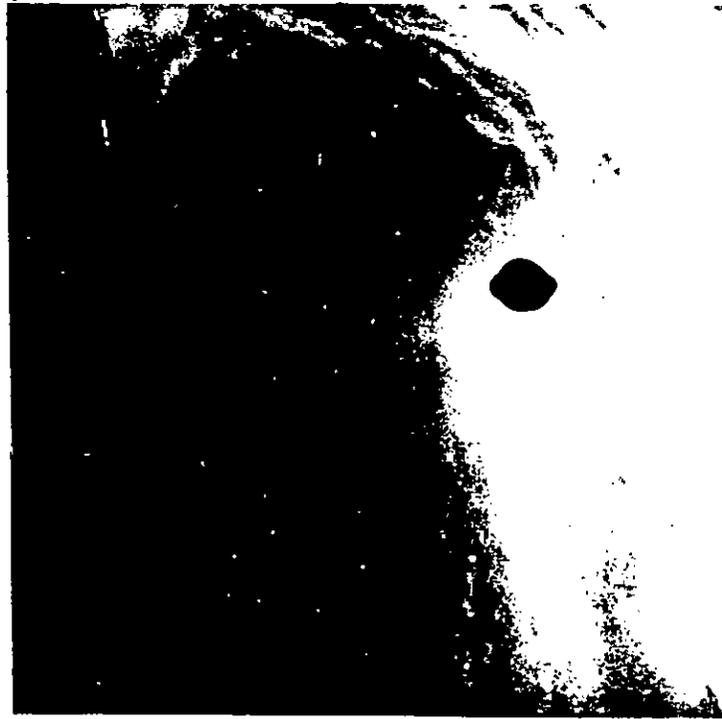
(c)



(d)



(e)



(f)

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- (1) . DEMMAK . A : « Etude sur l'érosion et transport solide », thèse de Docteur - Ingénieur, Université de Paris, 1982.
- (2) . REMINI . B : « Etude Hydrodynamique du mécanisme d'envasement », thèse de magistère, EN.P d'Alger, 1990.
- (3) . REMINI . B et KETTAB . A : « Envasement des barrages : Cas du barrage de Oued El-Fodda ». Revue : « ALGERIE EQUIPEMENT ».
- (4) . BOUIBA . K et DERRADJI . B.A. : « Envasement des retenues : Etude d'un dispositif de récupération de sédiments décantés ». Thèse d'Ingénieur ENP 1993.
- (5) . COMHYD 1995 : « Actes du premier Colloque Maghrébin sur l'hydraulique 16 et 17 Mai 1995, Sidi-Fredj (ALGERIE).
- (6) . BELHADJ M.O et BOUCHELKIA . H. : « Contribution à la modélisation statistique des transports solides en suspension » Thèse d'Ingénieur ENP 1994.
- (7) . JAMME . G : « Travaux Fluviaux » Edition Eyrolles 1974.
- (8) . BOUCHARD : « Bulletin de la direction des études et recherches » E.D.F
- (9) . ODGARD : « Sédiments contrôlé by submerged vanes » A/S/C/E 1986.
- (10) . ODGARD & C.E. MOSCONI : « Streambank Protection by Submerged Vanes » A/S/C/E 1987.
- (11) . HUG . M : « Mécanique des Fluides Appliquée » Editions EYROLLES 1975.
- (12) . W.R PAULEY & J.K EATON : « Experiments on the développement of longitudinal vortex pairs in a turbulent boundary layer » A/I/A/A Journal 1987.