

BERKANI  
2/95  
Lundi

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE POPULAIRE

MINISTERE DE L'EDUCATION NATIONALE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Département : Génie Hydraulique

المكتبة  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

**PROJET DE FIN D'ETUDES**

THEME

Mise au point d'une méthode de quantification  
automatique, des apports solides, à  
partir de débits liquides

Proposé par:

Dr\_M.BERKANI

Etudié par :

Mr\_BELKHIRI ALI  
Mr\_BOUKARTA MAHFOUD

Dirigé par :

Dr\_M.BERKANI  
Mr\_NEBBACHE

Promotion

juin 1995

E.N.P.10, Avenue Hacem Badi El-Harrach - Alger



Dédicaces

*Toute quête de l'évolution est portée par la dynamique de la pensée, elle même animée par le renouvellement permanent des objets. C'est bien cela qui fait nous mouvoir.*

*Pour cela, je dédie ce modeste travail :*

*A mon père et ma mère.*

*A ma tante.*

*A ma soeur et mes frères.*

*A tous mes proches et tous mes amis.*

Mahfoud

*A ma mère et mon père.*

*A mes frères et mes soeurs.*

*A la famille Selmi et à tous mes proches.*

*Aux chers Saed, Mahrouf, Kamelet à tous les frères visant le but suprême.*

AL?

## Remerciements

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
المكتبة — BIBLIOTHEQUE  
Ecole Nationale Polytechnique

*Cette étude sur l'érosion et le transport solide a été élaborée au sein de l'Agence Nationale des Ressources Hydriques « A.N.R.H. »*

*Nous exprimons d'abord notre sincère reconnaissance à Mr. BERKANI Docteur - Ingénieur et Maître de conférences à l'Ecole Nationale Polytechnique « E.N.P » pour nous avoir inspiré le sujet de notre travail .*

*Nous remercions vivement monsieur le professeur BOUGARA pour nous avoir bien accueilli au département d'hydrologie de l' A.N.R.H ainsi que pour les conseils qu'il nous a prodigué .*

*Nous tenons aussi à exprimer notre profonde gratitude à Mr. BENCHABECH « A.N.R.H » pour les conseils et le temps qu'il nous a consacré tout au long de ce travail .*

*Nous adressons également notre reconnaissance pour l'aide prodiguée par le personnel de l' A.N.R.H et plus particulièrement à Mme. ABDA et Mr. SAUDI .*

*Enfin nous ne saurions oublier :*

- ◆ *la direction et l'ensemble du corps enseignant de l'E.N.P qui de près ou de loin ont veillé à notre formation .*
- ◆ *Mr. BENHADJ MOHAMED OUAMER pour le soutien logistique qu'il nous a apporté .*
- ◆ *Le groupe de l'association FODIL SKENDER « Médéa » pour la mise en forme de ce document .*
- ◆ *Et toute personne qui ,de près ou de loin, a apporter son concours à ce travail.*

## Résumé

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
المكتبة — BIBLIOTHEQUE  
Ecole Nationale Polytechnique

Ce travail porte sur l'étude du phénomène du transport solide à l'échelle de la crue ; la partie la plus importante du volume solide transporté hors d'un bassin versant est réalisé lors des crues .

Un nombre important de données sur les transports solides au suspension des cours d'eau Algériens ont été accumulées durant la période 1970 / 1982 et ont permis d'entreprendre des études générales sur l'érosion et le transport solide .

Une analyse et homogénéisation de toutes les données disponibles à la station SIDI BEL-ATTAR ( Chellif ) a permis de la mise au point des modèles régressifs ( annuel , saisonniers ) entre débit solide - débit liquide , en vue d'une quantification des apports solides à partir des débits liquides .

### Mots clés :

Bassin versant , Transport solide , Suspension ,  
Crue , Modèle statistique

الموضوع : إيجاد علاقة ربط بين حمولات صلابة - حمولات سائلة  
لأجل الحساب الآلي للحمولات الصلبة .

الملخص :

يهدف هذا العمل إلى دراسة ظاهرة نقل الجزئيات الصلبة  
أثناء حدوث الفيضانات ( الكمية الكبيرة من الحمولات الصلبة تنقل  
أثناء وقوع الفيضان).

عدد كبير من معطيات نقل الجزئيات الصلبة المتعلقة  
عبر مختلف المجاري المائية قد سجل في الفترة ما بين 1970-1982  
مما سمح بوضع دراسات عامة حول ظاهرة النحت و نقل الجزئيات.

التحليل و الدراسة لجميع المعطيات المتوفرة في محطة  
سيدي بلعازم سمح بإيجاد نماذج : حمولات صلابة - حمولات سائلة  
(سنوية ، فصلية ) من أجل الحساب الآلي للحمولات الصلبة انطلاقاً  
من الحمولات السائلة .

# TABLE DES MATIERES

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

## Partie I

### CHARTIE I

INTRODUCTION ..... 11

#### Chapitre I

I. Bref des modèles et travaux effectués en Algérie ..... 13

INTRODUCTION ..... 16

II.1 Types d'érosion ..... 16

II.2 L'érosion hydraulique en Algérie ..... 16

II.3 Conséquences ..... 18

II.3.1 Impact de l'érosion sur l'infrastructure ..... 18

#### Chapitre III

INTRODUCTION ..... 20

III.1 Transport solide ..... 20

III.1.1 Transport par charriage ..... 21

III.1.1.1 Etude théorique du charriage ..... 21

III.1.2 Transport en suspension ..... 21

III.1.2.1 Etude théorique de la suspension ..... 22

III.2 Méthodes de mesure et d'évaluation du transport solide ..... 23

III.2.1 Méthode basée sur la mesure du taux de remplissage des retenues ..... 23

III.2.1.1 Principe de la méthode ..... 23

III.2.2 Problème des densités des sédiments déposés ..... 23

III.2.3 Méthode basée sur la mesure de la turbidité au niveau  
du réseau hydrometrique ..... 25

III.2.3.1 Interet de la méthode	25
III.2.3.2 Méthode de mesure basée sur l'exploration du champ de concentration	26
III.2.3.3 Principe de la méthode opérationnelle	27
<u>CHAPITRE IV</u>	
IV. Envasement des retenues	29
<u>INTRODUCTION</u>	
IV.2 Mécanisme de l'envasement	29
IV.2.1 Comportement des sédiments grossiers	29
IV.2.2 Comportement des sédiments fins	29
IV.3 Quelques résultats sur la sédimentation des retenues	30
<u>CHAPITRE V</u>	
V. Méthode de lutte contre l'érosion et la sédimentation	33
<u>INTRODUCTION</u>	
V.1 Moyen mis en oeuvre pour lutter contre l'érosion	33
V.2 Les recommandations	34
V.2.1 La gestion de l'eau	34
V.2.1.1 La collecte des eaux de ruissellement	34
V.2.1.2 L'infiltration maximale	34
V.2.1.3 L'épandage des eaux de ruissellement	34
V.2.2 Des mesures agronomiques pour réduire le ruissellement	34
V.2.2.1 Le couvert végétal	34
V.2.2.2 Le travail du sol	35
V.2.3 La correction torrentielle	35
V.2.4 La nécessité de vulgariser et de sensibiliser le paysan	35

**PARTIE II**

**Chapitre I**

I. Rappel statistique	36
I.1 Homogénéisation des données	36
I.2 Modèle utilisé	36
I.2.1 Estimation des paramètres du modèle	37
I.2.1.1 Méthode des moindres carrés	37
I.2.1.2 Intervalle de confiance de la moyenne et de la variance	38
I.2.2 Coefficient de corrélation	39
I.3 Courbes des débits classés	39
I.3.1 Débit caractéristique	40
I.3.2 Estimation des lois des probabilités	41
I.3.2.1 Répartition de la statistique d'observation en classe	41
I.3.2.2 Courbes des fréquences des débits	41
I.4 Estimation des apports solides en suspension	41

**CHAPITRE II**

II. Représentation de la zone d'étude	43
II.1 Localisation	43
II.2 Représentation de la zone d'étude	43

**CHAPITRE III**

III. Présentation des données hydrométriques	46
III.1 Collecte et problèmes posés	46
III.2 Dépouillement des données	46
III.3 Calcul des solides	46
III.3.1 Tracé du turbidigramme	47



III.3.2 Dépouillement et calcul	47
III.4 Constitution d'un fichier de crues	50
III.4.1 Sélection des crues	50
III.4.2 Classification et analyse des crues	51
III.4.2.1 Caracteristiques des crues	52
<b><u>CHAPITRE IV</u></b>	
IV. Organigramme général	54
IV.1 Organigramme principal	55
IV.2 Organigramme d'élaboration des deux échantillon	56
IV.3 Organigramme d'élaboration du modèle	57
IV.4 Organigramme d'étude frequentielle des débits	59
IV.5 Organigramme d'estimation des apports solide en suspension	60
<b><u>CHAPITRE V</u></b>	
V. Etude statistique et mise au point des relations	63
V.1 Ensemble de données - relation interannuelle	63
V.1.1 Recherche de la relation débit solide - débit liquide	63
V.1.2 Estimation des apports solides	68
V.2 Données saisonnières sur la période d'observation	71
V.2.1 Relation saisonnières	71
V.2.2 Estimation des apports solides saisonniers	72
V.3 Recherche d'une relation annuelle	73
V.4 Interprétation des résultats	78
Conclusion et Recommandations	80
Références Bibliographique	102

**Introduction :**

L'érosions des sols et l'envasement des retenues sont connues comme étant les problèmes fondamentaux dans le monde .

De mauvaises estimations de ces facteurs ont engendrés des coûts de réalisation des projets hydrauliques élevés et des conséquences généralement coûteuses .

L'envasement des retenues a réduit la capacité de stockage des réservoirs de par le monde d'environ 50 Km<sup>2</sup> d'eau par an .

De plus , on estime à 120 millions de tonnes la quantité moyenne de sédiments rejetée en mer chaque année par les bassins tributaires de la Méditerranée .

Tandis que les cours d'eau à écoulement sporadique qui drainent les bassins endoreiques de hautes plaines transportent annuellement quelques 20 millions de tonnes de sédiments vers les cotes ( DAMMAK 1982 ) .

Avec un taux d'érosion spécifique se situant entre 2000 et 4000 t / Km<sup>2</sup> / an . Notre pays se situe parmi les pays les plus érodables du monde . L'intensité du phénomène se manifeste essentiellement en période de crue .

La lutte contre les réductions remarquables des capacités utiles avec des effets négatifs sur l'approvisionnement en eau doit donc être permanente . La perte en surface cultivables n'engendre pas uniquement une perte en ressources précieuses en sols mais elle favorise aussi l'exode rural . Par ailleurs l'envasement des retenues ne doit pas être vu uniquement comme problème technique , mais il doit aussi être considéré du point de vue socio - économique et écologique des régions amont et aval des retenues .

Pour cela de nombreuses études sur l'érosion et ses conséquences ont été entreprises dans divers pays du monde , mais la complexité du phénomène , la difficulté de cerner globalement les facteurs qui entrent en

## *Introduction*

jeu et leur indépendance rendent difficile la construction de modèles théoriques rationnels et cohérents .

Pour cela et sur proposition de Mr . BENKANI et de la direction de l'Agence Nationale des Ressources Hydriques « A.N.R.H » , on a essayé d'élaborer un outil simple , facile à mettre en oeuvre et directement utilisable pour l'estimation des apports solides .

Notre travail à été basé sur les données hydrométriques disponibles sur une période de 1970 - 1982 à la station SIDI BEL -ATTAR . Le principal but est d'abord une synthèse bibliographique sur l'érosion et le transport solide , puis une contribution à la mise au point d'une méthode de quantification des apports solides à partir d'une corrélation établie entre débits liquides et débits solides en suspension .

# PARTIE I

## chapitre I

### I-Bref des modèles et travaux effectués en Algérie :

#### I-1 Medinger (mars 1960) :

L'étude de Medinger est basée sur les premières séries de mesures recueillies en Algérie sur une trentaine de bassins durant la période 1946-1957. Dans un tableau récapitulatif des données mensuelles observées sur 30 stations, l'auteur donne les estimations des précipitations, écoulement liquide et solide ainsi que les concentrations moyennes et maximales. La corrélation trouvée entre débit liquide et concentration instantanées ne donne pas de résultats satisfaisants

#### I-2 Tixeront ( Aout 1960 ) :

Les travaux de Tixeront sont basés sur les données de 32 bassins d'Algérie et 9 bassins de Tunisie dont la superficie s'échelonne de 90 à 22300 km<sup>2</sup>. Le modèle proposé par l'auteur et basé sur la corrélation établie entre l'apport annuel moyen ( annuel liquide ) et la perméabilité du bassin versant à partir de l'homogénéisation des séries de données qui figurent dans les annuaires hydrologiques d'Algérie et du Tunisie.

$$Q_s = a A^b$$

$$b = 0.15$$

A : lame d'eau ruissellée en mm /an.

a : coefficient empirique qui varie en fonction de la perméabilité du terrain.

« a » varie de 8,5 ( bassins à perméabilité élevée ) à 3200 ( bassins imperméables).

**I-3 Capolini ( 1965-1969 ) :**

Basé sur les résultats encourageantes mis au point par les géographes Américains Schumm et Horton , Capolini entreprend une étude geomorphologique régionale sur le bassin du CHELIFF ( physiographie-pente couvert végétal...).

- ◆ Propose une quantification des débits solides en associant à chaque formation lithologique un débit solide spécifique.
- ◆ Ebauche une relation statistique entre l'érosion spécifique des bassins et le coefficient de torrentialité.

**I-4 Sogreah ( 1969 ) :**

Inspiré de la formule mise au point par Texerant, Sogreah propose une relation entre le transport solide des oueds et du ruissellement annuel de crue « R » et de la perméabilité des bassins versants trouvées.

Les résultats basés sur les données d'observations recueillies au niveau de 9 barrages et 18 stations hydrométriques sont représentés par :

$$\begin{aligned} Q_s &= a R^b \\ \text{avec : } b &= 0,15 \end{aligned}$$

$Q_s$  : transport solide en T/km<sup>2</sup>/an.

R : ruissellement annuel moyen exprimé en mm.

a : coefficient empirique variant en fonction de la perméabilité du bassin.

« a » varie de 3,3 ( bassin à perméabilité élevé ) à 3200 ( bassin imperméable ).

**I-5 Dammak ( A.N.R.H 1982 ) :**

Les travaux de Dammak sont basés sur les données de 30 bassins versants. L'auteur élabore une relation entre le transport solide ( érosion ) ; la lithologie, le pourcentage et la fréquence des précipitations journalières

supérieures à un seuil donné et la densité du réseau hydrographique.

$$Q_s = 26,62 \text{ IL} + 5,07 \text{ IP} + 9,77 \text{ CT} - 593,56$$

$Q_s$  : transport solide spécifique moyen annuel exprimé en T /km<sup>2</sup> /an.

IL : indice lithologique = superficie des formations marneuses et argileuses du crétacé supérieur et la tertiaire exprimée en pourcentage de la superficie totale du bassin.

IP : indices des précipitations érosives = produits des pourcentages des précipitations annuelles tombés sous formes des pluies supérieures à un seuil donné par la fréquence de ces précipitation . Le seuil considéré est égale à 20 mm pour les bassins imperméables ( IL > 50 % ) et à 30 mm pour les bassins moyennement perméables ( IL < 50 % ).

CT : coefficient de torrentialite

$$CT = Dd * F1 = \frac{\sum Lx}{A} \cdot \frac{N1}{A}$$

Dd : densité de drainage ( longueur totale du réseau fluvial ramenée à l'unité de surface).

N1 : Nombres des talwegs élémentaires.

## Chapitre II

### II Processus d'érosion dans les bassins versant :

#### Introduction :

L'érosion hydrique est un phénomène complexe très répandu en zones méditerranéennes.

Elle engendre des dégradations parfois considérables sur l'emprise des chantiers ; ravinement excessif mettant en danger les ouvrages , comblement des fossés..., elle peut également avoir des conséquences nefastes sur l'environnement ; pollution et sédimentation dans les rivières et nappes d'eau.

#### II-1 Types d'érosion :

L'érosion est un phénomène souvent désigné par le terme d'érosion géologique, l'érosion des sols et l'érosion linéaire.

L'érosions géologique est celle qui sculpte la surface de la terre, créant les montagnes, les vallées et les plaines d'inondation dans les conditions naturelles ou relativement plus perturbées.

L'érosions des sols est plus étroitement liée aux terres agricoles, car par définition, le sol est constitué des matériaux minéraux ou organiques, non consolidés, qui sont propres au développement des cultures.

L'érosions des réseaux de drainage, c'est l'érosion des berges et du fond des chenaux par l'écoulement.

#### II.2 L'Erosion hydraulique en Algérie :

Le Nord du pays, essentiellement montagnard, est un milieu fragile. En effet, les régions de montagnes s'étendent sur une superficie 7.565.000 hectares dont 63% sont situées à plus de 800 m, les ¼ des terres ont des pentes supérieures à 25% .



La lithologie constituée en majorité de roches tendres (à 75% de formation marneuses et argileuses) offre généralement, une structure fragile et une faible résistance aux forces érosives.

Le pays est exposé à un climat d'influence méditerranéenne peu agressif caractérisé par une nette opposition entre saisons sèches et saisons humides. Les averses orageuses de fortes intensités ( $> 100$  mm/h) sont particulièrement fréquentes en Automne lorsque le couvert végétal est absent (Arabi 1989).

Suite au processus de colonisation successive associée à un fort accroissement démographique, les paysans repoussés dans les montagnes ont été amenés pour survivre à exploiter les zones à risque érosif en défrichant et en faisant pâturer les forêts par les troupeaux.

On estime à 3,5 millions d'ha les forêts détruites durant la dixième moitié de ce siècle (Sari 1977).

Les facteurs socio-économiques contribuent largement à l'accroissement de processus de dégradation des sols.

85% des superficies cultivables en Algérie (soit environ de 6 millions hectares) sont situées sur les versants menacés par l'érosion, aussi les terres exploitées sont dans la plupart des cas des petits lopins éparpillés ce qui rend difficile l'application d'une politique de gestion conservatrice des terrains.

Ces nombreuses conditions ont donc contribué à la dégradation rapide du milieu et au développement de différentes formes d'érosion : décapage de l'horizon humifère et formation de régoles évoluant en ravines sur les versants bad-lands, glissement des terrains et divagation des oueds dans les vallées.

Le taux d'érosion spécifique atteint en Algérie les valeurs les plus importantes d'Afrique de nord :

- ◆ Dépassant  $2000 \text{ t/km}^2$  /an sur la plupart des bassins versants de l'Atlas Tellien (Rhiou-Sly-Fodda) .
- ◆ IL atteint  $4000 \text{ t/Km}^2$ /an sur la chaîne des côtières Dahra et  $5000 \text{ t/km}^2$ /an sur le bassin de l'oued Agrioun.

On estime à 120 millions de tonnes la quantité moyenne de sédiments rejetée en mer chaque année par des bassins tributaires de la Méditerranée (DANMAK 82).

La plus grande partie de l'érosion des terres se produit lors des crues, en observant les valeurs de la turbidité instantanée, on remarque ainsi l'importance des crues dans le phénomène de transport solide ( en Mars 1974 les crues en 3 jours ont transité près de 3 millions de tonnes de sédiments à travers les bassins côtiers Algérois )

### **II.3- Conséquences :**

La mobilisation des ressources en eau pour satisfaire les besoins des centres urbains, industriels et des périmètres irrigués, constitue l'objectif principale de la stratégie nationale de développement des ressources en eau.

Ce programme qui prévoit la réalisation des barrages , barrages collinaires et lacs collinaires comporte des actions de l'A.N.R.H prioritaire pour la protection et la préservation de ces ressources en eau.

#### **II.3.1 Impact de L'érosion sur l'infrastructures :**

- Les dépôts solides dans les plaines lors des crues entraînent l'envasement des terres cultivables.
- envasement des retenues , des barrages , des ouvrages de prise et des canaux d'irrigations .

- détérioration des routes et des ouvrages de communication : ensablement des ports.
- La sédimentation accélérée des retenues des différents barrages constitue sans nul doute la conséquence la plus dramatique qui constitue actuellement une préoccupation essentielle.

L'infrastructure hydraulique Algérienne est amputée chaque année d'un potentiel de réserve équivalent à 20 millions de mètre cubes ( DAMMAK 82 ).

### Chapitre III

#### III Transport solide

##### Introduction :

La matière première du transport solide est l'érosion continentale. C'est à dire la désagrégation du sol et de la roche par les agents atmosphériques, le gel, l'impact des gouttes de pluies, l'érosion pluviale, le vent, le ruissellement, l'érosion fluviale ...

Les matériaux arrachés au sol par l'érosion continentale finissant par atteindre le réseau hydrographique, on distingue plusieurs types de mobilisation :

- Mobilisation des matériaux grossiers : le mouvement se fait sous forme d'éboulement , de glissement en masse, de glissement grain à grain.
- La mobilisation des matériaux plus fins est liée essentiellement aux ruissellement superficiel, ce ruissellement peut être concentrer ou diffus (en film).
- La mobilisation des substances dissoute dépend de l'érosion chimique interne à l'échelle du bassin d'alimentation, elle peut se réaliser aussi bien au niveau de la roche sous l'action des eaux souterraines, comme au niveau des monteaux d'altération à faible distance de surface topographique.

##### III-1 Transport solide :

Le transport solide dans un cours d'eau constitue la seconde phase de l'érosion. Pour un matériau donné et pour une rugosité du lit de la rivière, la possibilité de transport de la rivière dépend de la répartition de la vitesse dans la section considérée , c'est à dire la plus part du temps du seul débit liquide, cette possibilité est appelée « capacité de transport solide ».

### III-1-1- Transport par charriage :

Le transport par charriage est l'un des principaux types du transport solide, il concerne les gros matériaux qui contribuent à la formation de l'équilibre du lit.

Ces matériaux grossiers roulent ou glissent sur le fond sans jamais le quitter.

#### III-1-1-1 Etude théorique du charriage :

La façon la plus simple d'aborder ce problème est d'étudier la vitesse critique susceptible de mettre en mouvement les particules qui se trouvent dans le lit de la rivière.

$$Vc^2 = \alpha \cdot a \cdot \left( \frac{\delta_1 - \delta}{\delta} \right) \quad \text{Formule de Brahmans}$$

$\delta_1$  : poids spécifique de la particule

$\delta$  : poids spécifique de l'eau.

$\alpha$  : coefficient caractéristique des particules.

$a$  : diamètre de la particule supposée sphérique.

Actuellement la plus part des formules qui propose de calculer ce débit fait intervenir la notion de « force tractrice ».

$$\tau = \delta \cdot R \cdot I \quad (\text{Kg/m}^2)$$

$\tau$  : force tractrice par unité de surface.

$I$  : pente hydraulique et «  $R$  » représente le rayon hydraulique.

Certains Auteurs ont obtenu des valeurs de  $\tau$  critique nécessaire pour provoquer le déplacement des particules suivant leurs diamètres et leurs matériaux.

### III.1.2 Le transport en suspension :

Le transport en suspension à la différence de transport de fond se fait sur toute l'étendue de la section mouillée, il concerne la quantité des éléments fins du

transport solide qui sont maintenu en suspension par la turbulence, cette quantité dépend essentiellement des quantité d'éléments fins fournis par le bassin versant.

L'étude de la suspension présente deux intérêts :

- ◆ Intérêt « fondamental » sachant qu'elle contribue à une meilleur connaissance de la dynamique et de la sédimentation en retenue.
- ◆ Intérêt « pratique » car elle pourra permettre de mieux connaître et de prévoir les phénomènes d'envasement qui se produisent dans les retenues.

### III.1.2.1 Etude théorique de la suspension :

Le maintien des particules en suspension est due essentiellement à la turbulence de l'écoulement .

Au fur et à mesure que la vitesse du courant s'accroît dans le cours d'eau ( montée des eaux) l'intensité de la turbulence s'accroît également, selon PARDE, la turbidité maximale provient souvent des premiers ruissellement intenses.

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.

Une formule donnée par W. KRESSER définit le critère d'apparition du phénomène de suspension qui consiste à définir la vitesse « U » d'écoulement du liquide pour laquelle la poussée du liquide sur les grains de diamètre « D » permet la mise en suspension.

$$U^2 = 360 \cdot g \cdot D \quad (1)$$

En tenant compte de :

$$U = C \cdot (h \cdot J)^{1/2}$$

et  $\tau = v \cdot h \cdot J$

La formule (1) peut s'écrire :  $\tau = 360 \cdot (v \cdot g / C^2) \cdot D$

$\tau$  : tension tangentielle de l'écoulement qui correspond à l'apparition du phénomène de la suspension ;

$\nu$  : poids volumique de l'eau ;

C : coefficient de CHEZY.

### **III-2 Méthode de mesure et l'évaluation du transport solide :**

L'évaluation des transports solides est basée sur deux types d'actions :  
la mesure directe du taux de remplissage des retenues ;  
l'observation du réseau hydrométrique.

#### **III-2-1 Méthodes basées sur la mesure du taux de remplissage des retenues :**

Le contrôle de l'envasement des retenues de barrages est un moyen efficace d'obtenir des valeurs globales sur l'importance du transport des matériaux par les Oueds barrés, intégrant l'ensemble des phénomènes du processus érosion-transport-solide y compris le charriage du fond.

##### **III-2-1-1 Principe de la méthode :**

Un barrage constitue une fosse à sédiments de grand taille, si l'on contrôle le bilan hydraulique du barrage et la turbidité des volumes d'eau déversés ou soutirés, on peut déduire de l'envasement de la retenue une valeur moyenne de la mise en eau du barrage à la date de mesure d'envasement.

Les méthodes de levé de fond de la cuvette à l'aide d'un echo-sondeur à ultrasons rendent la mesure simple et rapide.

##### **III-2-2-1 Problème des densités des sédiments déposés :**

La nécessité de relier les mesures de transports solides effectuées dans les cours d'eau aux mesures d'envasement de barrage exige des définitions du terme « densité », suivant CLAUDE et CHARTELIER.

- un sol en place est un mélange de trois phases : terre-eau-air ;
- se un dépôt de sédiment sous l'eau est une boue plus ou moins consolidée, s'il trouve hors d'eau il redevient assimilable à un sol.

Si l'on considère un volume total  $V_t$  de ces dépôts et si on note :

$P_t$  : poids total du mélange (terre-eau) ;

$P_s$  : poids du sol sec contenu dans le mélange ;

$P_e$  : poids de l'eau contenu dans le mélange ;

$V_s$  : volume du sol sec ;

$V_e$  : volume d'eau.

On appellera densité apparente du mélange le rapport :

$$D_a = \frac{P_t}{V_t} = \frac{P_s}{V_t} \left( 1 + \frac{P_e}{P_s} \right)$$

$D_s$  : appelée densité sèche du mélange.

Connaissant la valeur moyenne de ce paramètre dans un réservoir dont on a mesuré le volume des dépôts, on pourra en déduire la quantité des sédiments fournie par le bassin.

La connaissance de ce paramètre permettra en outre sur les barrages pourvus d'un contrôle hydraumétrique amont et aval :

- d'estimer correctement les apports solides par charriage.
- d'avoir une idée sur l'imprécision des méthodes de mesure et d'évaluation.

La densité sèche «  $D_s$  » peut être aussi exprimé par :

$$D_s = (D_r \cdot (D_a - 1)) / (D_r - 1)$$

On appellera :  $D_r$  densité réelle exprimé par le rapport :  $D_r = P_s / V_s$

$T_e$  : Teneur en eau du mélange  $T_e = P_e / P_s$



Les mesures « in situ » de ces paramètres posent de nombreux problèmes, et ont mis en évidence une forte variabilité de la densité dans la zone de dépôts :

- En 1961 dans les dépôts du KSOB ( SHARVARY ) 8 sondages de 7 à 15 m de profondeur montrent une augmentation de la densité de  $1,19 \text{ t/m}^3$  ( à 300m de la digue ) à  $1,65$  ( à 6 Km de la digue ).
- En 1964 dans les dépôts du FODDA un sondage montre une augmentation de la densité sèche de  $1,38 \text{ t/m}^3$  ( a la surface ) à  $1,66 \text{ t/m}^3$  ( à 30 m de profondeur).
- En 1981 dans les dépôts du GHRIB une compagnie de soudage montre une variation de la densité sèche de  $1,17$  à  $1,75$  suivant la profondeur:

La densité sèche moyenne des sédiments déposés dans un réservoir dépend des caractéristiques et des conditions d'exploitation du réservoir, on peut d'après les rares mesures effectués jusqu'à présent que cette densité varie entre  $1,2$  et  $1,4 \text{ t/m}^3$  ( DAMMAK 82 ).

### **III.2.3 Méthode basée sur la mesure de la turbidité au niveau du réseau hydrométrique :**

#### **III.2.3.1 Intérêts de la méthode :**

Cette méthode fait appel à des mesures instantanées peut être plus astreignantes à la longue que les opérations de relevé des cuvettes ; elle ne concerne que les transports en suspensions.

Par contre elle fournit à des intervalles de temps aussi courts que la durée de la crue, les valeurs permettent :

- L'étude de la variation temporelle du phénomène.
- L'analyse factorielle des résultats.

Or, l'analyse factorielle si elle est possible constitue un outil de transposition des résultats de mesure directe, elle peut se traduire en formules, en abaques ou en modèles mathématiques permettant d'évaluer les apports solide.

### III.2.3.2 Méthodes de mesure basée sur l'exploration du champ de concentration :

On procède à l'aide d'une TURBIDISONDE à des prélèvements d'échantillons en différents points de la section de mesure en prenant les précautions nécessaires de manière à ne pas perturber l'écoulement et à rendre l'échantillon prélevé le plus représentatif possible des conditions réelles.

On détermine simultanément le champ de concentration  $C(x,y)$  et le champ de vitesse  $V(x,y)$ .

Le débit solide est obtenu par intégration double le long de la section de mesure.

$$Q_s = \iint C(x,y) \cdot V(x,y) \cdot dx \cdot dy$$

cette méthode est astreignante et difficile à mettre en œuvre.

Elle est généralement utilisable sur les cours d'eau des grands bassins où l'écoulement peut être considéré comme fluvial ( $S \geq 5000 \text{ Km}^2$ ) et où les teneurs en turbidité sont relativement faibles et ne varient que très lentement au cours d'une journée.

Pour les cours d'eau à écoulement torrentiel (bassins montagneux) caractérisés par des variations rapides de débits, les conditions de prise d'échantillons auront beaucoup moins d'importance que la fréquence des prélèvements.

### **III.2.3.3 Principe de la méthode opérationnelle:**

**La technique utilisée est la suivante :**

- prélèvement en un point unique soit sur le bord soit au milieu au moyen d'un récipient qui sert à stocker les échantillons, il s'agit généralement de bouteilles en matière plastique .
  - échelonnement des prélèvements lors d'une crue, suivant des intervalles de temps variables en fonction du régime de l'oued étudié
- traitement primaire des échantillons au laboratoire local : Décantation, filtrage, séchage à l'étude, pesée .

S'agissant de la fréquence de prélèvement , les consignes suivantes sont données aux observateurs :

- a - en étiage, ou lorsque le débit est constant au cours de la journée, il y a lieu d'effectuer un seul prélèvement au cours de la journée généralement à 12<sup>H</sup>00.
- b - En crue la fréquence des prélèvements est fixée pour chaque station en fonction de la vitesse de montée et de décroissance des crues ( en liaison avec la taille des bassins et de la durée des averses).

En règle générale :

- Un prélèvement est effectué durant la montée des eaux : si cette montée est lente ( supérieure à une heure ) , On prélève un échantillon d'eau toutes les heures.
- Un prélèvement doit obligatoirement être effectué au maximum de la crue.
- En décrue, et suivant la vitesse de cette décrue on prélève un échantillon toutes les heures durant les 6 premières heures et toutes les 2 heures en suite.

L'espace dans le temps des prélèvements doit être au fur et à mesure qu'on s'éloigne du maximum de la crue jusqu'à atteindre un prélèvement par jour lorsque le débit reste constant dans la journée.

Cette méthode, utilisée au service hydrologique ( A.N.R.H ) de façon systématique et routinière sur l'ensemble du réseau hydrométrique depuis plus de 20 ans a servi de base à l'élaboration des données de cette étude.

L'évaluation des apports solides journaliers, mensuels et annuels est effectuée de la même que pour les apports liquides sur la base d'un dépouillement des enregistrements limnigraphiques suivant un pas de temps d'une demi-heure, d'une heure ou de 2 heures.

Les données sont ensuite perforées , les calculs des débits et des apports solides ainsi que celui des concentrations moyennes journalières, mensuelles et annuelles se font à l'ordinateur.

## Chapitre IV

### IV Envasement des retenues:

#### **IV.1 Introduction :**

L'envasement a , non seulement plusieurs incidences sur les retenues, car il conduit à une réduction de leurs capacités de régularisation, mais peut également mettre en cause la sécurité de l'ouvrage ( mauvais fonctionnement des organes de vidange de fond ...).

Ce phénomène constitue actuellement une préoccupation essentielle qui met les services d'exploitation et de gestion ainsi que les services de mobilisation des ressources hydrauliques devant des difficultés, du fait que les procédés de lutte sont schématiquement préconisés sous deux formes : préventifs ( reboisement, décantation ) ou curatifs ( surélévation, construction de nouveaux barrages ou évacuation de la vase ).

#### **IV.2 Mécanisme de l'envasement :**

La construction d'un barrage modifie les conditions d'écoulement du débit solide, aussi bien pour le transport en charriage que pour le transport en suspension.

##### **IV.2.1 Comportement des sédiments grossiers :**

Les matériaux grossiers s'y déposent en formant un « Delta » qui s'érige à l'embouchure du réservoir.

Il présente une pente raide à sa limite aval , à l'amont il rehausse les lignes d'eau, il progresse vers le barrage au fur et à mesure des apports .

##### **IV.2.2 Comportements des sédiments fins :**

Ces matériaux sont transportés en suspension plus loin dans le réservoir pour e déposer au fond de la retenue en couches relativement planes.

Si l'écoulement est torrentiel : les eaux chargées plongent au fond de la retenue et s'y écoulent sous la forme d'un écoulement de turbidité qui se présente comme un écoulement plus au moins individualisé de densité supérieure à celle des eaux claires qui l'entraînent .

Si l'écoulement est fluvial : il ne se forme de courant de densité que pour les débits et concentrations dont les apports sont suffisamment élevés.

Si ces apports sont faible et en outre à des températures voisines à celle du lac, le courant de densité ne se forme pas et les sédiment fins sont tributaires de la gravité, de la turbulence et des écoulement dans la retenue.

Une fois déposées au fond, les vases sont susceptible de formes des coulées boueuses vers les parties les plus basses de la retenue, lorsqu'elles sont stabilisées et en absence de mouvement dans la retenue, les dépôts se consolident en se débarrassant de leurs eaux interstitielles.

### **IV.3 Quelques résultats sur la sédimentation des retenues :**

Durant les 40 années écoulées on estime à 600 millions de mètres cubes la capacité perdue par envasement ( DAMMAK 82 ).

Pour les exemples cités ci dessous, on trouvera l'ensemble des données suivantes à partir de la mise en eau . (tableau Tab IV.1)

- Année de levée bathymétrique.
- Nombre d'années d'exploitation.
- Capacité résiduelle
- Evaluation de l'envasement
- Erosion spécifique.

Ces chiffres donnent une idée sur le problème d'envasement et la gravité des problèmes qui en découlent.

En effet si on admet que la durée de vie d'un barrage réservoir est la période durant laquelle sa capacité est supérieur à 50 % de la capacité initiale, on constate que la majorité des barrages Algériens ont une durée de vie d'une trentaine d'années ( DAMMAK 82 ).

Les retenues aménagées étant souvent irremplaçable, les perspectives de surélévation très réduites et les techniques de dragage très coûteuses et très consommatrices d'eau . Seule une exploitation dynamique rationnelle pourra contribuer à maintenir une capacité de régularisation satisfaisante.

**STATISTIQUES SUR LA SEDIMENTATION DES BARRAGES  
EN EXPLOITATION**

Barrage N° période exploit.	surface du BV S km <sup>2</sup>	capacité sous RN Crn hm <sup>3</sup>	apport moyen Ao hm <sup>3</sup>	capacité résiduelle hm <sup>3</sup>	volumé ensavé hm <sup>3</sup>	ensavement spécifique qs m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> .an	obs.
1 GHRIB (1935-86) 52 ans	23.300	278.23	153	165.6	112.6	111	
2 DJORF TORBA (1969-86) 18 ans	22.000	350	200	33.6	33.6	85	
3 BOUGHZOU (1934-86) 53 ans	20.500	11.7 33.0*	83	6 20.3	22.3	21	*
4 BOU HANIFIA (1940-86) 47 ans	7.000	73	137	21.4	21.4	59	
5 S.M.B.A (1978-86) 9 ans	4.890	235	120	225.6	9.4	213	
6 CHEURFAS (en 70 années)	4.150	18	62	6.0	12.0	41	
7 K'SOB (1940-86) 51 ans	1.310	11.6	50	12.2	12.2	198	*
8 BAKHADDA (1936-86) 51 ans	1.300	37.6 50.3*	73	- 45.1*	8.1	122	*
9 FOUM EL GHERSA (1950-86) 37 ans	1.280	47	21	26.5	20.5	433	
10 BENI BAHDELS (1940-86) 47 ans	1.016	63	74	56.5	6.5	136	
11 OUED FODDA (1953-86) 55 ans	800	225	94	132.7	92.3	2098	
12 IGHIL EMDA (1953-74) 22 ans	652	154.8	175	119.9	34.9	2493	
13 LA CHEFFIA (1965-86) 22 ans	575	175.68	140	168.4	7.3	573	
14 ZARDESAS (1936-86) 51 ans	345	14.9 27*	53	- 20.2*	16.5	938	*
15 SARNO (1954-74) 21 ans	264	22	12	21.3	0.7	234	
16 FOUM EL GUEISS (1939-86) 48 ans	156	3	12	1.6	1.4	187	
17 HAMIZ I (1890-14) 25 ans HAMIZ II (1935-86) 51 ans	139 139	14.6 21	54 54	12.31 16.4	2.05 4.6	590 moy. 690 649	
18 MEFFROUCH (1936-86) 24 ans	90	16	18	14.6	1.4	648	

\* après surélévation -



## Chapitre V

### V Méthodes de lutte contre l'érosion et la sédimentation :

#### Introduction :

Le ruissellement et l'érosion hydrique sont des facteurs très importants, dans la planification et la gestion des ressources. De mauvaises estimations de ces facteurs ont engendré à travers le monde des coûts de réalisation très élevés et des conséquences généralement coûteuses.

L'envasement des retenues à travers le monde a réduit la capacité de stockage des réservoirs d'environ 50 Km<sup>2</sup> d'eau par an. Le coût de solution de rechange pour compenser les pertes en ressources hydriques liées à ce problème s'élèvent à environ 6 10<sup>9</sup> U S \$ ( Mahmoud 1987 ).

#### V.1 Moyen mis en œuvre pour lutter contre l'érosion :

Pour lutter contre l'érosion des moyens importants furent mobilisés :  
En matière de reboisement et restauration des forêts, il fut réalisée 13 200 ha durant la colonisation ( Ben Benchetrit 1972 ) et 800 000 ha après l'indépendance y compris le barrage vert. Malgré tous ces efforts le taux de boisement de l'Algérie du Nord égal à 11 % reste modeste. Sur le plan de la D.R.S 350 000 à 400 000 ha de terres furent traitées en banque ( Heush 1986 ).  
Or malgré 50 années de lutte anti-érosives et de reforestation, les terres continuent de se dégrader et les barrages s'envasent rapidement (ARABE 1989).

## **V.2 Les recommandations :**

### **V.2.1 La gestion de l'eau :**

Le ruissellement est la cause principale de l'érosion, toute politique d'aménagement doit prendre en compte la gestion du ruissellement, plusieurs solutions sont possibles :

#### **V.2.1.1 La collecte des eaux de ruissellement :**

Très utile dans les régions déficitaires en eau, cette pratique permet de capter les eaux de ruissellement et de les utiliser pour l'irrigation des plantes . Par ailleurs, les eaux interceptées dans ces pièges réduisent l'importance du débit de pointe ( HEUSH 1993, ROOSE 1990 ).

#### **V.2.1.2 L'infiltration maximale :**

L'infiltration maximale est obtenue par l'intermédiaire des techniques culturales ( billonnage cloisonné, fossé aveugle , gaufrage , ...). Outre la réalimentation de la nappe phréatique, ces réserves permettent - comme dans le cas précédent - une irrigation d'appoint.

#### **V.2.1.3 L'épandage des eaux de ruissellement :**

En milieu montagnard humide, le problème fondamental est l'excédent d'eau de pluie qui provoque le ruissellement souvent sur des terrains argileux propices aux glissements , dans ces conditions , la stratégie de lutte consiste à dissiper l'énergie de ruissellement en l'étalant en nappe sur une plus grande surface, d'où l'intérêt des techniques qui favorisent la rugosité des sols.

### **V.2.2 Des mesures agronomiques pour réduire le ruissellement :**

#### **V.2.2.1 Le couvert végétal :**

Le couvert végétal est le facteur qui agit mieux sur le ruissellement , il le

retarde par l'amélioration de flux d'infiltration et augmente la capacité hydrique du sol.

En milieu agricole la conservation des sols doit être orienter sur le choix d'espaces à feuillage dense, à systèmes racinères profond et qui couvre suffisamment le sol pendant la période de pluie ( Décembre à Mars ).

#### **V.2.2.2 Le travail du sol :**

Le travail du sol a l'avantage de laisser une surface rugueuse favorable donc à l'infiltration , mais détruit en même temps la cohésion du sol et augmente par conséquent la susceptibilité de celui-ci à l'érosion :

En outre les labours dans le sens de la pente favorise non seulement le transport solide mais provoque aussi l'érosion sèche ( raptation du sol par les engins mécaniques sous l'effet de la pesanteur ).

#### **V.2.3 La correction torrentielle :**

Après avoir amélioré l'infiltration du bassin, il est nécessaire d'aménager le réseau de ravine qui le draine . Le problème posé est le coût élevé de l'aménagement qui revient à 2 millions de DA pour stabiliser 1 à 25 Km de long à l'aide de gabions ( Samson 1989 ).

#### **V.2.4 La nécessité de vulgariser et de sensibiliser le paysan**

L'expérience a montré que les projets de développement qui n'intègrent pas le paramètre humain dans leurs études aboutissent généralement à des échecs. Malgré que les solutions techniques pouvaient jouer un rôle déterminant , il est donc impératif, qu'avant même l'élaboration d'un quelconque projet de communiquer avec le paysan pour prendre en considération ses préoccupations.

# PARTIE II

## Chapitre I

### I Rappel statistique :

#### I.1 Homogénéisation des données :

L'homogénéisation des données consiste ; d'abord à partir des séries de données existantes, il faut déterminer les relations régressives entre deux paramètres mesurés. Ensuite l'utilisation de ces relations permettra de calculer et combler les données manquantes.

Les données manquantes dans notre cas concernent les concentrations en éléments fins.

Nous nous limiterons aux méthodes de régression linéaires ou linearisables et nous baserons les travaux sur la méthode des moindres carrés.

#### I.2 Modèle utilisé :

Dans tout les travaux récents à L'A.N.R.H , il a été démontré que dans le cas de l'utilisation d'une régression en puissance pour la quantification des apports solide, les résultats obtenues sont plus satisfaisants.

Le modèle en puissance est de la forme :

$$Y = A X^B$$

Par une transformation logarithmique nous obtenons l'équation d'une droite :

$$\ln Y = \ln A + B \cdot \ln X.$$

« A » et « B » : constantes à déterminer par la méthode des moindres carrés.

La variable « X » représente le débit liquide instantané.

La variable « Y » représente le débit solide en suspension.

### I.2.1 Estimation des paramètres du modèle :

En générale pour les modèles linéaires ou linearisables la méthode des moindres carrés est la plus utilisée pour l'estimation des paramètres . Concernant les modèles non linearisables, l'appel aux méthodes de la programmation est inévitable.

#### I.2.1.1 Méthode des moindres carrés :

Soit un ensemble de données  $Y(x)$  qu'on veut approximer par une fonction  $Y^*(x)$ .

Une bonne approximation consiste à rendre la différence ( $Y(x_i) - Y^*(x_i)$ ) petite dans un certain sens.

Pour réaliser ceci on mesure généralement la distance entre la fonction  $Y$  et son modèle par l'une des normes suivantes :

$$\blacklozenge \text{ norme de Laplace : } \| Y - Y^* \| = \sum_{i=1,n} ( Y_i - Y_i^* ) \quad \text{———} \quad L1$$

$$\blacklozenge \text{ norme Euclidienne : } \| Y - Y^* \| = \sum_{i=1,n} ( Y_i - Y_i^* )^2 \quad \text{———} \quad L2$$

Parmi toutes les droites qui approchent un ensemble de points donné , la droite présentant la propriété L2 est la meilleure droite d'ajustement.

Cette droite est dite ajuster au sens des moindres carrés . Elle est appelée droite de régression des moindres carrés.

$$Y = AX + B$$

Les constantes « A » et « B » sont données par :

$$A = \frac{\sum_{i=1,n} ( X_i - \bar{X} ) ( Y_i - \bar{Y} )}{\sum_{i=1,n} ( X_i - \bar{X} )^2}$$

$$B = \bar{Y} - A \cdot \bar{X}$$

$$\text{d'où : } Y = A \cdot X + B = A(X - \bar{X}) + \bar{Y}$$

En fonction de la variance et de la covariance la droite des moindres carrés peut être exprimé par :

$$Y - \bar{Y} = \frac{S_{xy}}{S_x^2} (X - \bar{X})$$

$$\text{avec : } S_{xy} = \frac{\sum_{i=1,n} (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{N}$$

$$S_x = \frac{\sum_{i=1,n} (X_i - \bar{X})^2}{N}$$

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1,n} X_i}{N}$$

### I.2.1.2 Intervalle de confiance de la moyenne et de la variance

En fixant une erreur  $\alpha$  on peut donc déterminer un intervalle  $[\bar{X}_{\alpha/2}, \bar{X}_{1-\alpha/2}]$  contenant  $\bar{X}$  à un niveau de confiance de  $(1 - \alpha)$ .

L'intervalle de la moyenne est déterminé par :

$$\bar{X} \pm U_{1-\alpha/2} \cdot \frac{S}{\sqrt{N}} ;$$

L'intervalle de la variance est donné par :

$$\sigma \pm U_{1-\alpha/2} \cdot \frac{S}{\sqrt{N}}$$

$U_{1-\alpha/2}$  : variable normale centrée réduite pour une erreur  $\alpha$ .

$N$  : Taille de l'échantillon.

### I.2.2 Coefficient de corrélation :

On est amené toujours à déterminer statistiquement le degré de validité d'une relation de régression par la détermination d'un coefficient de corrélation. Par définition, on appelle coefficient de corrélation la quantité tel que:

$$R = \frac{S_{xy}}{S_y S_x}$$

On peut écrire:

$$\frac{Y - \bar{Y}}{S_y} = R \frac{(X - \bar{X})}{S_x}$$

### I.3 Courbes des débits classés :

En dehors du classement chronologique, la façon la plus simple d'ordonner une série de valeurs est de ranger celle-ci par ordre croissant ou décroissant. On appelle ce mode de classement « monotone » en hydrologie on utilise souvent la « courbe des débits classés ».

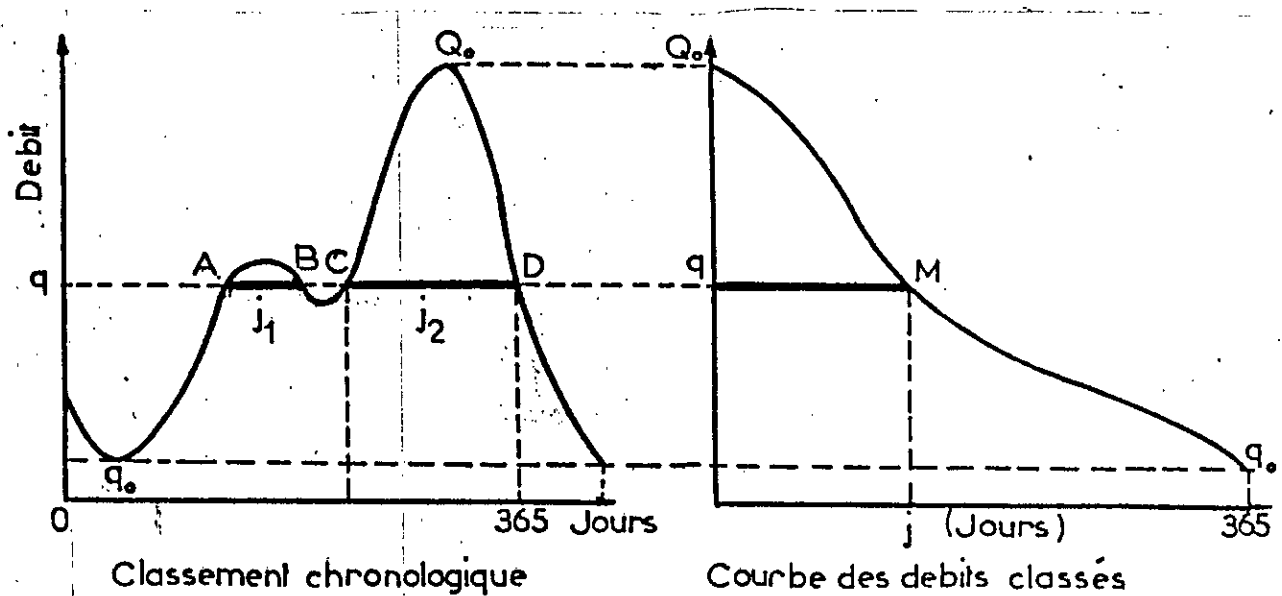
On la construit après avoir réalisé un classement des débits journaliers affaissant à une période déterminée ; une année ou plusieurs années, par ordre de valeurs décroissantes. On rapporte en ordonnées les débits journaliers en fonction de jours dans lesquels ces débits ont été atteint ou dépassé.

figure ( fig-I-1 ).



En fait, la courbe des débits classés nous fera connaître, on partant d'un très grand nombre de cas observés, la probabilité pour que le débit de la rivière soit supérieure à un débit donné  $q$  (donc compris entre  $q$  et  $q_0$ ).

En effet, si «  $t$  » est l'abscisse relative au débit «  $q$  » et «  $T$  » l'abscisse relative au débit  $q_0$ , on voit que la probabilité pour que le débit de la rivière soit supérieure à  $q$  est  $t/T$  (rapport des cas favorables au nombre de cas observés). On peut d'ailleurs graduer les abscisses en pourcentage qui permet la lecture de la probabilité.



### 1.3.1 Débit caractéristique :

L'emploi de la courbe des débits classés a conduit à fixer une terminologie pour désigner quelques points de ces courbes.

- DCE : Débit caractéristique d'étiage : le débit dépassé pendant 355 jours de l'année.

- DC1, DC3, DC6, DC9 : Débit dépassé pendant 1,3,6,9 mois de l'année.

- DCM : Débit caractéristique maximum.

### **I.3.2 Estimation des lois des probabilités :**

#### **I.3.2.1 Répartition de la statistique d'observation en classe :**

En général le nombre de classes est donné par

$$K = [ \text{Log}(N) ] + 1 ;$$

avec : - N : Taille de l'échantillon .

- [ x ] : Partie entière de x

L'amplitude des classes est donnée par :

$$H = \frac{\text{Max}( X_i ) - \text{Min}( X_i )}{K}$$

On classe les débits  $X_i$  observés par groupes ( classes ), tous les débits compris entre  $X_i$  et  $X_{i+1}$ , leur nombre est  $n_i$ . Tableau ( Tab I-2 ).

On obtient ainsi K rectangles juxtaposés de même largeur H et de hauteur  $f_i$

telle que :

$$f_i = \frac{n_i}{N} ; \text{ probabilité qu'un débit soit constaté entre } X_i \text{ et } X_i + H .$$

#### **I.3.2.2 Courbes des fréquences des débits :**

On pourra tracer en joignant les milieux des cotes supérieures des rectangles par une ligne polygonale dite : polygonale de fréquence .

Pour H très petit et N extrêmement grand , on obtient une courbe continue dite courbe de fréquence . Même chose si on représente des fréquence cumulées.

### **I.4 Estimation des apports solides en suspension :**

L'estimation de la masse des sédiments en suspension se fait en plusieurs étapes :

- ◆ Deviser la courbe de fréquences cumulées des débits liquides en plusieurs intervalles de fréquences  $[ F_i , F_{i+1} ]$
- ◆ Calculer les débits atteint ou dépassés  $Q_i$  correspondants à la médiane de chaque intervalle de fréquence .
- ◆ Pour chaque débit liquide  $Q_i$  , on calcule le débit solide en suspension  $Q_{si}$  en utilisant le modèle statistique  $Q_s = f(Q_L)$  .
- ◆ Evaluer le débit moyen journalier du transport solide en suspension par :

$$Q_s = \sum [ Q_{si} (f_{i+1} - f_i) ]$$

## Chapitre II

### II Représentation de la zone d'étude :

#### II.1. Localisation :

Le Cheliff coule d'Est en Ouest dans le Nord de l'Algérie depuis le barrage de Boughzoul à une centaine de kilomètres au sud de l'Algérie jusqu'à son embouche dans la Méditerranée à proximité de Mostaganem .

Sur la majeure partie de son cours, il serpente au fond d'une vallée parallèle à la mer bordée au Sud par le massif des Ouarsaenis et au Nord par la chaîne côtière des monts Dahra . De Boughzoul à l'embouchure du Cheliff, la distance en ligne droite est d'environ 250 Km et la dénivellation d'environ 625 km .

Figure (fig II.1).

#### I.2. Représentation de la zone d'étude :

Le bassin du Cheliff est l'un des bassins les plus érodés de l'Algérie, sa superficie globale est de 43700 Km<sup>2</sup> .

Dans la quasi totalité les sols du Bassin sont alluviaux et <sup>ou</sup> colluviaux alluviaux ( Legu<sup>ou</sup>pil et Gttous 71 ) leurs caractères physique essentiel est la prédominance des éléments fins. La forte proportion des éléments fins liée à l'origine des alluviaux essentiellement dérivées de marne ou d'Argile le rend très sensible à l'érosion et engendre un réseau d'écoulement dense à régime torrentiel de plus en plus important. Les autres caractéristiques sont données sur la carte , figure (fig.II.1)

Son climat est typiquement Méditerranéen avec des étés chauds et secs et des hivers frais et pluvieux.

- La pluviométrie est faible comme l'indique le tableau (Tab.II.2) aux stations d'EL Khmis, Ech-Cheliff et Relizane situées respectivement dans le

( Haut, Moyen et Bas ) Cheliff .

Pluviométrie Mensuelle moyenne (mm)													
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
<b>Khmis Miliana</b>	76.1	59	48.8	48.6	34.9	13.1	0.9	3.1	14.8	53.8	49.5	69	471.7
<b>Ech Cheleff</b>	21.5	55.5	38.4	45.7	32.9	9.8	0.8	1.3	9.7	49.6	43.0	71.1	429.3
<b>Relizane</b>	44	42.8	39.6	41.4	30.6	10.1	1.0	1.3	15.3	32.5	33.3	49.2	347.3

Tab.II.2

\* moyenne sur : 45 années pour khmis.

: 36 années pour Ech cheleff

: 44 années pour Relizane.

- Pour la température, un examen rapide montre qu'il n'existe pas de différence sensible pour les trois stations citées ci-dessus.

Les températures d'hivers sont de l'ordre de 10° et mentent à 30° en été.

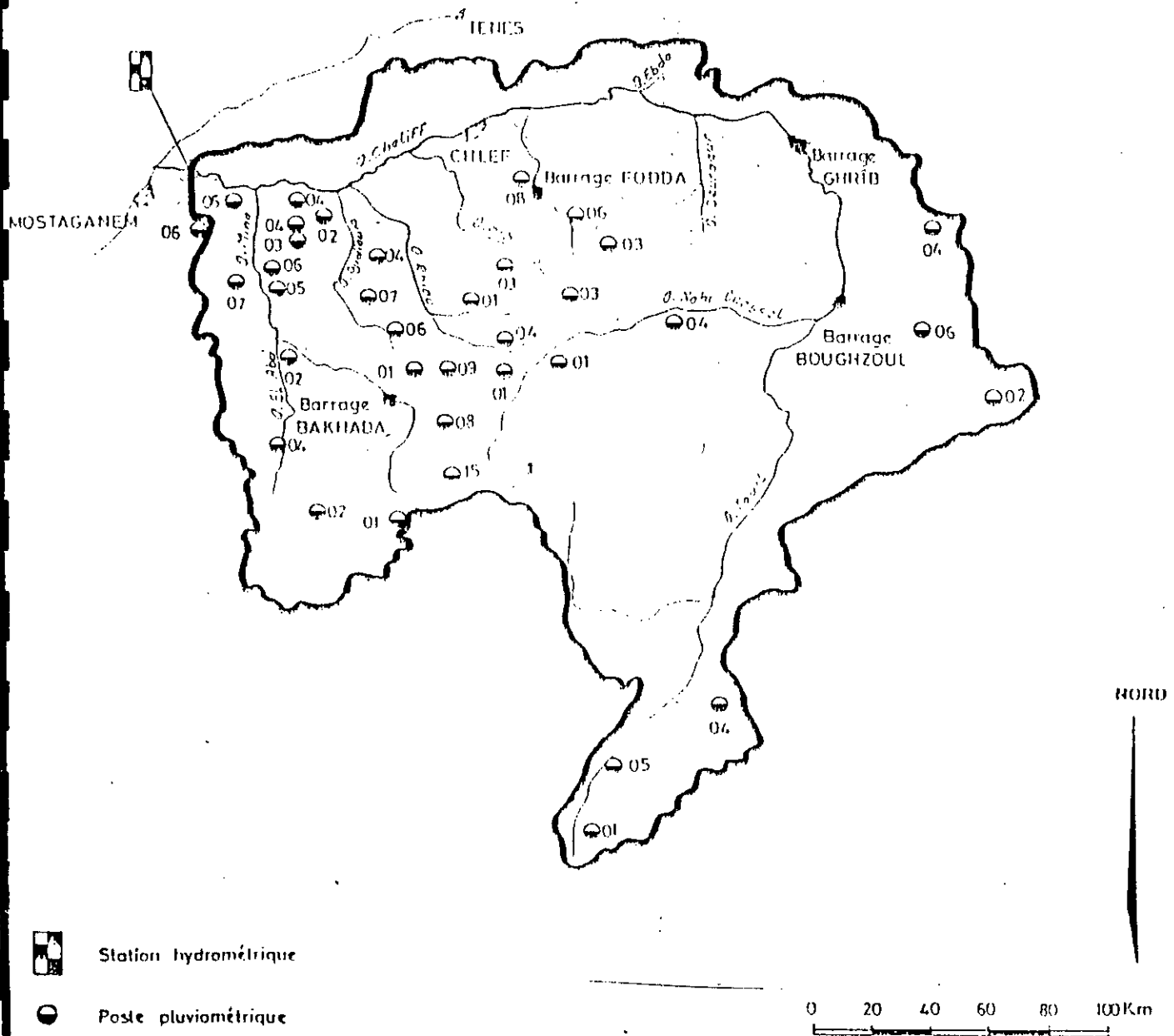
le climat enfin peut se caractériser par des vents légers, généralement de moins de 10 Km/h et un ensoleillement moyen élevé variant selon les saisons de 60 à 80 % de la durée du jour.

Station : SIDI BEL ATAR

Code : 01-36-02

Oued : Chellif

Fig II.1:



DONNEES MORPHOMETRIQUES

X	: 290.75	Longueur du rectangle équivalent ( Km )	: 619
Y	: 305.55	Longueur du thalweg principal ( Km )	: 759
Altitude minima ( m )	: 20	Densité de drainage ( Km <sup>2</sup> /Km )	:
Altitude maxima ( m )	: 190.3	Indice de compacité	: 1.05
Altitude moyenne ( m )	:	Indice de pente de Roche	:
Surface ( Km <sup>2</sup> )	: 43700	Coefficient de torrentialité	:
Périmètre ( Km )	: 1383		

### Chapitre III

#### III. Présentation des données hydrométriques :

##### III.1 Collecte et problèmes posés :

La construction de la banque de données hydrométriques a été la tâche la plus longue et la plus pénible.

Cette collecte consiste en un dépouillement systématique de tous les fichiers des hauteurs d'eau ( débit liquide ) en fonction du temps , et des feuilles d'analyse chimiques des eaux : « Classement et analyse sommaire des eaux ».

Les barèmes d'étalonnage des courbes de tarages réalisés par l'Agence National des Ressources Hydriques donnant la relation du débit « Q » en fonction de la hauteur d'eau « H » , nous ont été une précieuse utilité et ont permis de corréler dans le temps les valeurs de concentrations relatives aux transports solides à celles des débits liquides .

##### III.2 Dépouillement des données :

Nous disposons de la <sup>a</sup>compagne de données de l'apport liquide et de concentration des éléments en suspensions depuis Septembre 70 à Aout 1982.

Avant 1970 et après 1982 mis à part les données de débits il n'existe que quelques données de concentration en éléments fins.

##### III.3 Calcul des débits solides :

( méthode opérationnelle automatisée )

Prenons par exemple une crue qui a été sélectionné on a :

- ◆ L'hydrogramme.
- ◆ Les résultats d'analyses classés dans l'ordre chronologique dans la fiche « classement et analyse sommaire des prélèvements d'eau ».

### **III.3.1 Tracé du turbidigramme :**

Sur la bande de l'hydrogramme on rapporte à une échelle que l'on déterminera au préalable sur chaque bande les résultats des mesures chronologiques de concentration en sédiments, en positionnant ces valeurs dans le temps . La courbe de l'évolution des concentrations en fonction du temps ( turbidigramme ) sera tracée en joignant les différents points et en s'inspirant de la courbe de l'hydrogramme.

A cet effet , il faut signaler que le nombre de prélèvements et leurs échelonnements corrects dans le temps conditionnent exclusivement la fiabilité et la précision du tracé du turbidigramme .

### **III.3.2 Dépouillement et calcul :**

On adopte pour la lecture du turbidigramme le même pas de temps que pour les dépouillements des débits instantanés et on remplit ainsi la case « turbidité » en notant les valeurs correspondantes lues sur la courbe .

Les débits liquides instantanés (  $m^3 /s$  ) sont transformés en débits solides instantanés (kg/s) en multipliant ces débits par les concentrations correspondantes en (g/l).

Un exemple de tracé de dépouillement et de calcul des débits solides correspondant à la crue No 24 observée à la station SIDI Bel - Attar est donné ci-dessous .

- ◆ Le tableau ( Tab.III.1 ) reproduit la fiche de « classement et analyse sommaire des prélèvements d'eau ».
- ◆ la figure ( Fig.III.2) reproduit le tracé de l'hydrogramme et le tracé du turbidigramme .



CONDUCTIVITE

TRANSPORT SOLIDE

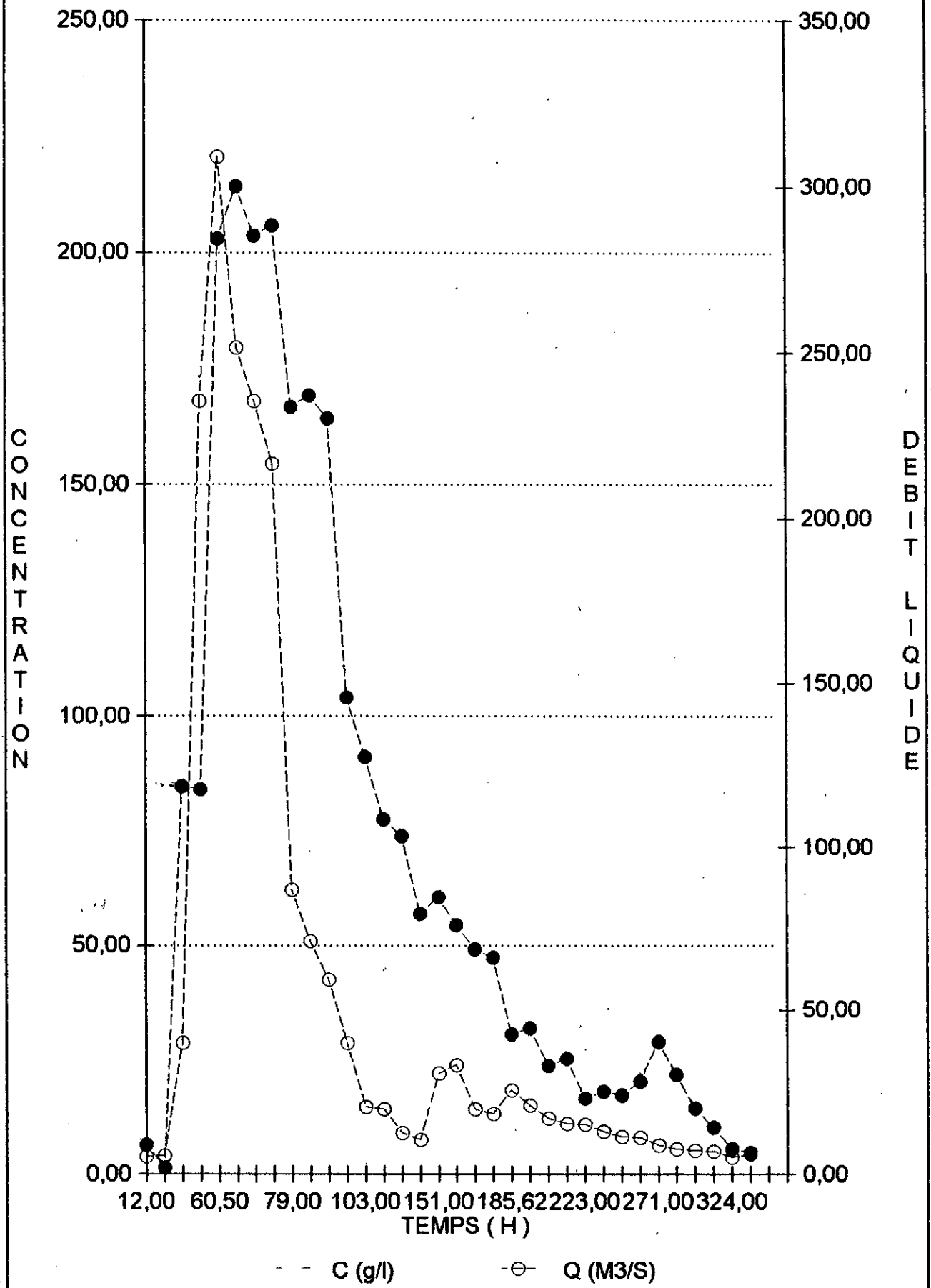
N° du prélèvement	QUED	STATION	DATE	Heure	H échele (cm)	Température (degré)	LECTURE			Conductivité à 25° C = C X A X K	Obs				
							Lecture appareil c	Correction température A	Correction lecture A X K						
A5		Chellif S. Bad - AMAR	15/10/76	7 <sup>h</sup>	192	17.25	1.78	1.174	1.06	1.89	500	49.33	3.78	45.55	91.10
A6				12 <sup>h</sup> 15	184					2.07	485	41.40	3.83	37.57	77.46
A7				1 <sup>h</sup>	190					2.02	500	40.70	3.80	36.90	73.80
A8				9 <sup>h</sup>	166					2.05	500	38.22	3.75	34.47	56.94
A9				21	158					2.00	495	33.80	3.80	30.00	60.60
A10				3	192					2.05	485	30.30	3.92	26.38	54.39
A11				3	196					1.58	450	26.72	3.90	22.82	50.72
A12				3	200					1.48	500	24.40	3.87	20.53	49.06
A13				4	173					1.44	500	27.48	3.80	23.68	47.36
A14				4	169					1.43	470	18.29	4.02	14.27	30.36
A15				4	185					1.42	490	19.22	3.55	15.67	31.77
A16				5	176					1.52	490	15.29	3.72	11.57	23.61
A17				5	167					1.78	495	16.20	3.78	12.42	25.09
A18				5/10/76	18 <sup>h</sup>	161	17.25	1.42	1.174	1.50	490	11.70	3.49	8.21	16.57
A19					7 <sup>h</sup>	160				1.75	500	12.70	3.70	9.00	18.00
A20					152					1.76	500	12.28	3.70	8.58	17.16
A21					147					1.76	500	13.67	3.62	10.05	20.10
A22					145					1.62	500	17.60	3.72	14.38	28.76
A23					135					1.60	490	14.28	3.68	10.60	21.63
A24					129					1.86	490	10.80	3.78	7.02	14.32
A25					186					1.87	485	8.60	3.59	5.01	10.22
A26					155					2.00	495	6.52	3.85	2.67	5.50
A27					115					2.30	490	6.00	3.68	2.32	4.73
A28					120					2.34	495	7.92	3.72	4.20	8.48
A29					111					2.48	500	10.10	3.82	6.28	12.56
A30					135					1.72	500	33.74	3.99	29.78	59.56

NEVOURH - B. RUE DUJON B.E.O.

Analysées par :

CRUE N° 24 du 27.09.1976 AU 11.10.1976

Fig. III.1:



### **III.4 Constitution d'un fichiers de crues :**

#### **III.4.1 Sélection des crues :**

Pour les besoins de cette étude nous avons procédé au dépouillement, tracé et calcul de toutes les crues observées durant toutes la période 70-82 ( 12 ans ). Elle sont au total de 51 crues .

La durée de ces crue varie de 1 à 15 jours, dans notre cas nous considérons la crue comme étant toute augmentation de la hauteur d'eau par rapport au niveau initial.

On note que les crues varient d'une année à autre en charriant une quantité de sédiments variable dans le temps.

Il est à remarquer aussi que nous ne disposons pas de toutes les données du transport solide ( concentration ) lors des crues et notamment les crues torrentielles .

Le régime de l'oued Ech Chélif étant très turbulent et très torrentiel, il est difficile à l'opérateur vu les moyens mis à sa disposition de procéder à un prélèvement d'échantillons .

En principe , ce prélèvement se fait quotidiennement par les techniciens de L'A.N.R.H en bordure de l'oued dans des bouteilles en matière plastique.

En crues modérées il se fait plusieurs fois par jours à chaque fois que le bief monte de 10 cm .

Toutes les données à la station de Sidi Bel- Attar ont été mise à notre disposition par L'A.N.R.H.

**III.4.2 Classification et Analyse des crues :**

Compte - tenu de l'influence saisonnière sur le phénomène du transport solide , nous avons naturellement cherché pour les 51 crues sélectionnés à la station étudiée les regroupements suivant les 4 saisons ,Tableau ( Tab.III.3 )

1. Automne ( Septembre , Octobre , Novembre )
2. Hivers ( Décembre , Janvier , Février )
3. Printemps ( Mars , Avril , Mai )
4. Eté ( Juin , Juillet , Aout )

**Répartition des crues**

Année	Crues annuelles	Numéro de crue saisonnière		
	Numéro	( 1 )	( 2 )	( 3 )
70 / 71				
71 / 72	1			1
72 / 73	2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8 - 9	2	3 - 4 - 5 - 6	7 - 8 - 9
73 / 74	10 - 11 - 12		10	11 - 12
74 / 75	13 - 14 - 15 - 16 - 17	13	14	15 - 16 - 17
75 / 76	18 - 19 - 20 - 21 - 22 - 23	18	19 - 20 - 21	22 - 23
76 / 77	24 - 25 - 26 - 27 - 28	24 - 25 - 26	27 - 28	
77 / 78	29 - 30 - 31 - 32 - 33	29	30 - 31	32 - 33
78 / 79	34 - 35 - 36 - 37 - 38 - 39	34	35 - 36 - 37	39
79 / 80	40 - 41 - 42 - 43 - 44 - 45	40 - 41 - 42	43 - 44	45
80 / 81	46 - 47 - 48 - 49		46 - 47 - 48 - 49	
81 / 82			50 - 51	

Tab.III.3

**III.4.2.1 Caractéristiques des crues :**

Le tableau ( Tab.III.4 ) rassemble les différentes caractéristiques des crues échantillonnées :

- ◆ Le débit minimum
- ◆ débit moyen
- ◆ débit maximum
- ◆ l'écart type .

Tab.III.4

N <sup>cm</sup> de la cure	Q <sub>min</sub> ( m <sup>3</sup> /n)	Q <sub>max</sub> (m <sup>3</sup> /n)	Q <sub>moy</sub> (m <sup>3</sup> /n)	Ecart type
1	77,0	449	201,15	104,07
2	17,1	115	58,91	39,115
3	27,0	217	110,39	60,13
4	48,5	282	118,17	75,67
5	42,5	520,0	216,28	154,52
6	61,9	588,60	204,93	140,24
7	44,0	128,00	80,1	31,86
8	47,5	225,00	130,44	57,28
9	37,3	365,00	137,00	107,06
10	35,6	192,00	82,26	52,15
11	34,0	1760,00	615,02	607,95
12	41,2	294,00	109,80	85,48
13	3,68	14,00	07,62	03,47
14	13,05	52,5	32,63	37,34
15	16,7	264,25	108,80	82,83
16	45,9	565,00	138,89	141,18
17	12,2	176,00	45,39	50,31
18	7,4	63,9	24,04	14,58
19	12,8	250,00	37,28	53,13
20	27,26	1109,20	410,84	300,39
21	51,67	585,90	231,45	189,10
22	8,2	41,9	21,41	08,43

23	4,48	36,6	12,71	09,70
24	5,30	309,00	54,68	82,45
25	4,60	26,60	14,20	07,57
26	6,74	715,00	154,18	165,12
27	14,90	167,10	54,43	51,05
28	32,00	595,30	131,65	169,63
29	10,90	190,50	47,35	60,30
30	15,70	224,60	50,82	41,79
31	14,60	380,00	111,32	108,09
32	13,70	324,80	80,49	91,41
33	8,6	169,40	62,65	51,79
34	3,81	49,50	26,41	15,21
35	06,20	58,80	22,68	16,34
36	11,30	81,00	33,49	19,40
37	20,00	44,30	26,76	09,25
38	16,60	1417,30	412,47	413,84
39	13,40	112,20	42,45	33,83
40	05,80	131,40	48,00	41,41
41	04,60	59,90	20,56	16,79
42	10,50	73,50	28,12	19,39
43	13,40	1030,50	162,92	186,56
44	24,40	295,62	105,72	48,57
45	17,20	508,80	124,97	152,34
46	10,00	476,02	209,20	154,66
47	35,16	485,12	202,32	140,29
48	29,5	147,00	72,03	42,91
49	21,00	235,80	116,72	68,67
50	05,86	282,00	55,63	88,33
51	07,30	152,20	58,59	54,96

Chapitre IVORGANIGRAMME GENERAL

- 1- Organigramme principal.
- 2- Organigramme d'élaboration des deux échantillons ( pour la montée et la descente de la crue )
- 3- Organigramme d'élaboration du modèle  $Q_s=f(Q)$  .
- 4- Organigramme de l'étude fréquentielle des débits liquides.
- 5- Organigramme d'estimation des apports solides en suspension.

NOTATIONS :

$Q_s$  : Débit solide en suspension.

$Q$  : Débit liquide instantané.

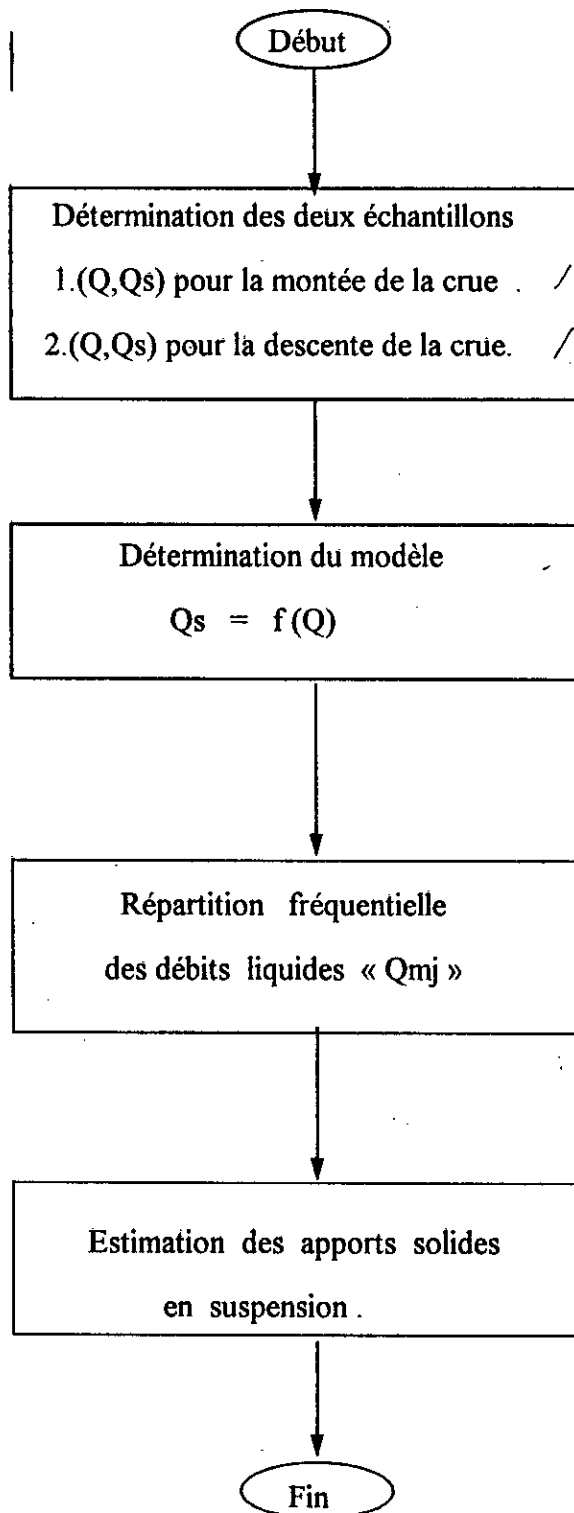
$Q_{mj}$  : Débit liquide moyen journalier.

$Q_s = f(Q)$  : Modèle.

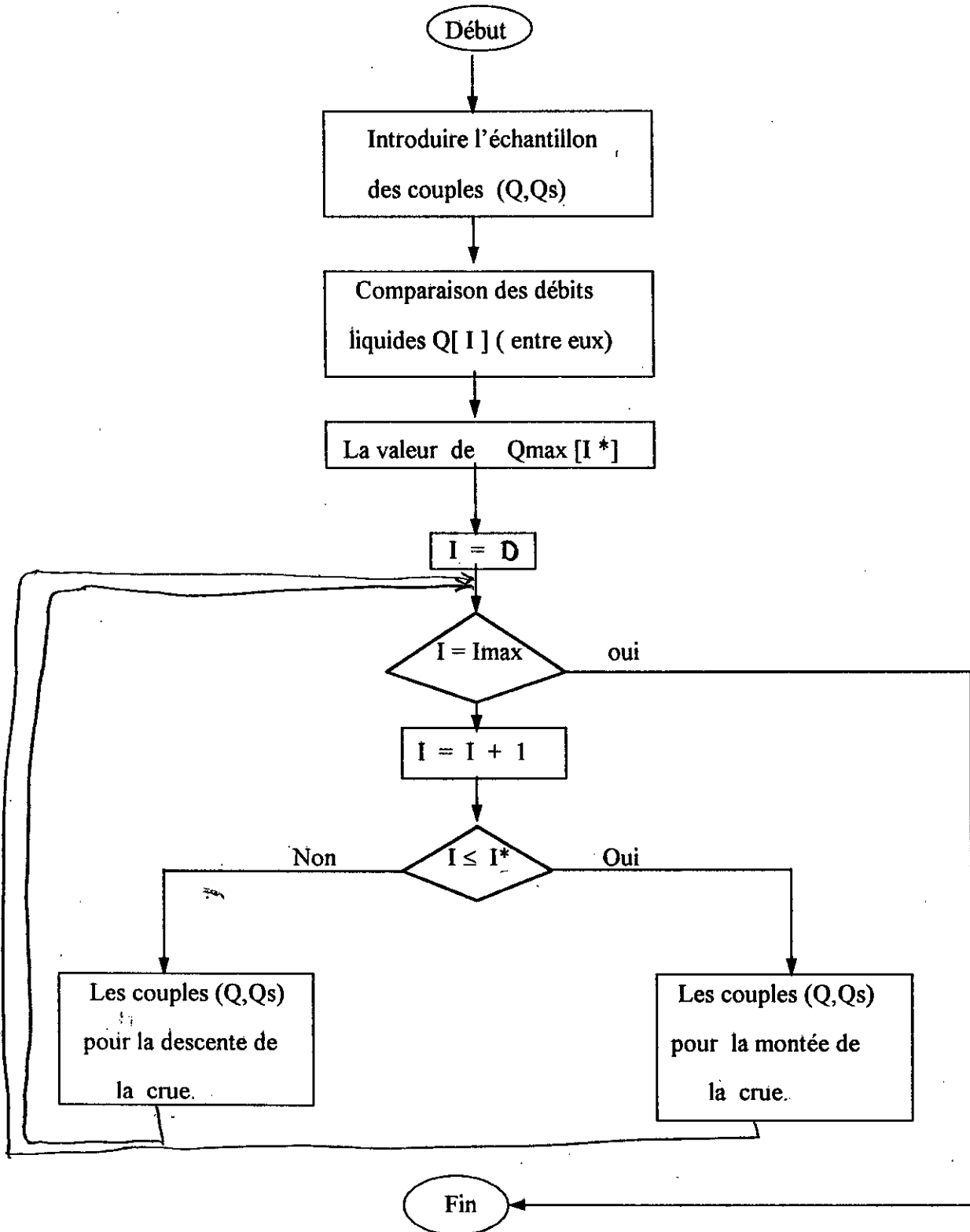
$K$  : Nombre de classes des débits  $Q$ .

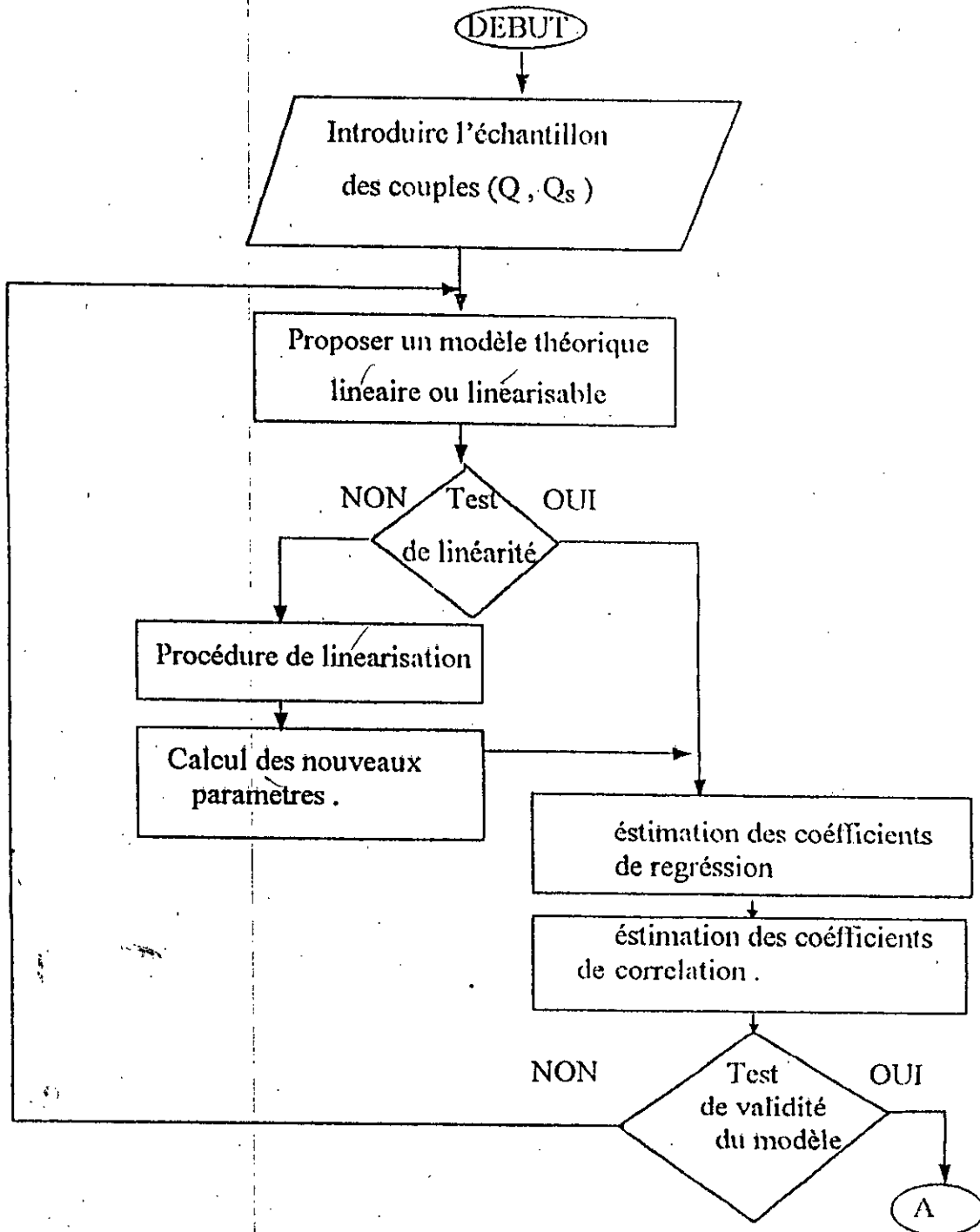
$H$  : Amplitudes des classes.

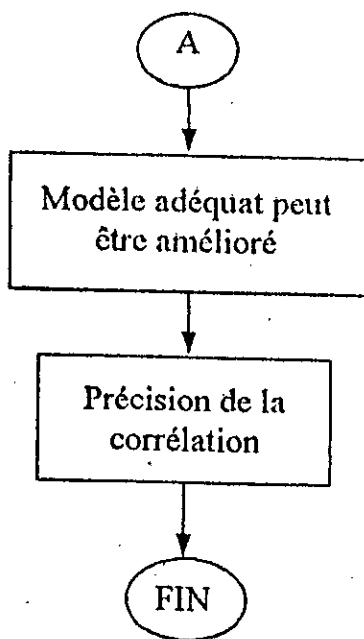
$E$  : Etendu de l'intervalle de fréquence.

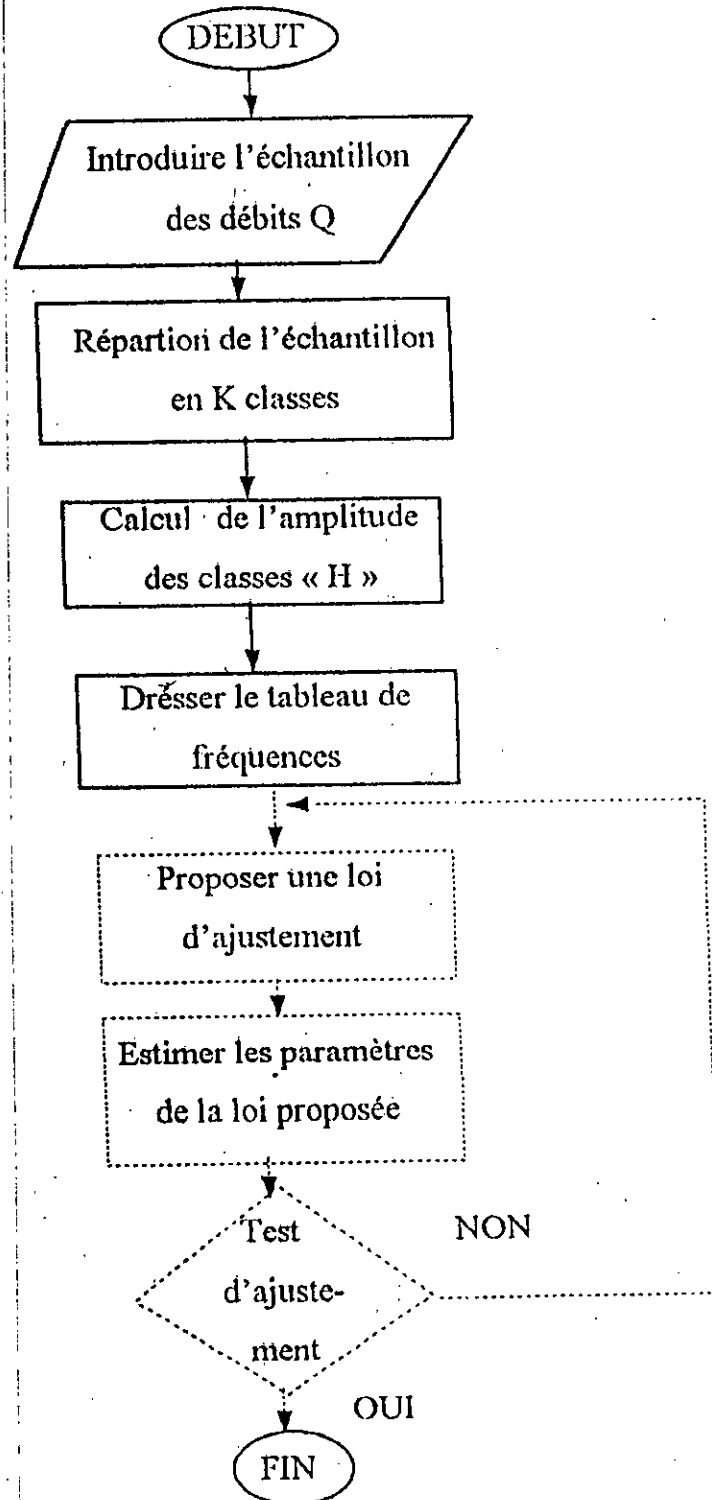
**IV.1 Organigramme principal :**

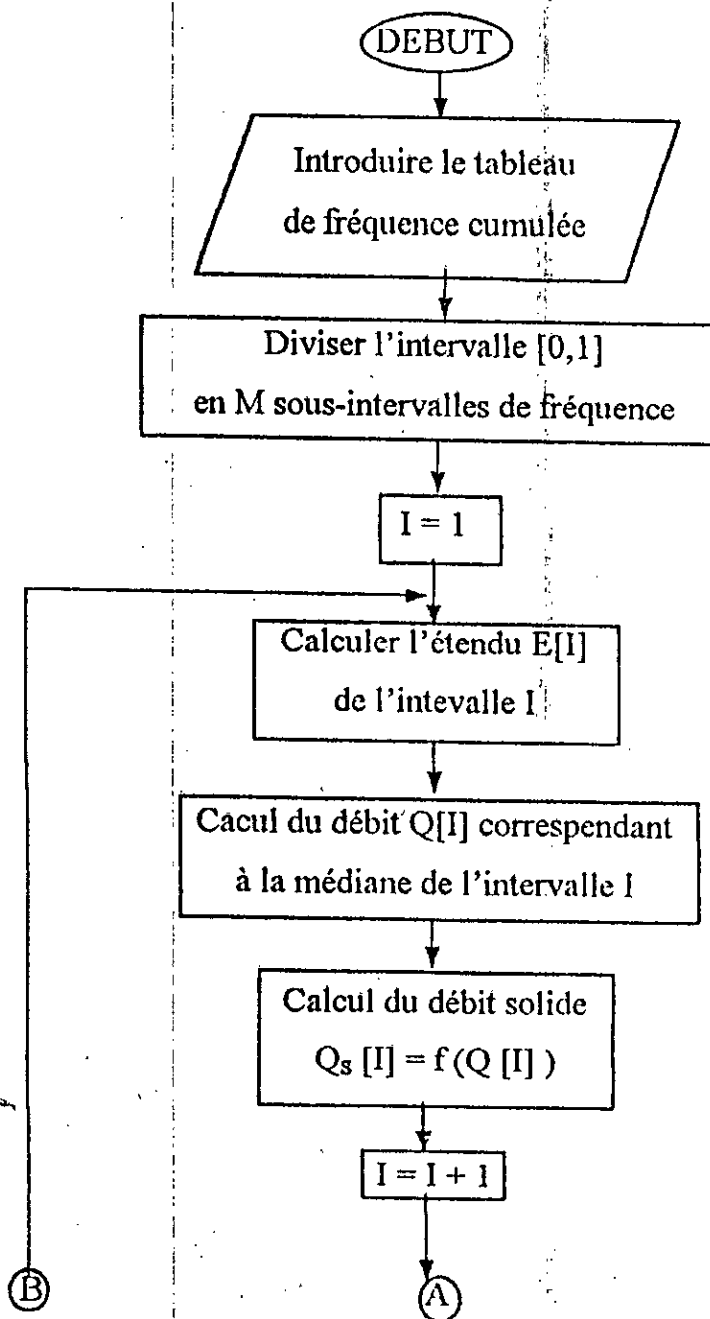


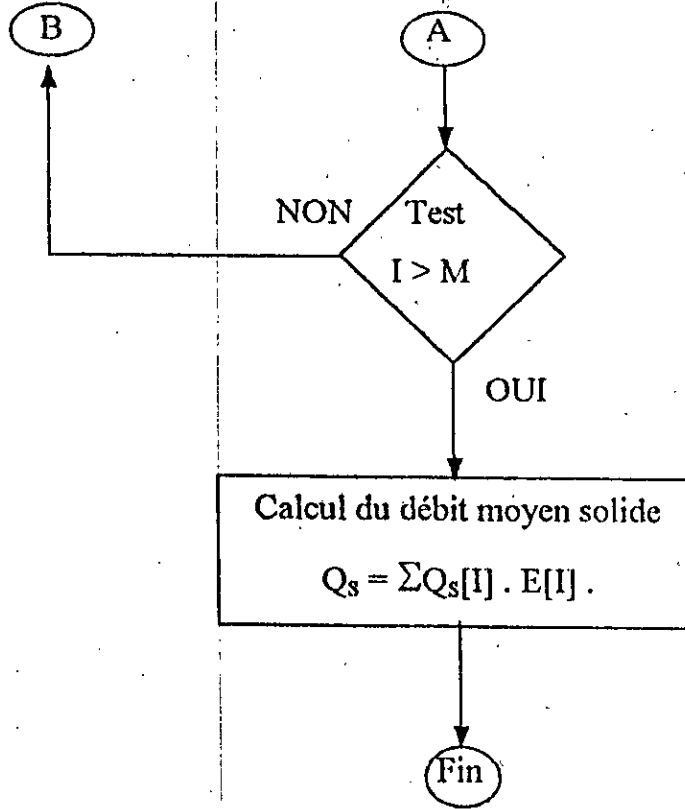
**IV.2 Organigramme d'élaboration des deux échantillons :**

**IV.3 Organigramme d'élaboration du modèle :**



**VI.4 Organigramme d'étude fréquentielle des débits. :**

**IV.5 Organigramme d'estimation des apports solides en suspension :**



## Chapitre V

### V. Etude statistique et mise au point des relations :

#### V.1 Ensemble de données - relation interannuelle:

##### V.1.1 Recherche de la relation débit solide - débit liquide :

Pour cette première tentative d'approche, on a essayé de relier les données des débits solides en fonction de celles des débits liquides, c'est-à-dire, la recherche d'une loi de régression en utilisant les crues dans leurs totalité, soient 51 crues depuis Septembre 70 jusqu'à Août 82.

Nous avons dans notre fichier 6700 couples de valeurs de débit solide et de débit liquide. La figure( Fig.V.1) illustre une analyse en corrélation de toutes ces données.

Nous considérons dans notre travail deux cas:

- ◆ la montée de la crue .
- ◆ la descente de la crue .

Les résultats obtenus montrent qu'une telle homogénéisation est possible, les coefficients de détermination - corrélation - pour la droite d'ajustement sont 0,84 pour la montée ,figure (Fig.V.2.a) et 0,77 pour la descente de la crue , figure (Fig.V.2.b) .

Les résultats obtenus pour cette première approche sont représentés dans le tableau ci-dessous (Tab.V.3) .

Avec :  $Q_{mj} \text{ (moy)} = 39,48 \text{ m}^3 / \text{s} .$

L'ecart type  $\sigma = 86,89 \text{ m}^3 / \text{s} .$

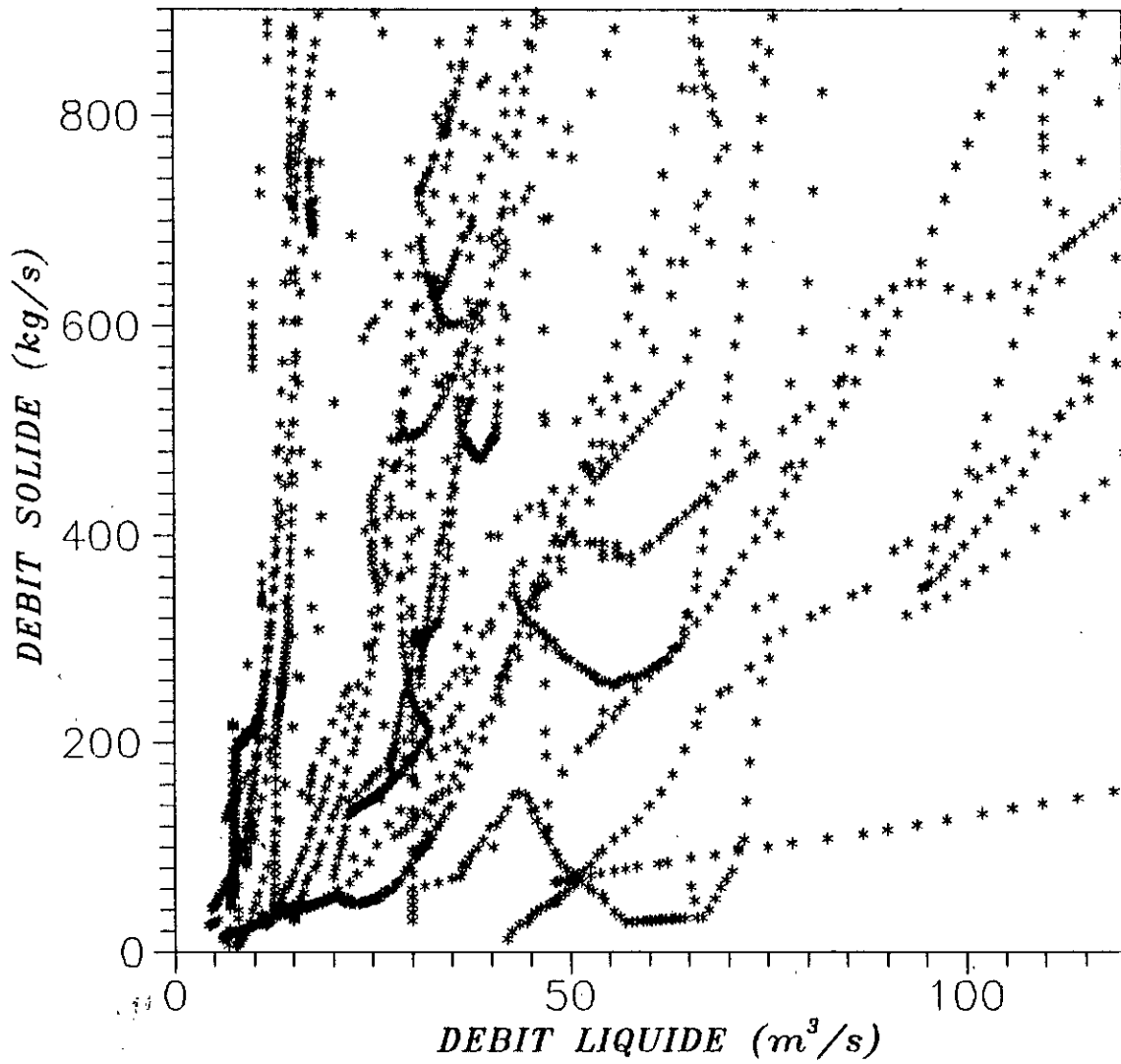


FIG.V.1:

REPARTITION DES DONNEES  
(BASSIN CHELLIF\* STATION SIDI BEL-ATTAR \*)



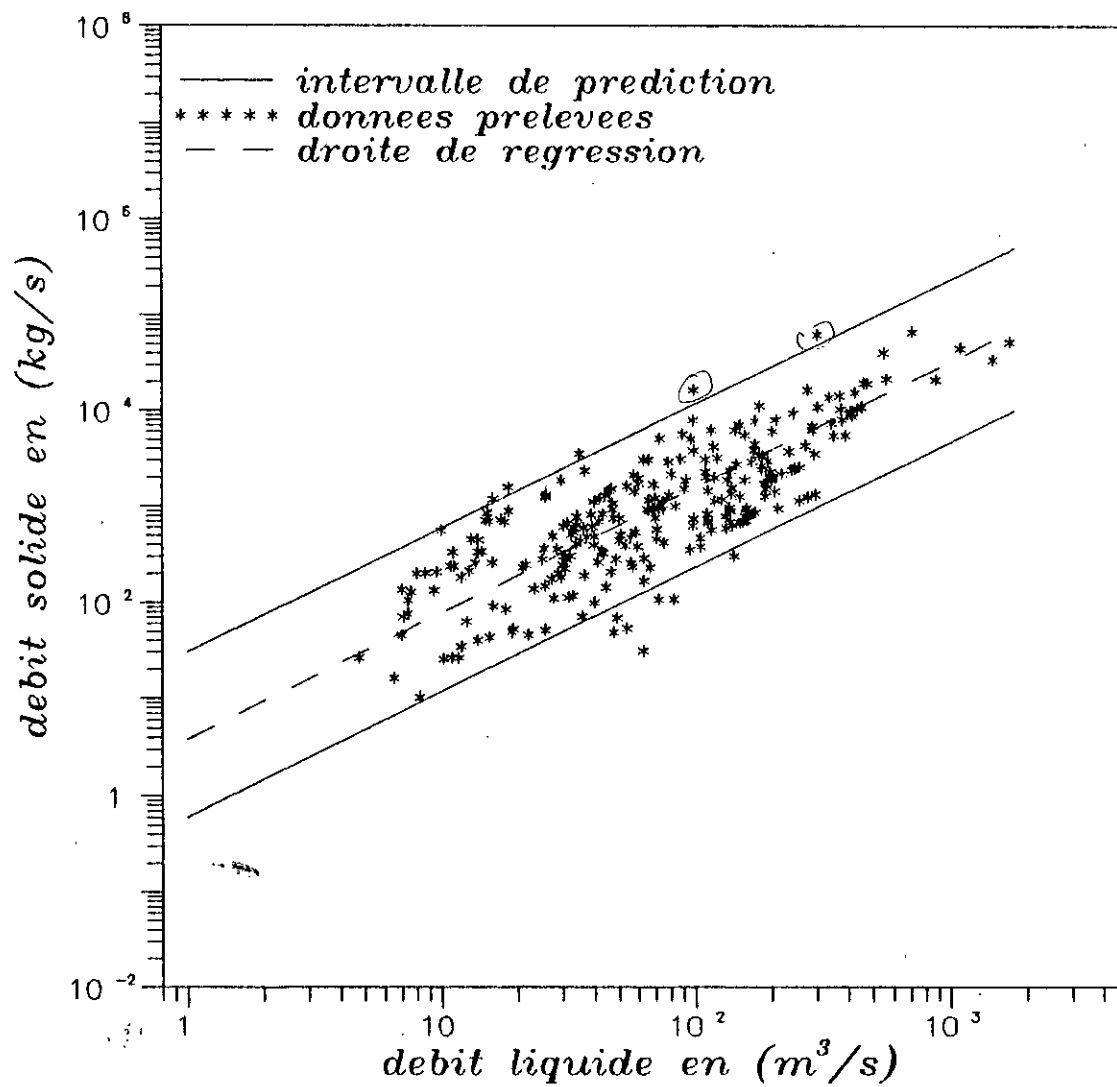


FIG.V.5:

## L'INTERVALLE DE PREDICTION

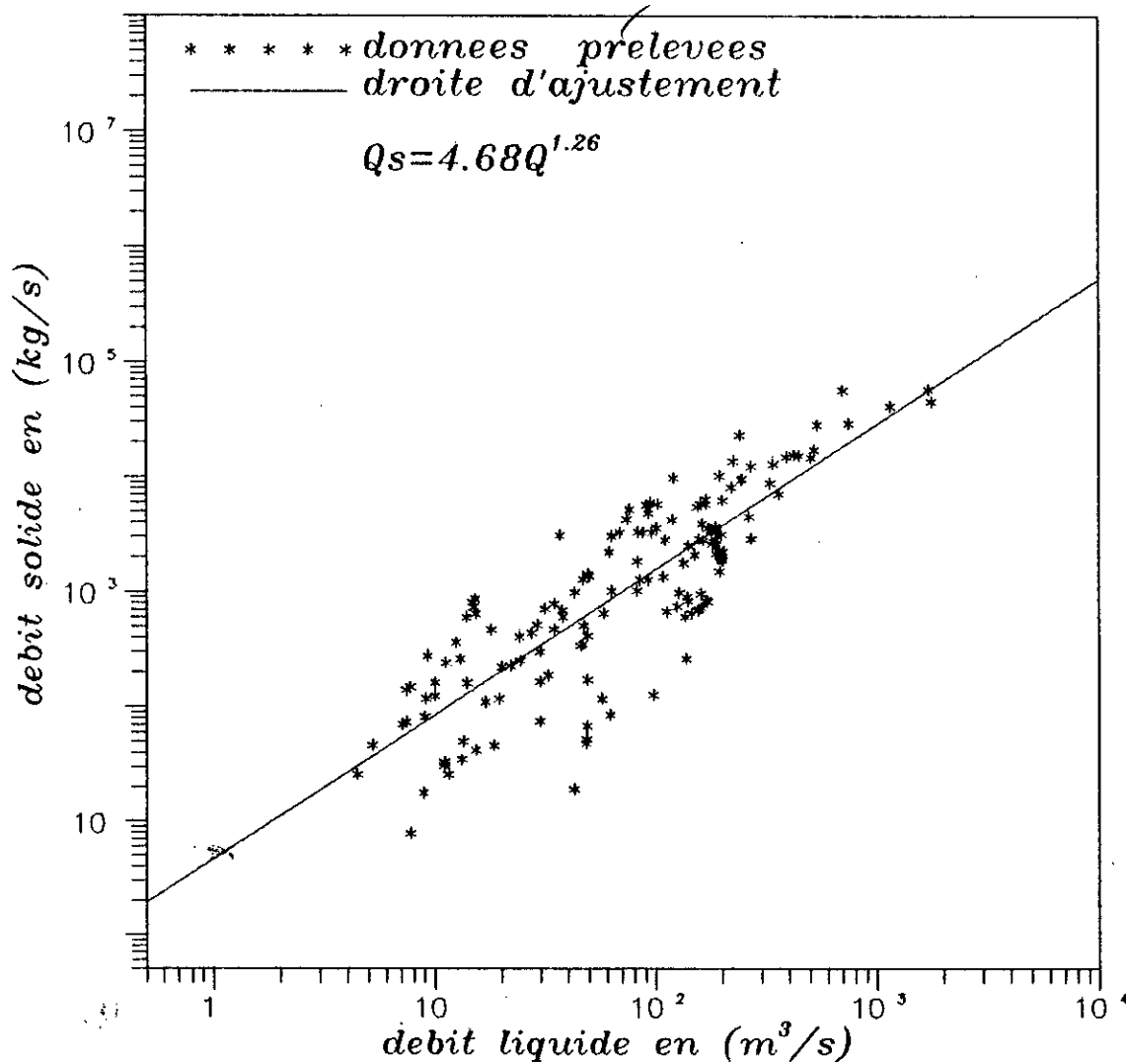


FIG.V.2.a:

DROITE DE REGRESSION DEBIT SOLIDE-DEBIT LIQUIDE  
pour la mantee de la crue  
(BASSIN CHELLIF \* station sidi bel-attar \*)

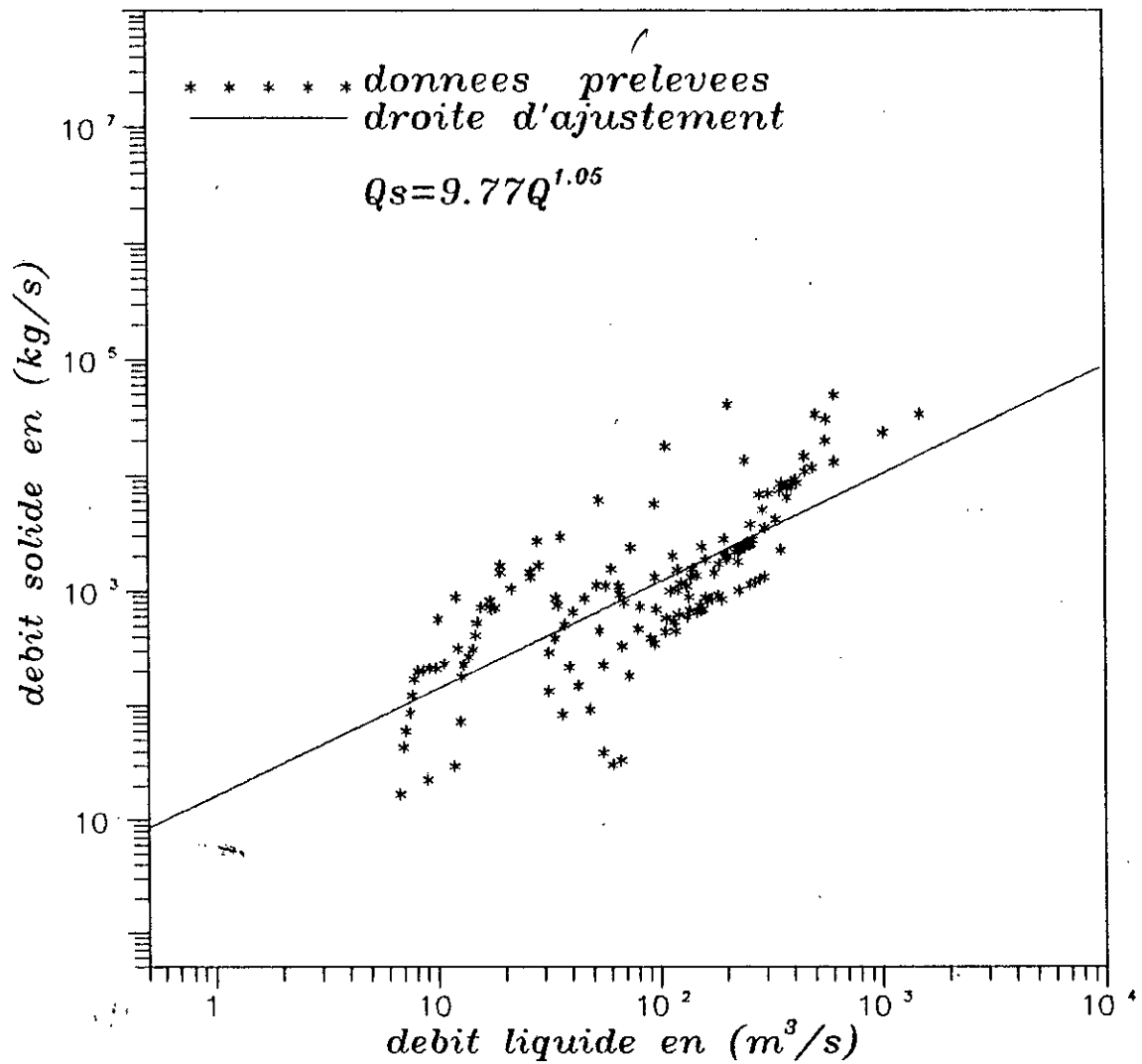


FIG.V.2.b:  
DROITE DE REGRESSION DEBIT SOLIDE-DEBIT LIQUIDE  
pour la descente de la crue  
(BASSIN CHELLIF \* station sidi bel-attar \*)

$$\text{et } \begin{cases} \bar{Q} & \pm 1,97 \text{ m}^3 / \text{s} . \\ \bar{\sigma} & \pm 4,34 \text{ m}^3 / \text{s} . \end{cases}$$

## Relations interannuelles

	Coefficient de corrélacion « r »	Coefficients de la droite d'ajustement		Relation $Q_s = A \cdot Q^B$
		A	B	
M	0,84	4,68	1,26	$4,68 \cdot Q^{1,26}$
D	0,77	9,77	1,05	$9,77 \cdot Q^{1,05}$

Tab.V.3

- ♦ M : Montée de la crue .
- ♦ D : Descente de la crue .

**V.1.2 Estimation des apports solides :**

Les deux modèles ;

♦  $Q_s = 4,68 \cdot Q^{1,26}$  ————— Pour la montée de la crue .

♦  $Q_s = 9,77 \cdot Q^{1,05}$  ————— Pour la descente de la crue .

combinés avec la courbe des débits classés ,figure (Fig.V.4) , suivant les étapes déjà citées ,donnent les résultats suivants ,tableau (Tab.V.5) .

## Apport solide interannuel

	$Q_s$ (Kg / s)	$Q_s$ (M.T /an)	$Q_{sc}$ (M.T/an)	$Q_s$ total (M.T/an)
M	560,51	17,68	5,3	22,98
D	475,04	14,98	4,49	19,48

Tab.V.5

- ♦  $Q_{sc}$  : Débit de charriage estimé à 30 % de l'apport solide en suspension .  
Soit un taux spécifique  $q_s$  de :

$$q_s = 971,62 \text{ t / Km}^2 \text{ /an}$$

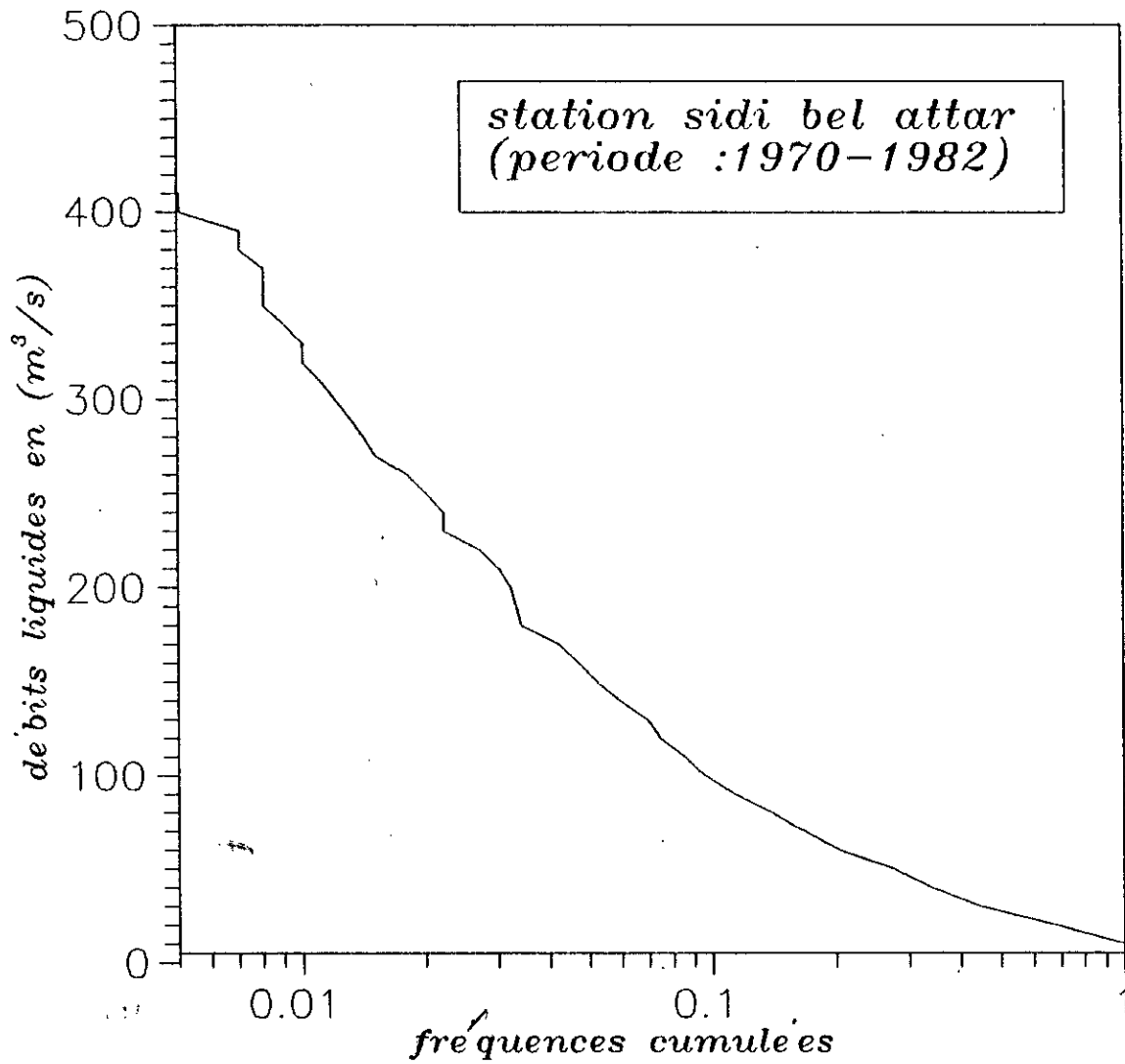


FIG.V.4:

COURBE DES DEBITS CLASSES  
(BASSIN CHELLIF\* STATION SIDI BEL-ATTAR\*)

**V.2 Données saisonnières sur la période d'observation :****V.2.1 Relations saisonnières :**

Nous avons continué notre démarche de travail en espérant de trouver une relation assez étroite entre les débits solides «Qs » et les débits liquides «Q » .

L'analyse générale des données relatives à la quantité des sédiments charriés et aux débits des crues suggèrent d'abord séparément l'analyse en corrélation, après avoir distingué les crues appartenant aux différentes saisons (Automne - Hiver - Printemps) données précédemment , tout en séparant la montée de la crue et la descente de la crue .

La tableau ( Tab.V.6 ) donne pour la station (Sidi Bel-Attar) le nombre de points par fichier, les valeurs des coefficients de régressions des relations saisonnières, les coefficients de corrélation ainsi que les équations de régression . Voir annexe.I .

Relations saisonnières .

Saisons		Nombre de points	Coefficient de la droite d'ajust.		coefficient de corrélation	Relation $Q_s = A Q^B$
			A	B		
(1)	M	180	0,72	1,79	0,91	$1,79 Q^{0,72}$
(1)	D	778	4,79	1,41	0,82	$1,41 Q^{4,79}$
(2)	M	528	2,82	1,38	0,82	$1,38 Q^{2,82}$
(2)	D	567	1,41	1,46	0,77	$1,46 Q^{1,41}$
(3)	M	581	1,15	1,47	0,88	$1,47 Q^{1,15}$
(3)	D	904	7,08	1,07	0,83	$1,07 Q^{7,08}$

Tab.V.6

♦ M : Montée de la crue , D : Descente de la crue .

**V.2.2 Estimation des apports solides saisonniers :**

Le tableau ( Tab.V.7 ) donne la série saisonnière des débits liquides moyens journaliers . Pour les courbes des débits classés saisonniers . Voir annexe.II .

Série saisonnière des débits liquides .

Saisons	Moyenne avec [] de confiance	Ecart type avec intervalle
( 1 )	41,20 ± 5,77	45,42 ± 1,68
( 2 )	41,22 ± 5,35	78,98 ± 2,98
( 3 )	41,24 ± 4,74	86,36 ± 3,35

Tab.V.7

Le tableau (Tab.V.8) donne les apports solides en suspension à l'échelle saisonniere .

Calcul Saisonnier des charges .

Saisons		( 1 )	( 2 )	( 3 )
<sup>3</sup> Qe ( m / s )		18,21	44,23	36,08
Qss (Kgs/s)	M	443,89	755,48	341,98
	D	482,07	563,12	344,74

Tab.V.8

♦ M : Montée de la crue , D : Descente de la crue .



### V.3 Recherche d'une relation annuelle :

Une nouvelle tentative d'approche a été essayé c'est celle de relier le débit solide par année en fonction du débit liquide.

Pour cela nous avons représenté les données graphiquement année par année, montrant ainsi la forme que pourraient avoir.

Nous présentons ici deux figures qui semblent les plus représentatives, celle de l'année ( 73 - 74 ) ; la figure ( Fig.A.3.1 ) ,pour la montée de la crue et la figure ( Fig.A.3.2 ) pour la descente de la crue .

Les autres graphiques de régression sont donnés en annexe III .

Pour ce travail, nous considérons toujours la montée de la crue et la descente de la crue.

Nous avons calculé et regroupé dans le tableau ( Tab.V.9 ) les données nécessaires ; coefficients de corrélation, coefficients de la relation de régression....

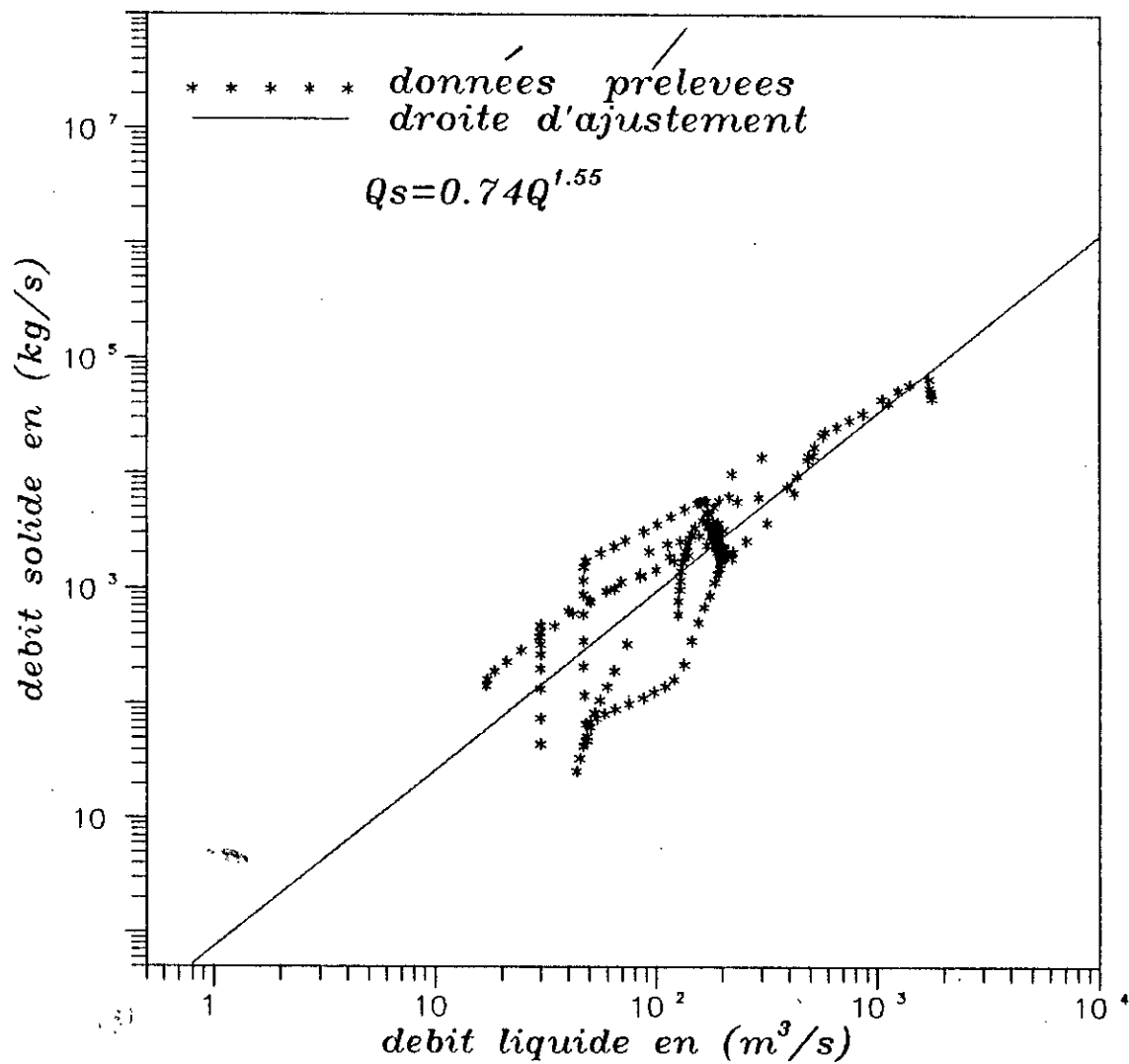


FIG.A.3.1:  
DROITE DE REGRESSION DEBIT SOLIDE-DEBIT LIQUIDE  
pour la montée de la crue  
(BASSIN CHELLIF \* ANNEE 73-74 \* )

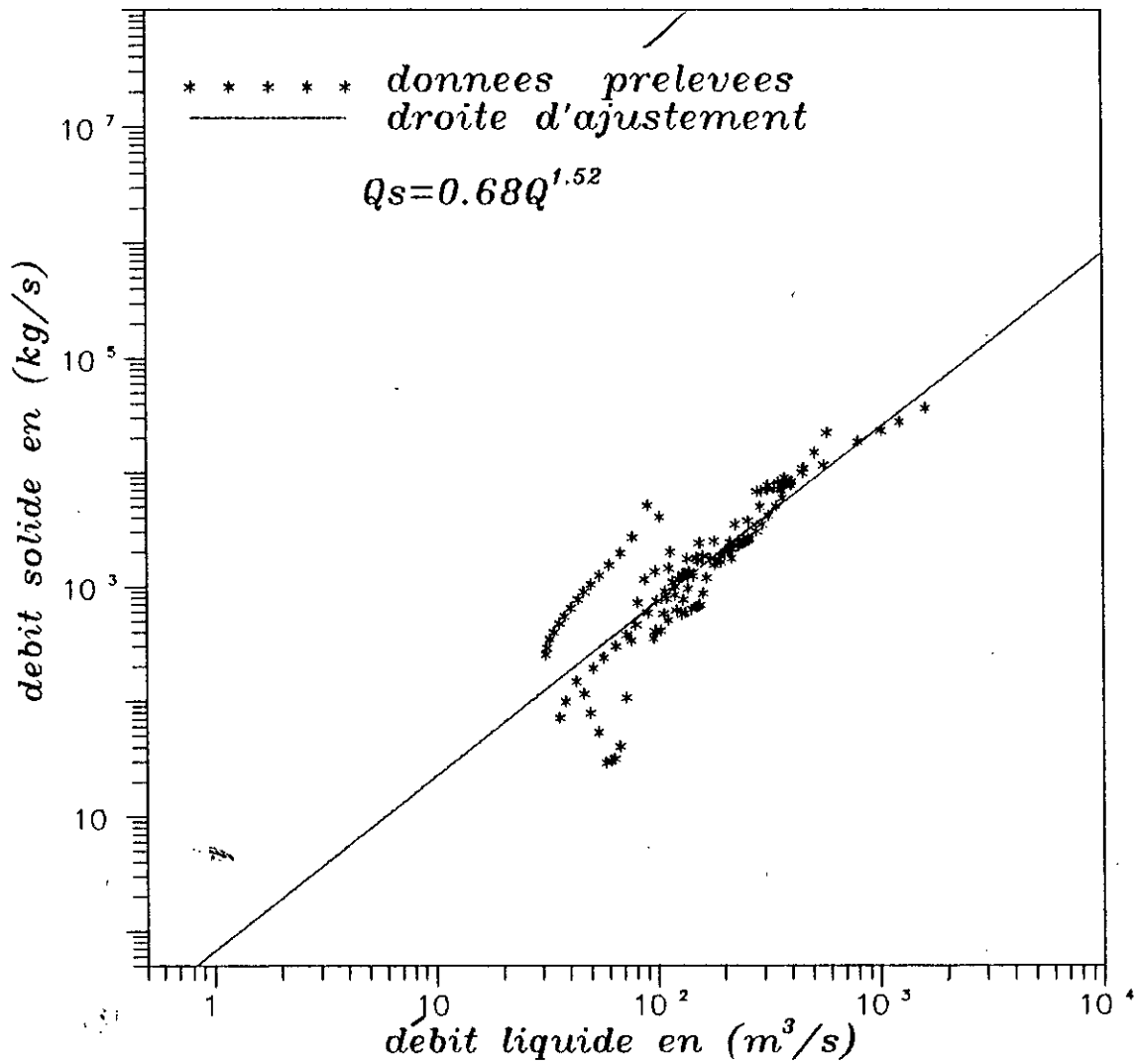


FIG.A.3.2:  
DROITE DE REGRESSION DEBIT SOLIDE-DEBIT LIQUIDE  
pour la descente de la crue  
(BASSIN CHELLIF \* ANNEE 73-74 \* )

## Relation annuelle

		Coefficient de corrélacion	Coefficients de régression		Relation $Q_s = A \cdot Q^B$
Année		r	A	B	
73-74	M	0,85	0,74	1,55	$0,74 Q^{1,55}$
73-74	D	0,85	0,68	1,52	$0,68 Q^{1,52}$
75-76	M	0,95	0,19	2,22	$0,19 Q^{2,22}$
75-76	D	0,73	4,07	1,4	$4,07 Q^{1,4}$
76-77	M	0,90	7,24	1,41	$7,24 Q^{1,41}$
76-77	D	0,86	16,59	1,15	$16,59 Q^{1,15}$
77-78	M	0,94	0,71	1,80	$0,71 Q^{1,80}$
77-78	D	0,85	0,63	1,74	$0,63 Q^{1,74}$
78-79	M	0,91	0,23	1,39	$0,23 Q^{1,39}$
78-79	D	0,85	0,09	2,29	$0,09 Q^{2,29}$
79-80	M	0,96	1,54	1,59	$1,54 Q^{1,59}$
79-80	D	0,74	20,89	0,96	$20,89 Q^{0,96}$

Tab.V.9

Le tableau (Tab.V.10) ci-dessous résume les charges annuelles en suspension .

Calcul Annuel des charges en sédiments.							
Années		73 - 74	75 - 76	76 - 77	77 - 78	78 - 79	79 - 80
Qss (kgs/s)	M	327,37	2219,57	1680,41	1029,59	924,94	824,78
	D	259,70	903,12	1223,78	686,18	1595,57	695,98

Tab.V.10

#### V.4 Interprétation des résultats :

D'abord on note que plusieurs Auteurs ont essayé de trouver des relations qui peuvent lier le transport solide et le débit liquide - autres facteurs - .

Les résultats obtenues pour le modèle d'ajustement de l'ensemble des données à la station étudiée sont assez significatifs du fait qu'on trouve un coefficient de détermination de 0,81 pour la montée de la crue ( sur toute la série du fichier ) et de 0,77 pour la descente de la crue .

A l'échelle saisonnière et pour toute la série de données ,de bons résultats ont été obtenus pour le modèle d'ajustement débit solide - débit liquide . Bien que le degré de signification du coefficient de détermination varie d'une saison à l'autre , on trouve une sensible amélioration , « R » passe de 0,82 à 0,91 pour la montée de la crue et de 0,77 à 0,83 pour la descente de la crue (caractéristique du sol , caractéristique de la liaison , série de données importante et propre à la saison ).

La recherche du modèle d'ajustement débit solide - débit liquide à l'échelle annuelle donne des résultats satisfaisants . Ainsi le coefficient de corrélation passe à 0,96 pour la montée de la crue et à 0,86 pour la descente .

Compte tenu des travaux faits par les ingénieurs de l'A.N.R.H , nous confirmons par ces résultats de corrélation que le modèle en puissance (  $Y = A X^B$  ) est le plus représentatif .

L'analyse des hydrogrames et turbidigrammes de toute la série de crues sélectionnées et les résultats de détermination trouvées ( valeur de R ) montrent qu'il existe une corrélation meilleure entre débit solide - débit liquide pour la montée de la crue que pour la descente de la crue .

La quantité des sédiments en suspension fournie par le bassin versant étudié donne une explication au modèle trouvé et reflète une réalité du bassin - forte susceptibilité à l'érosion , le débit spécifique étant  $qs = 971,62 \text{ t / km}^2 / \text{an}$  .

Même pour les résultats trouvés à l'échelle saisonnière, on constate un sens à l'effet saisonnier. Ainsi à la première saison apparaissent les valeurs les plus importantes : pour un débit de  $18 \text{ m}^3/\text{s}$ , l'apport solide  $Q_s$  est de  $462,98 \text{ Kg/s}$  ( $443,89 + 482,07$ ). Quant à l'apport de la deuxième saison, il diminue de plus de 50 %, pour un débit de  $44,23 \text{ m}^3/\text{s}$  on trouve un apport solide de  $Q_s = 659,3 \text{ Kg/s}$ . Enfin il est à croire que l'érosion au niveau du bassin versant du chellif est un cas particulier de l'érosion en Algérie. Dans ce sens, pour l'estimation des modèles on devra être circonspect sur leurs situations (malgré la corrélation étroite trouvée), des erreurs assez importantes pour l'évaluation de l'érosion sont encore à craindre.

## Conclusion et Recommandations

*La présente thèse vient de s'ajouter aux travaux théoriques , expérimentaux et numériques effectués dans le domaine du transport solide .*

*En nous basant sur les données observées durant la période 1970 / 1982 (une douzaine d'années ) à la station SIDI BEL - ATTAR , nous avons essayé d'apporter une contribution à la modélisation du transport solide en nous fixant comme objectifs :*

- ◆ La compréhension du phénomène .*
- ◆ Le comblement des lacunes d'observation par l'évaluations des apports solides à pas de temps horaires ( c'était la tâche la plus délicate dans ce travail puisqu'on a plus de 50 % de données manquantes qu'il convient de combler )*
- ◆ L'élaboration d'outils pratiques faciles à mettre en oeuvre pour la quantification automatique des apports solides à partir des débits liquides.*

*Dans une première étape nous avons relevé l'ensemble des crues ( toutes les données du fichier crue ) en séparant la montée de la crue et la descente de la crue , le coefficient de détermination était assez significatif : un modèle de régression a été dégagé .*

*Dans une deuxième étape nous avons essayé d'observer l'effet saisonnier, toujours en séparant la montée de la crue et la descente de la crue , la corrélation entre débit solide - débit liquide est sensiblement améliorée : un modèle de régression est établi .*

*Enfin ,une analyse de données relative à chaque année laisse apparaître une corrélation plus importante .*



Malgré ~~que~~ cette étude statistique des relations débit solide - débit liquide met en évidence une corrélation très encourageante, on voit qu'une étude plus poussée à l'échelle de l'événement de la crue doit être envisagée :

- ◆ L'échantillon ponctuel prélevé quotidiennement par les agents de l'A.N.R.H près de la berge n'est pas toujours représentatif de toute la section mouillée. Ainsi on propose une extrapolation des résultats à la section en faisant des prélèvements en différents points de la section ; la connaissance de cette loi permettra par la suite de déterminer le débit solide en suspension de la section choisie.
- ◆ IL est intéressant de reprendre l'étude en tenant compte du facteur précipitation<sub>n</sub>, puisque la pluie est le facteur actif de l'érosion des sols par l'eau et constitue la source d'énergie nécessaire à l'arrachement des particules et leur transport (on note ici que l'information pluviométrique est plus abondante que l'information hydrométrique tant par le nombre d'observations que par la longueur des séries disponibles).
- ◆ IL est aussi intéressant de faire une étude on utilisant des données limigraphique c-à-d l'élaboration des modèles débit solide - hauteur d'eau puisque l'enregistrement des hauteurs pour les différentes stations de l'A.N.R.H se fait d'une manière continue, et d'autre part d'écarter l'utilisation des courbes de tarrages.

L'étude de l'apport solide interannuel basé sur les relations trouvées donne un taux d'apport spécifique de 971,62 t / Km<sup>2</sup> / an.

Ce taux est de même ordre de grandeur que celui donné par DAMMAK 1982 et D. GOMER 1991 sur le bassin d'OUED MINA dans le bassin du Chellif.

*Les résultats trouvés pour le transport solide à l'échelle saisonnière montrent que la majorité des apports solides sont dus aux premières crues de l'Automne .*

*L'évaluations du transport solide total ne peut être qu' approximative; bien que nous disposons d'un grand nombre de données sur les concentrations en suspension , les données sur le charriage restent absentes .*

*Le charriage ne peut constituer un pourcentage constant des apports solides en suspension , comme il est généralement admis . Mais il est fonction des conditions géomorphologique et de la taille de bassin .*

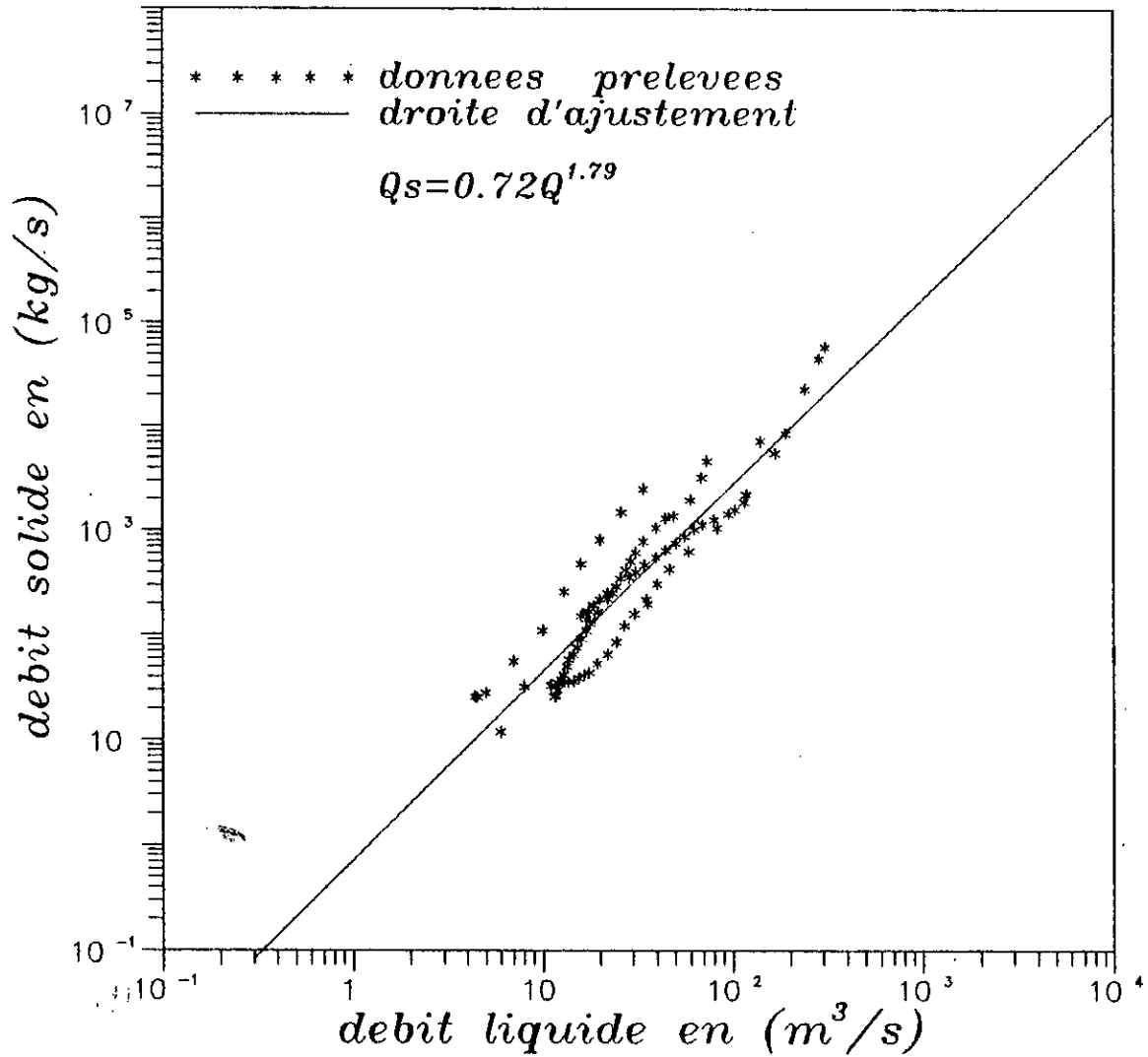
*De nombreux travaux de recherche , d'étude et d'expérimentation sur le problème de l'érosion et du transport de sédiments ont été menés dans la zone méditerranéenne et plus particulièrement dans les pays du Maghreb depuis de nombreuses années et principalement au cours de la décennie écoulée .*

*Ces études ont permis d'améliorer la compréhension scientifique de ces phénomènes d'érosion et de transport solide et de mettre au point une méthodologie d'étude et de quantification afin de mieux les combattre .*

*Notre étude ne peut être qualifiée de parfaite car elle ne représente qu'une étape à laquelle peuvent s'ajouter d'autre projets .*

*Donc ce modeste travail effectué ne prétend pas couvrir l'ensemble des problèmes présents dans le vaste domaine de l'hydraulique de la sédimentation . La contribution à la modélisation des apports solides en suspension que nous avons présentée ici a beaucoup plus l'ambition de fournir un outil de prévision des apports solides transportés par les cours d'eau ; pouvant ainsi permettre une étude plus poussée .*

# ANNEXES



**FIG.A.1.1:**  
**DROITE DE REGRESSION DEBIT SOLIDE-DEBIT LIQUIDE**  
 pour la monte de la crue  
 (BASSIN CHELLIF \* saisons d'automne \*)

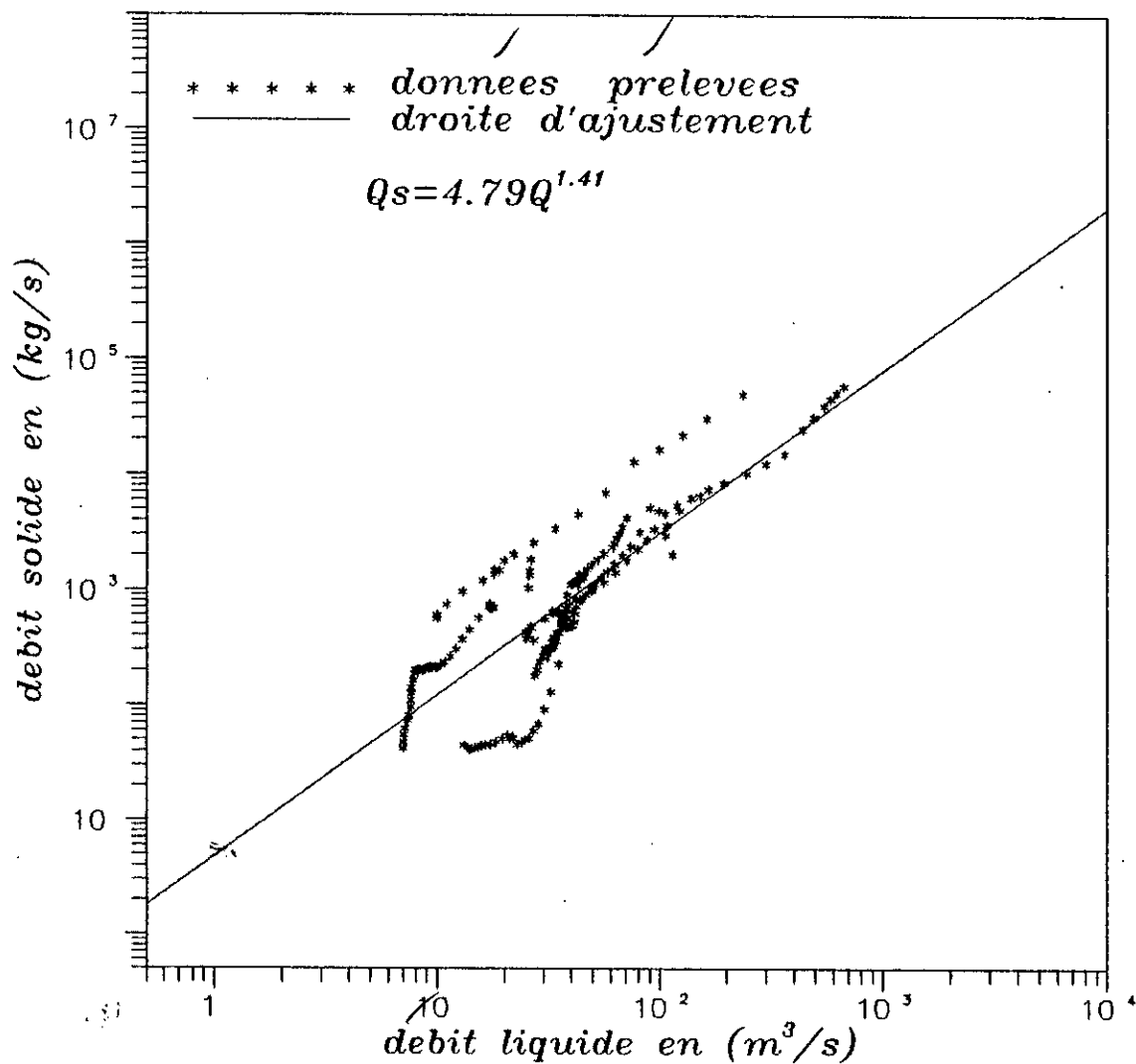
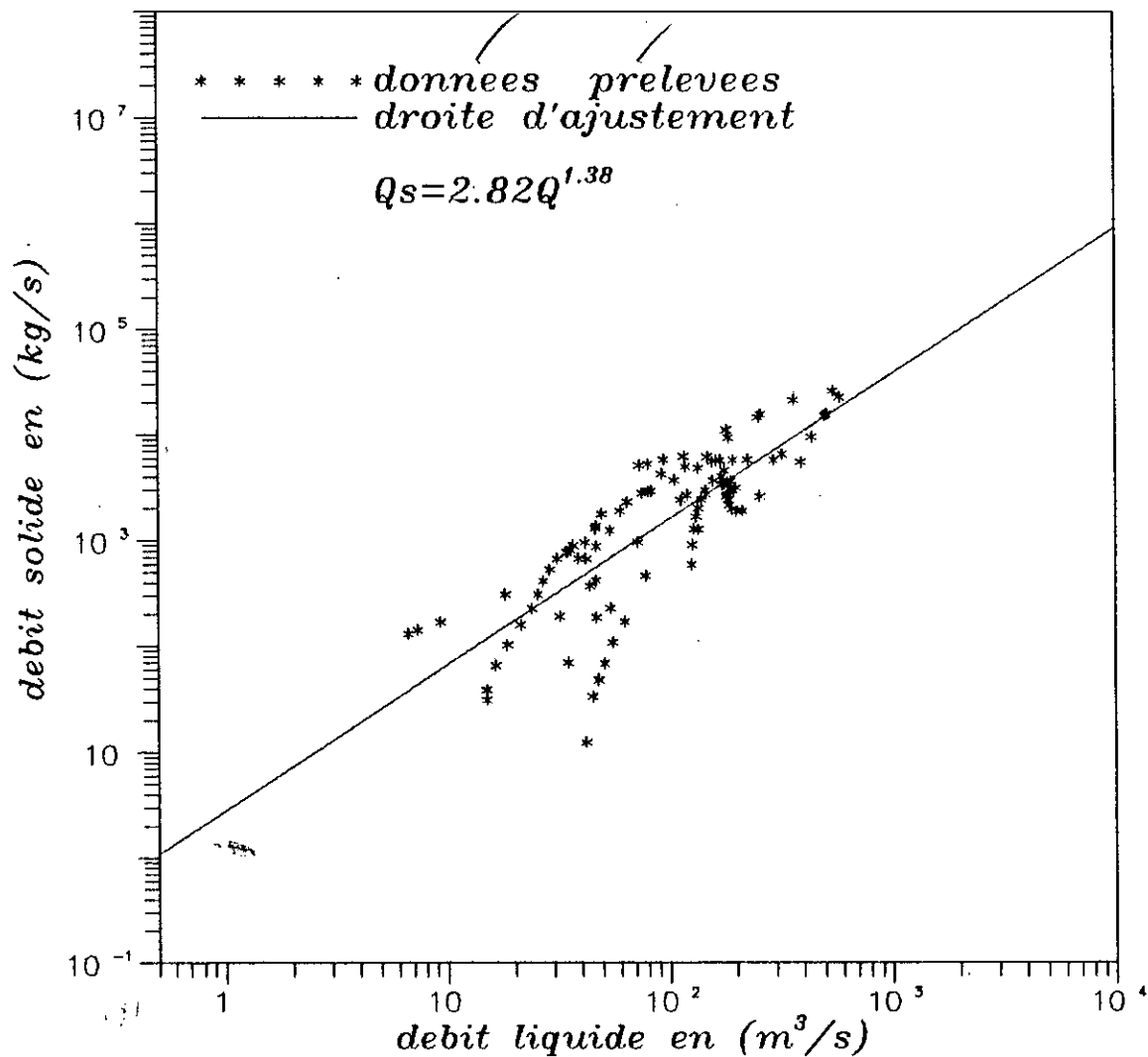


FIG.A.1.2:  
DROITE DE REGRESSION DEBIT SOLIDE-DEBIT LIQUIDE  
pour la descente de la crue  
(BASSIN CHELLIF \* saisons d'automne \*)



**FIG.A.1.3:**  
**DROITE DE REGRESSION DEBIT SOLIDE-DEBIT LIQUIDE**  
**pour la monte de la crue**  
**(BASSIN CHELLIF \* saisons d'hivers \*)**

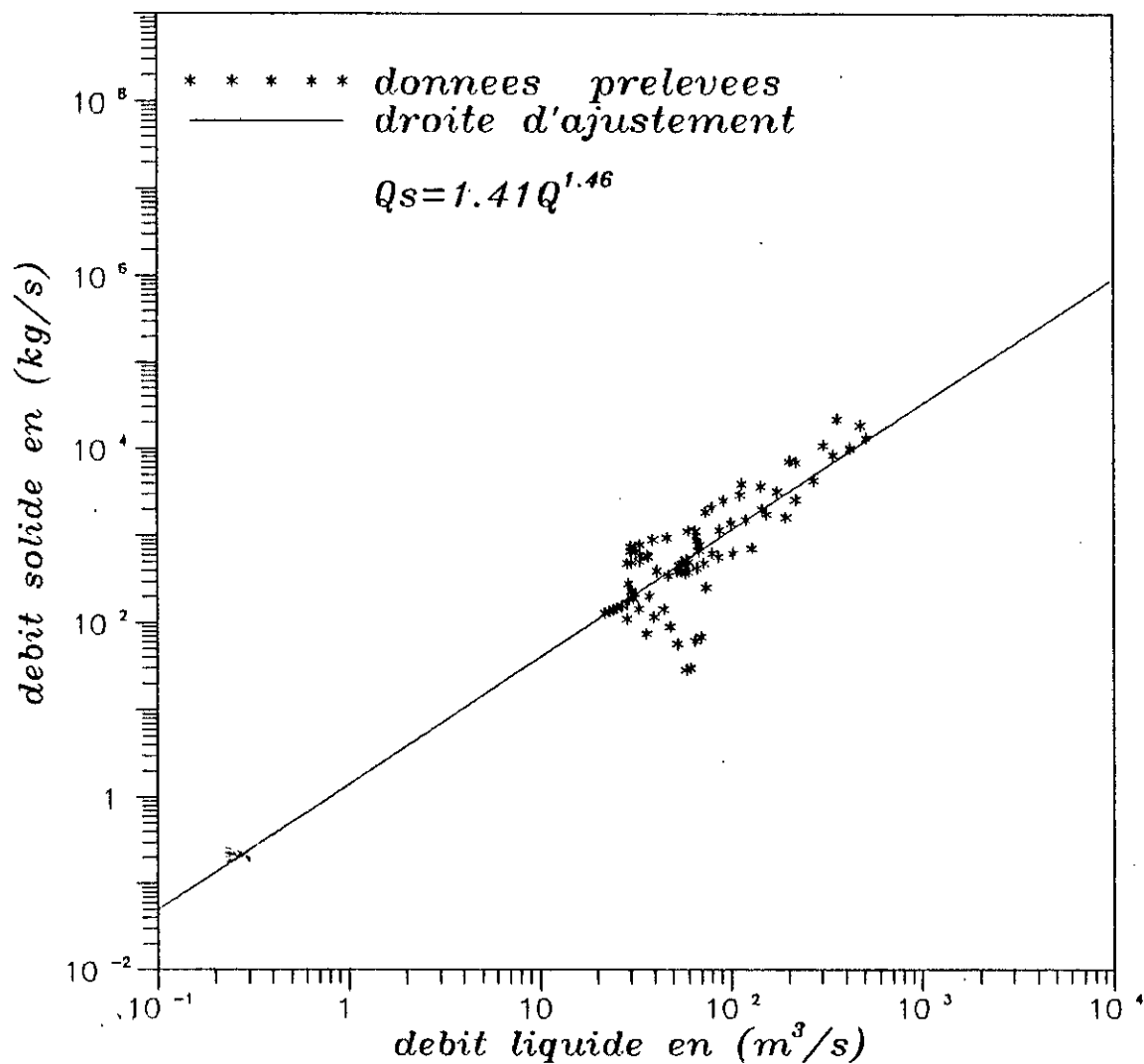


FIG.A.1.4:  
DROITE DE REGRESSION DEBIT SOLIDE-DEBIT LIQUIDE  
pour la descente de la crue  
(BASSIN CHELLIF \* saisons d'hivers \*)

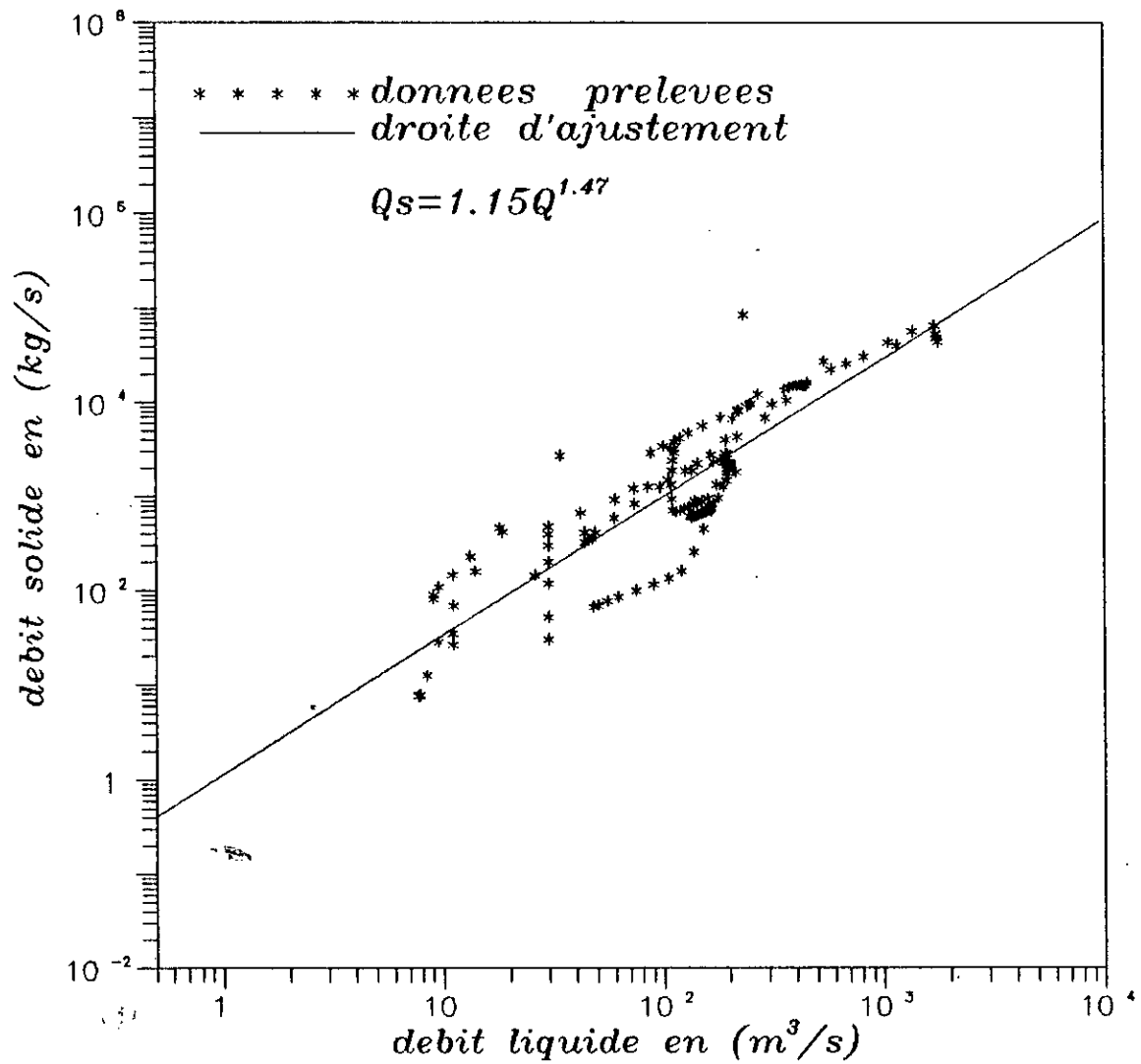


FIG.A.1.5:  
 DROITE DE REGRESSION DEBIT SOLIDE-DEBIT LIQUIDE  
 pour la montee de la crue  
 (BASSIN CHELLIF \* saisons de printemps \*)



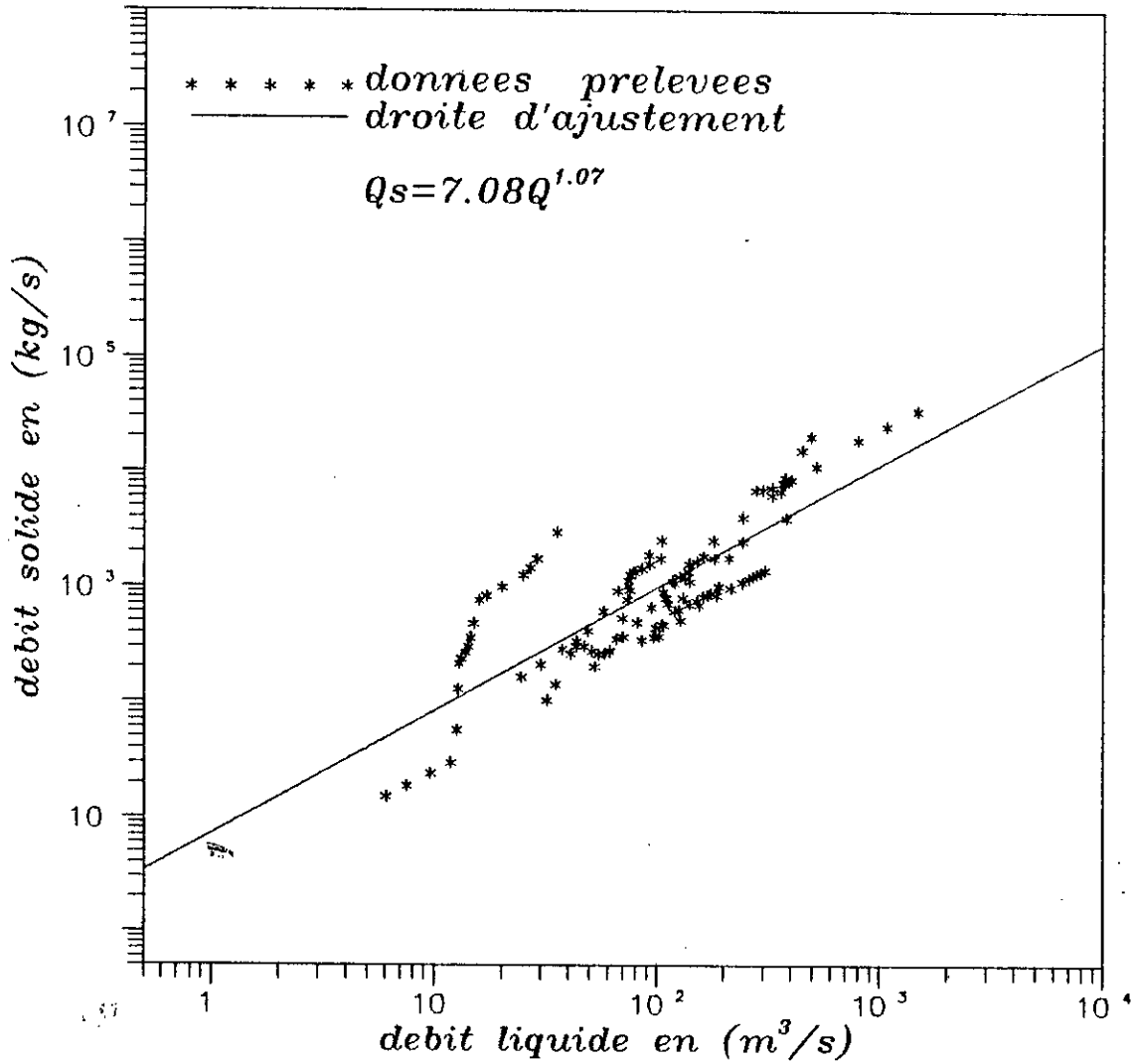


FIG.A.1.6:  
 DROITE DE REGRESSION DEBIT SOLIDE-DEBIT LIQUIDE  
 pour la descente de la crue  
 (BASSIN CHELLIF \* saisons de printemps \*)

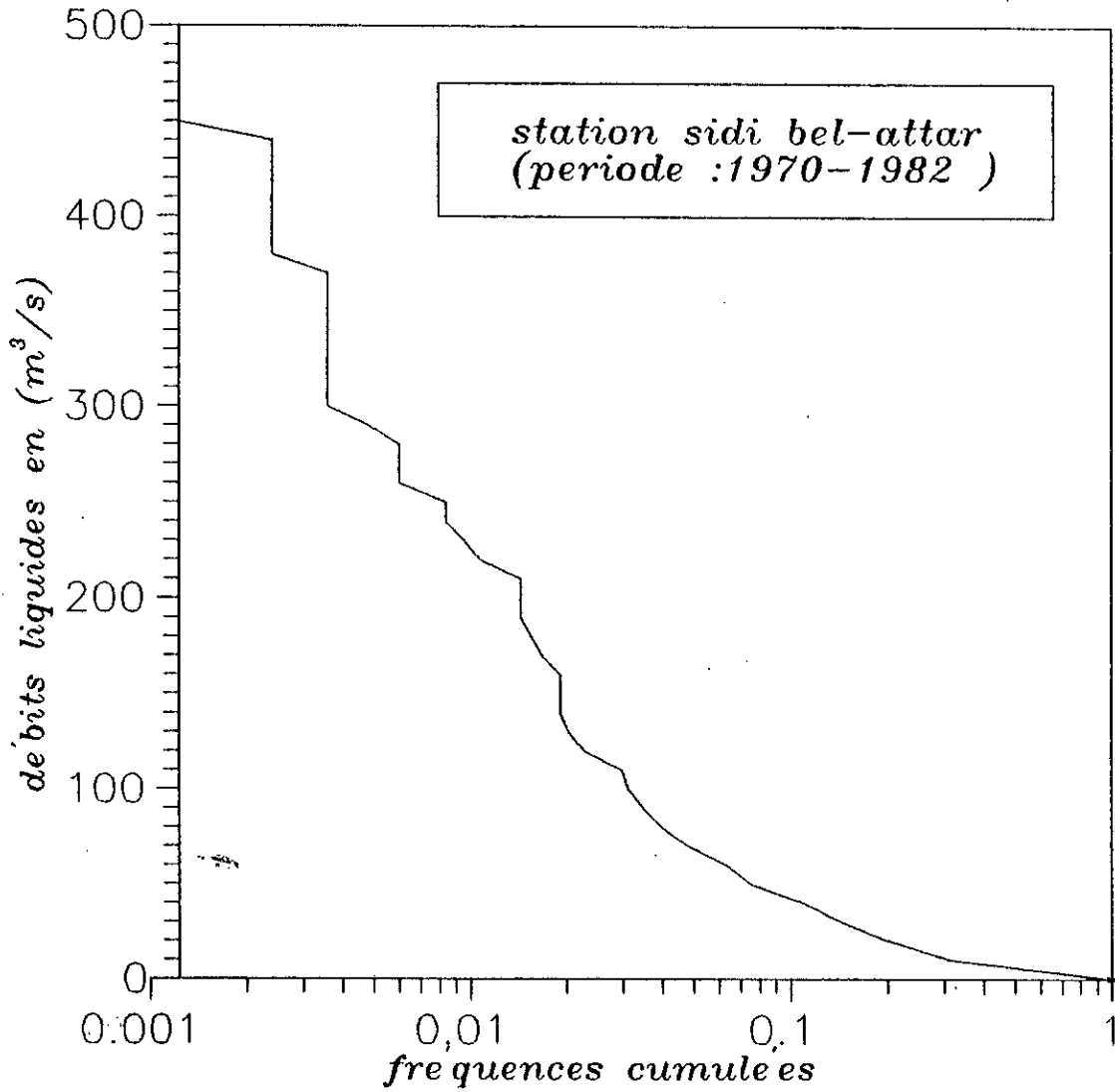


FIG.A.2.1:  
COURBE DES DEBITS CLASSES  
(BASSIN CHELLIF\* SAISONS D'AUTOMNES \*)

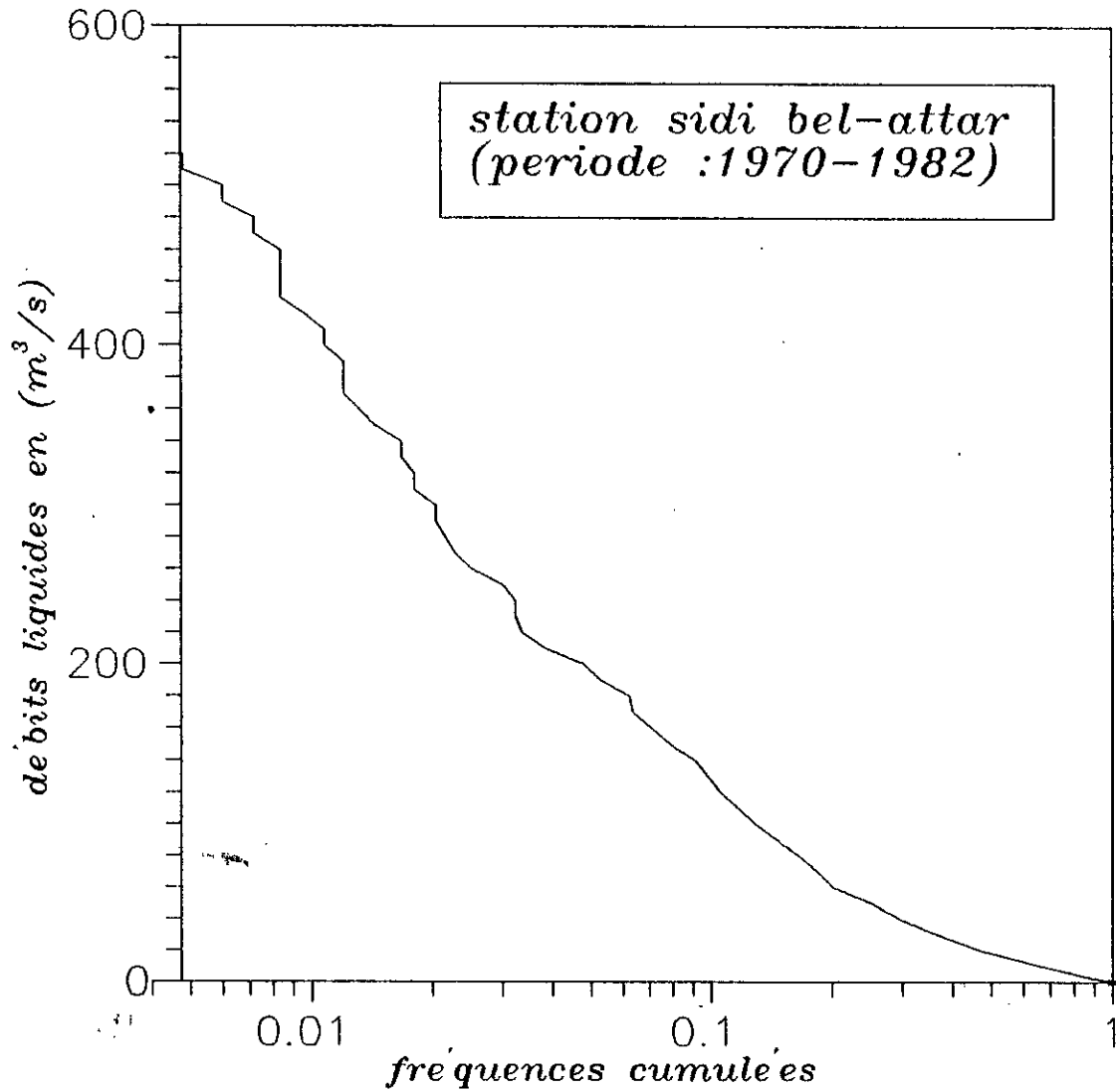


FIG.A.2.2:  
COURBE DES DEBITS CLASSES  
(BASSIN CHELLIF\* SAISONS D'HIVERS \*)

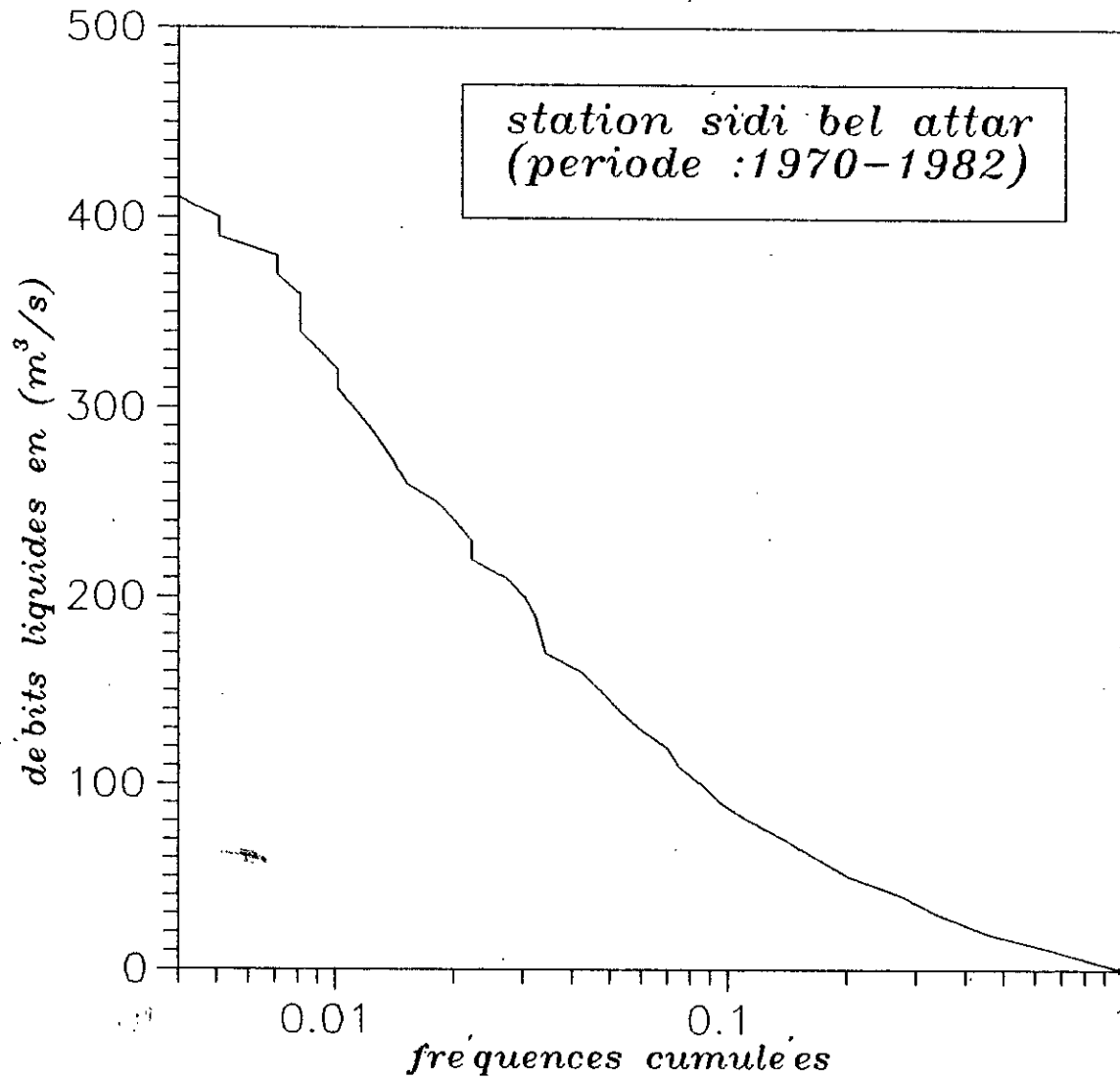
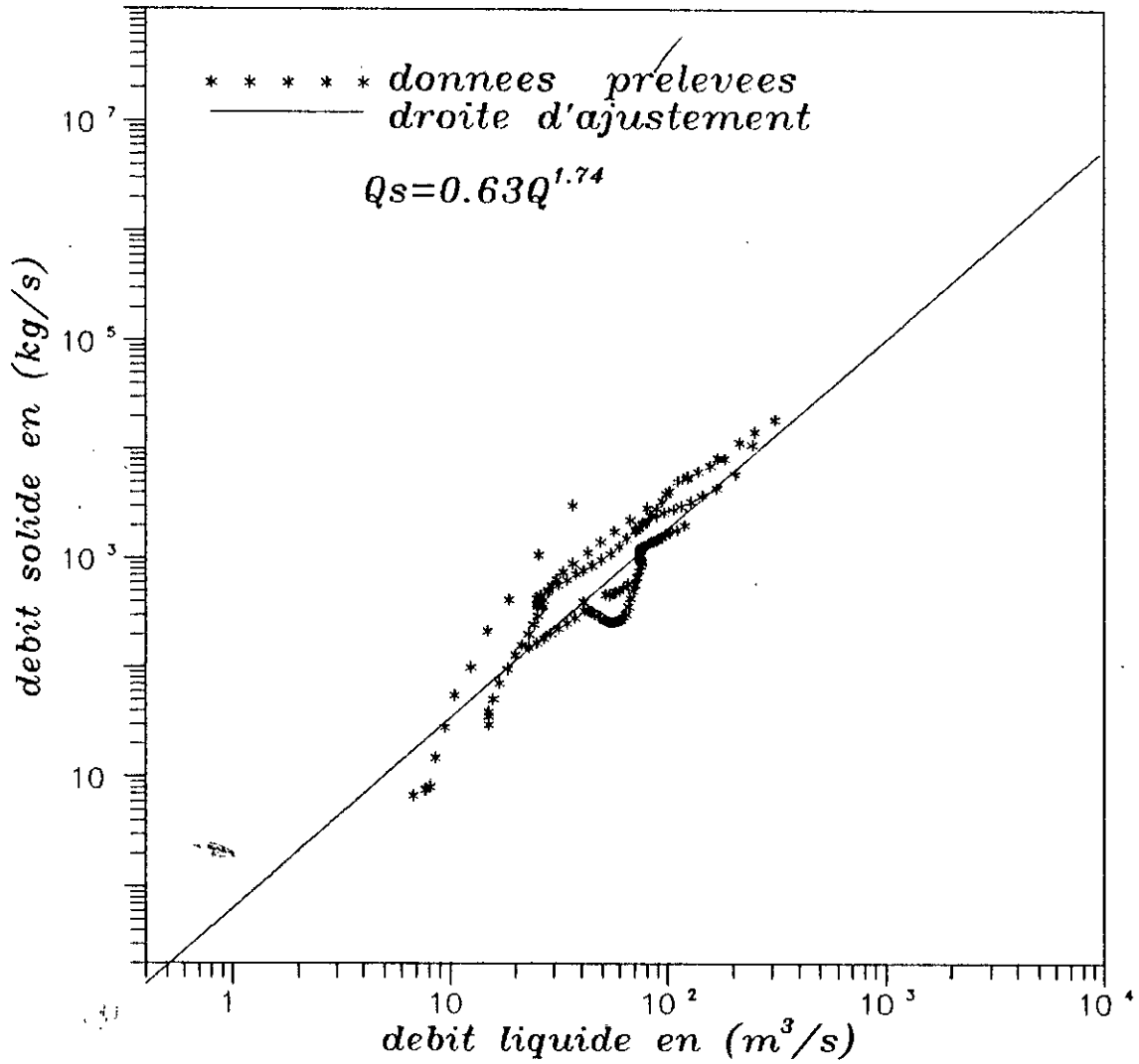


FIG.A.2.3:  
COURBE DES DEBITS CLASSES  
(BASSIN CHELLIF\* SAISONS DE PRINTEMPS \*)



**FIG.A.3.3:**  
**DROITE DE REGRESSION DEBIT SOLIDE-DEBIT LIQUIDE**  
 pour la descente de la crue  
 (BASSIN CHELLIF \* ANNEE 77-78 \* )

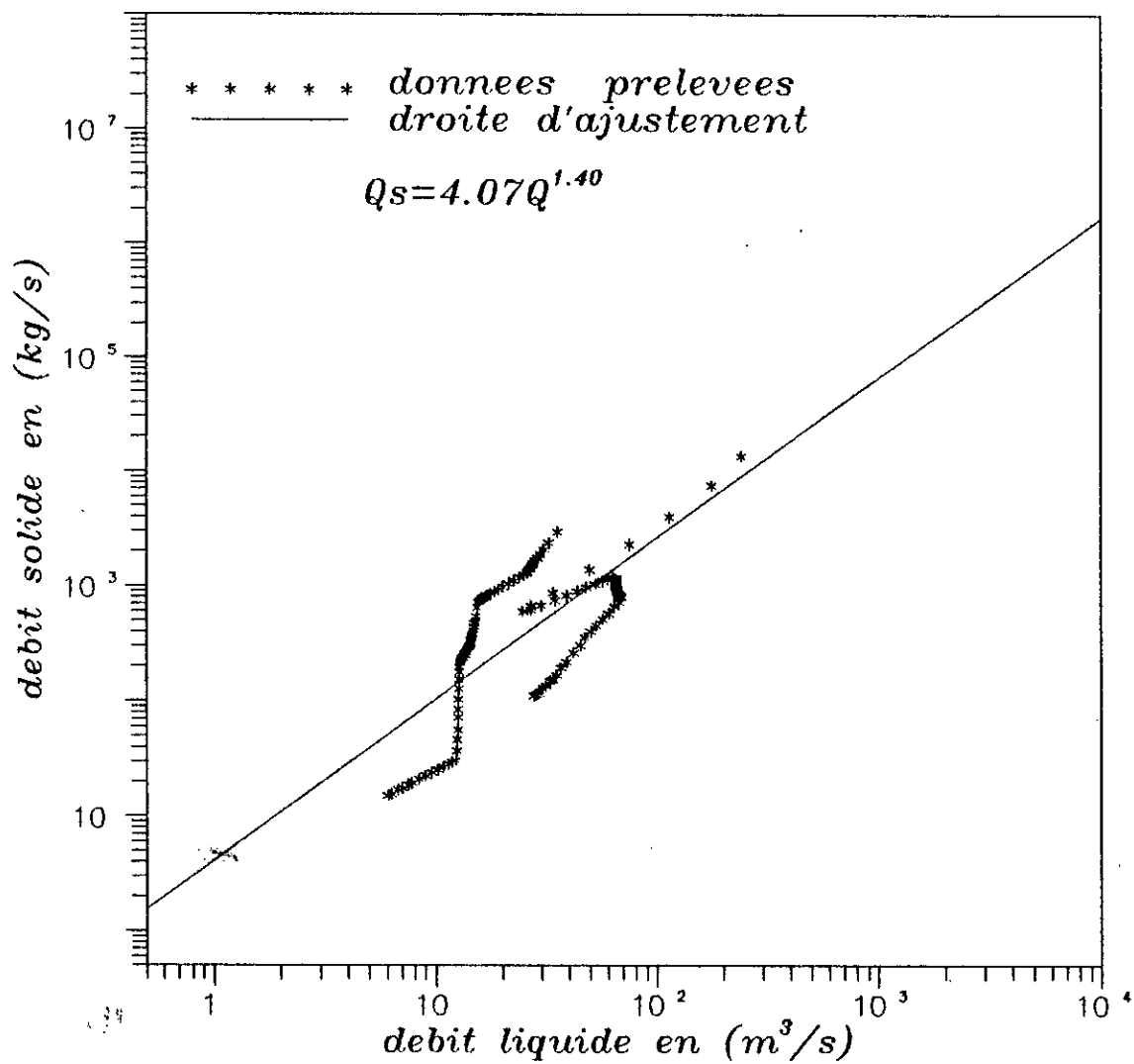
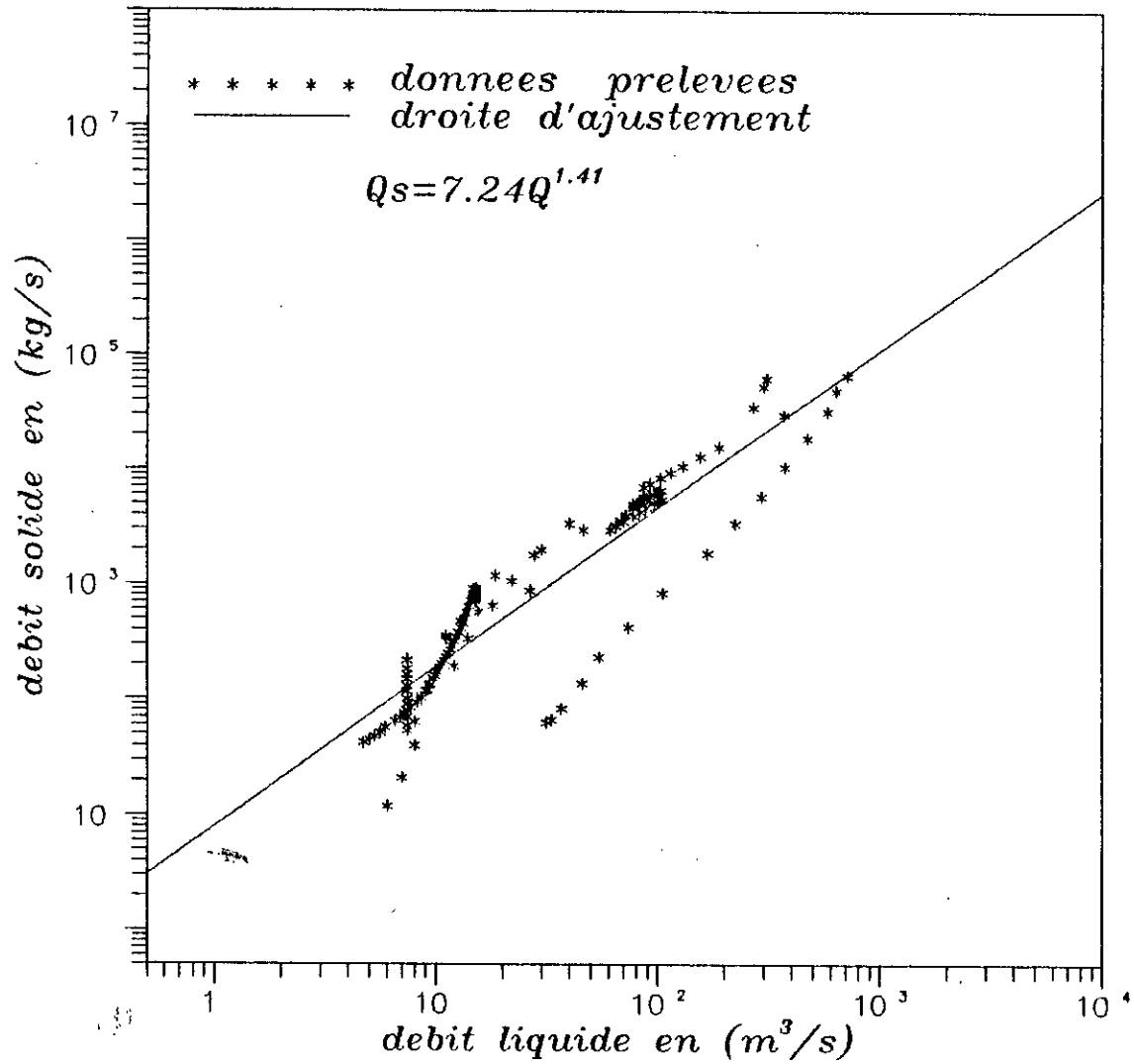


FIG.A.3.4:  
 DROITE DE REGRESSION DEBIT SOLIDE-DEBIT LIQUIDE  
 pour la descente de la crue  
 (BASSIN CHELLIF \* ANNEE 75-76 \* )



**FIG.A.3.5:**  
**DROITE DE REGRESSION DEBIT SOLIDE-DEBIT LIQUIDE**  
**pour la montee de la crue**  
**(BASSIN CHELLIF \* ANNEE 76-77 \* )**

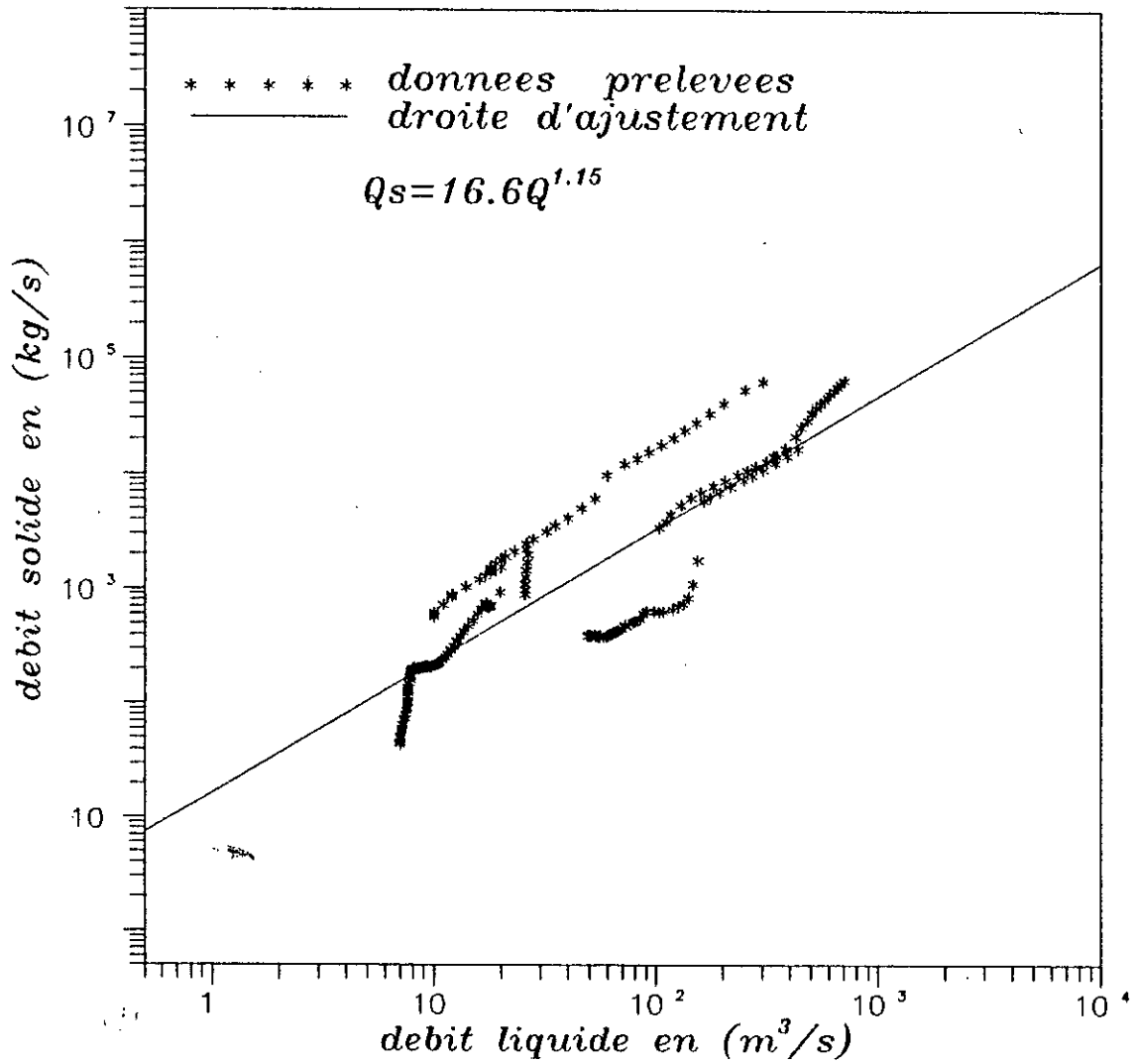
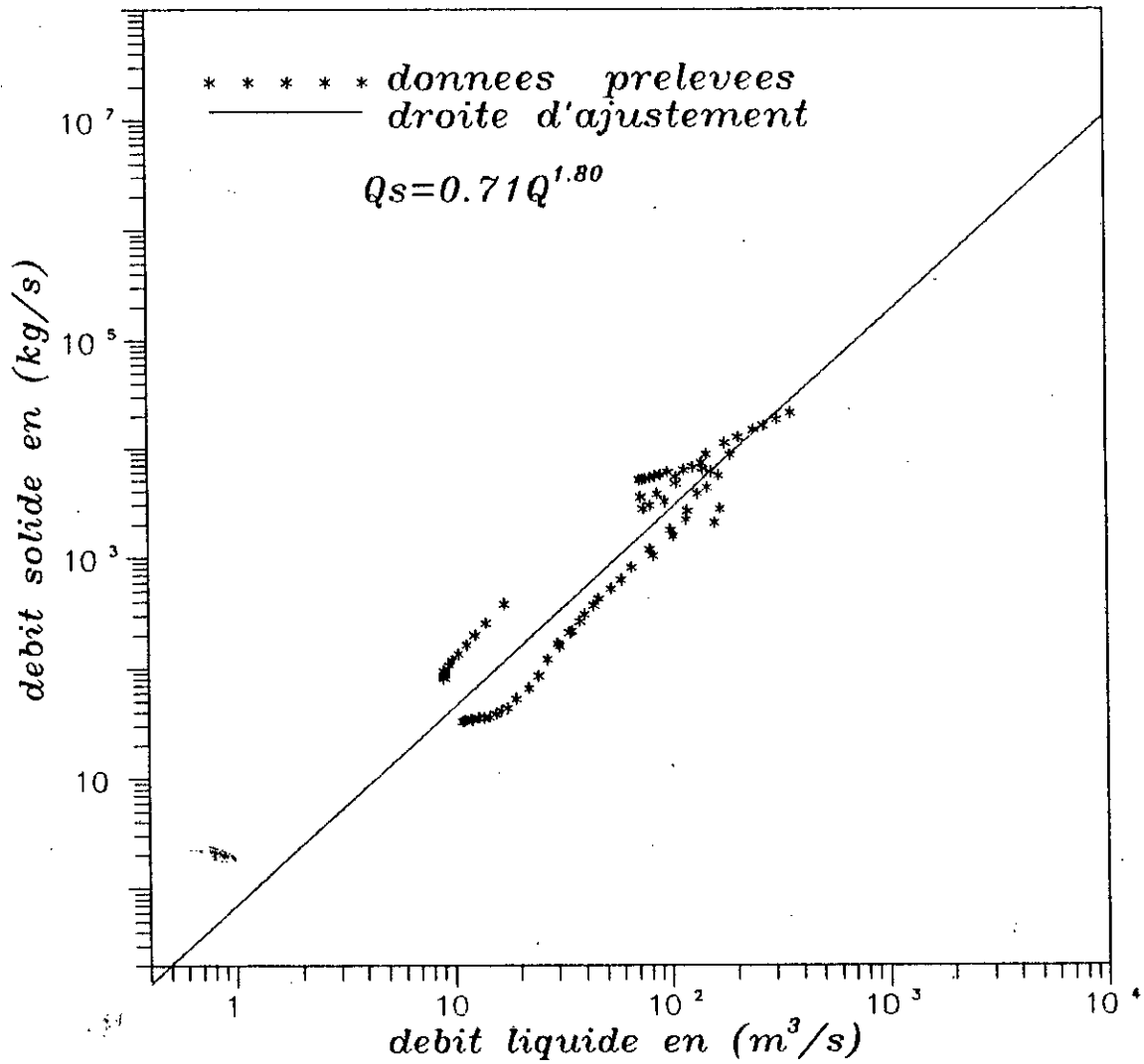


FIG.A.3..6:  
 DROITE DE REGRESSION DEBIT SOLIDE-DEBIT LIQUIDE  
 pour la descente de la crue  
 (BASSIN CHELLIF \* ANNEE 76-77 \* )





**FIG.A.3.7:**  
**DROITE DE REGRESSION DEBIT SOLIDE-DEBIT LIQUIDE**  
 pour la monte de la crue  
 (BASSIN CHELLIF \* ANNEE 77-78 \* )

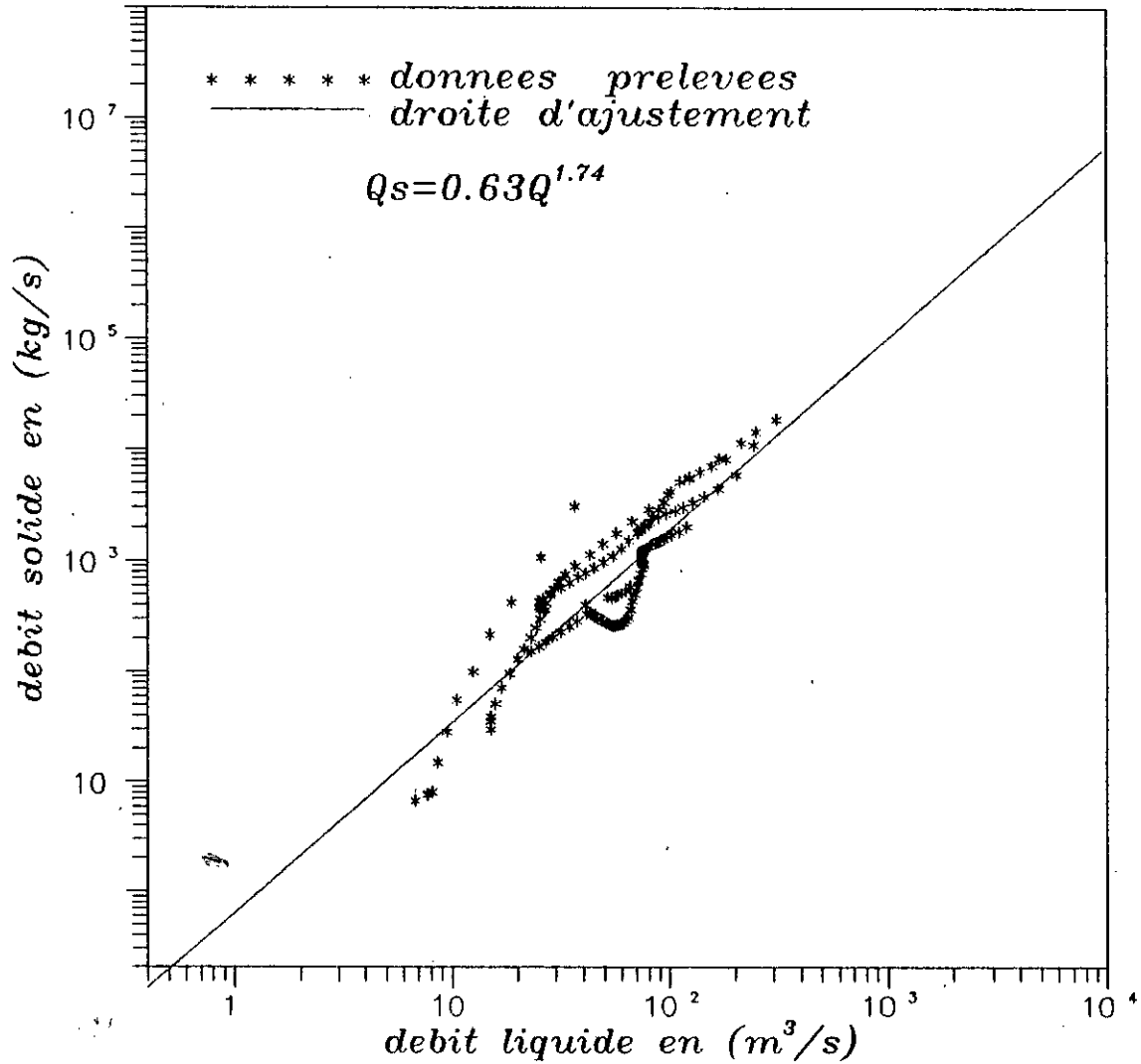


FIG.A.3.8:  
 DROITE DE REGRESSION DEBIT SOLIDE-DEBIT LIQUIDE  
 pour la descente de la crue  
 (BASSIN CHELLIF \* ANNEE 77-78 \* )

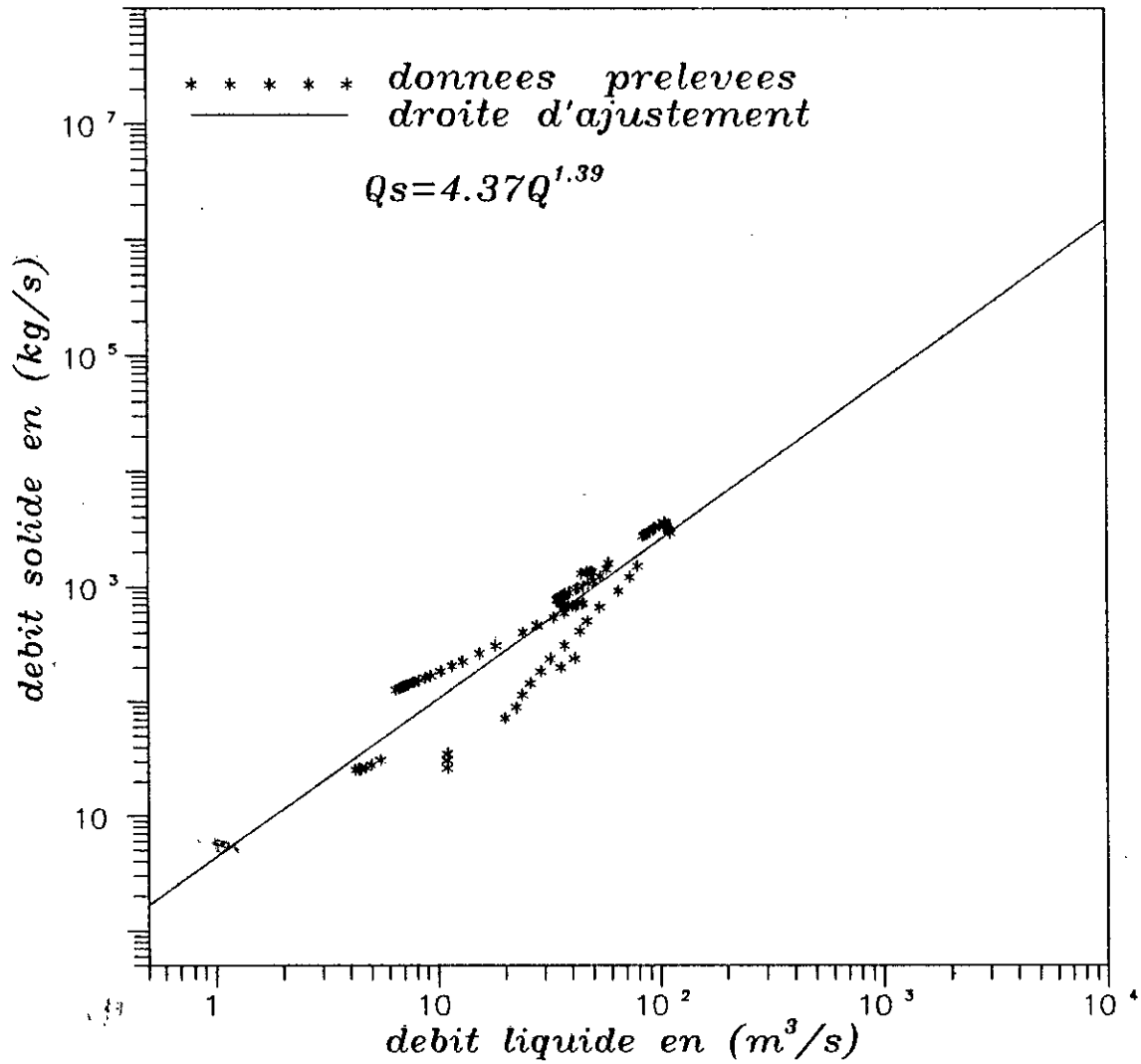


FIG.A.3.9:  
 DROITE DE REGRESSION DEBIT SOLIDE-DEBIT LIQUIDE  
 pour la montee de la crue  
 (BASSIN CHELLIF \* ANNEE 78-79 \* )

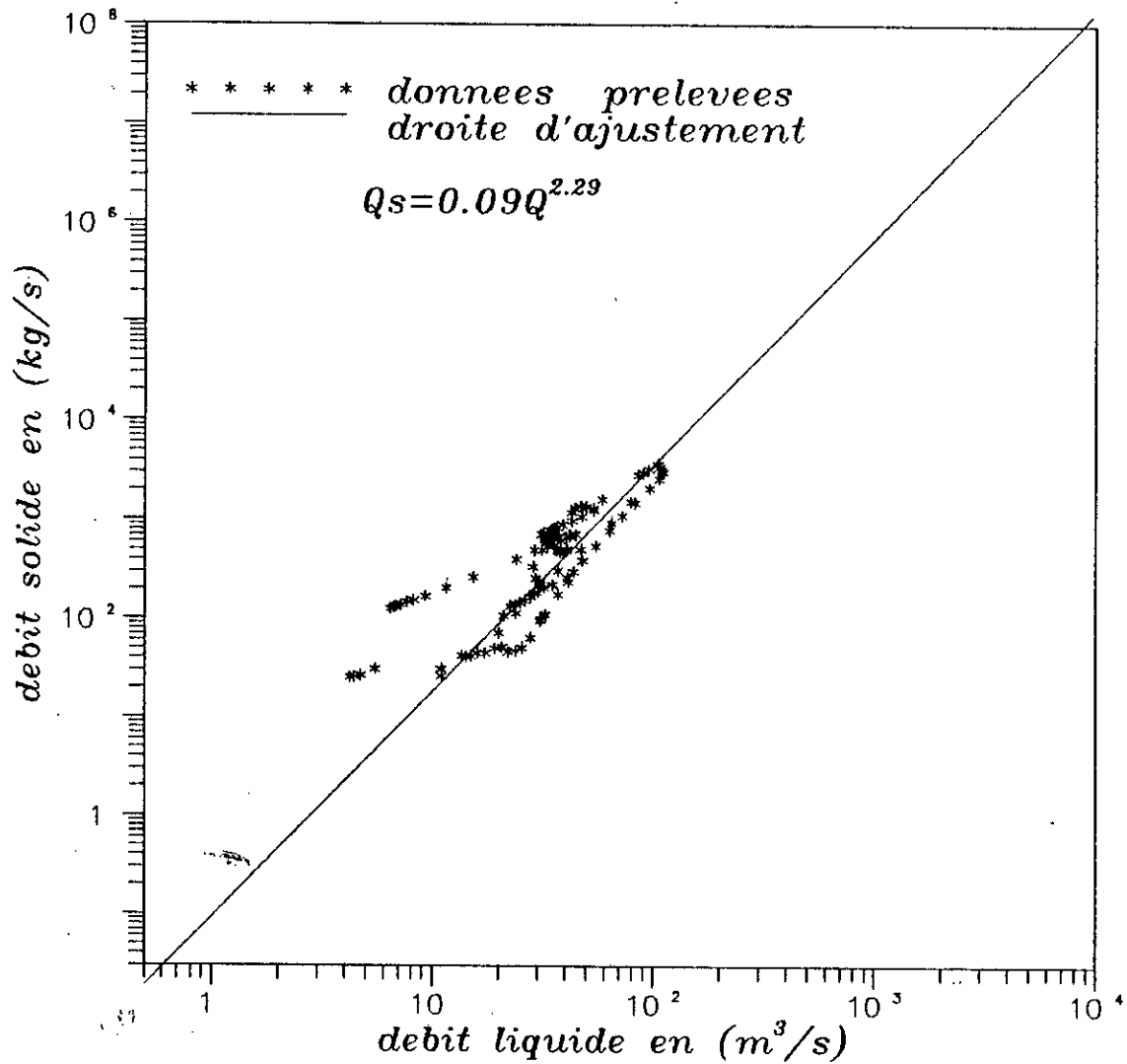
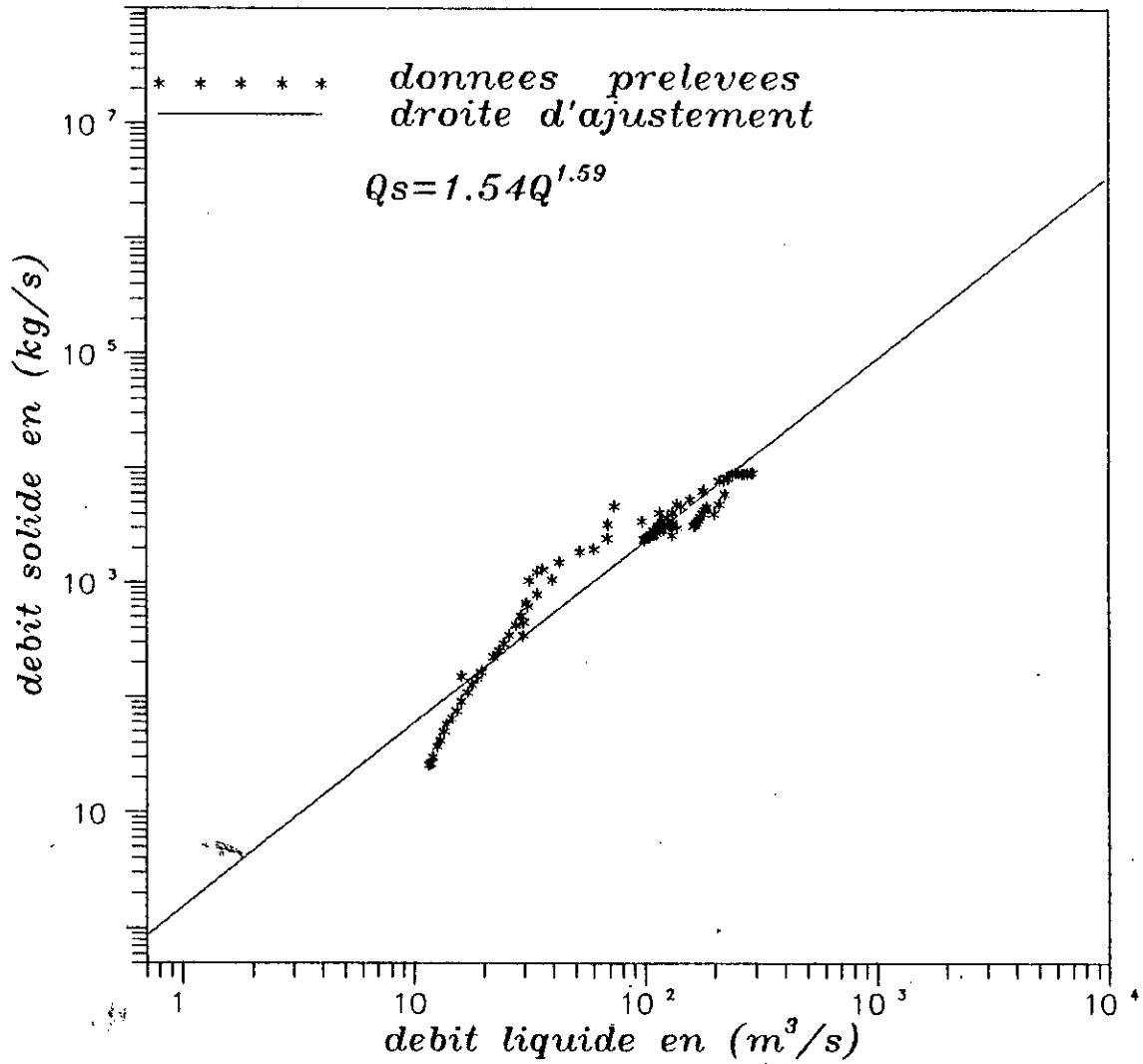


FIG.A.3.10:  
 DROITE DE REGRESSION DEBIT SOLIDE-DEBIT LIQUIDE  
 pour la descente de la crue  
 (BASSIN CHELLIF \* ANNEE 77-78 \* )



**FIG.A.3.11:**  
**DROITE DE REGRESSION DEBIT SOLIDE-DEBIT LIQUIDE**  
 pour la montée de la crue  
 (BASSIN CHELLIF \* ANNEE 79-80 \* )

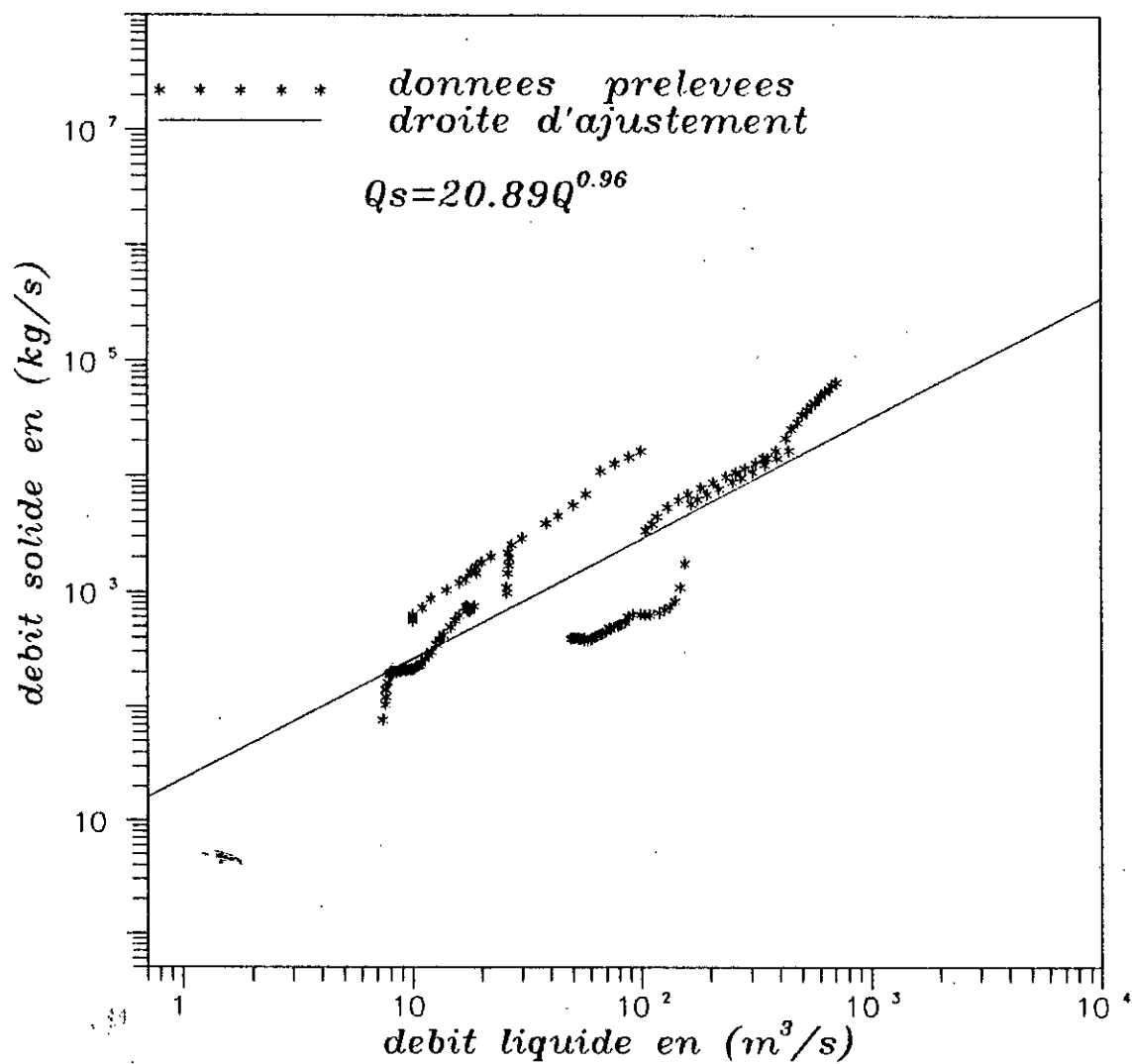


FIG.A.3.12:  
DROITE DE REGRESSION DEBIT SOLIDE-DEBIT LIQUIDE  
pour la descente de la crue  
(BASSIN CHELLIF \* ANNEE 79-80 \* )

**REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- [1] Arabi. M : « Identification de l'agriculture en Algérie contraintes et espoirs », Actes du colloque sur l'érosion des sols et l'envasement du barrage A.N.R.H , 1-3 Décembre 1991 .
  
- [2] Benhadj. M et Bouchelkia : « Contribution à la modélisation statistique des transports solides en suspension », thèse d'ingénieur .E.N.P d'Algérie , 1994 .
  
- [3] Benchabekh. A « Etude générale sur les transports solides : Définition de la méthodologie d'approche et application au bassin versant de la TAFNA », rapport No 1 , 1995 .
  
- [4] Berkani M et Remin. B « Mécanisme hydrodynamique de l'envasement , approche préliminaire » , Actes du colloque sur l'érosion des sols et l'envasement des barrages. A.N.R.H. 1-3 ,Décembre 1991 .
  
- [5] Blum. W. : « Causes et conséquences de l'érosion », Actes du colloque sur l'érosion des sols et l'envasement des barrages . A.N.R.H 1-3 , Décembre 1991 .
  
- [6] Demmak .A : « Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides en Algérie septentrionale », thèse de Docteur- ingénieur , université de Pierre et Marie curie ,France 1982.

## *Bibliographie*

- [7] Ghachi .A : « Hydrologie et utilisation de la ressource en eau en Algérie : le bassin de la seyhouse » O.P.U , Alger 1986 .
- [8] Gomer.D et Ouair.M : « Les bassins versants expérimentaux , aspects quantification de l'érosion » . Actes du colloque sur l'érosion des sols et l'envasement des barrages .A.N.R.H 1-3 Décembre 1991 .
- [9] Gomer.D et Smati.A : « Quantification et modélisation du débit liquide et solide de micro-bassins versants de l'Oued Mina au Nord Ouest d'Algérie » Actes du colloque sur l'érosion des sols et l'envasement des barrages . A.N.R.H. 1-3 Décembre ,1991
- [10] Hanensal. P : « L'érosion externe des sols par l'eau : approche quantitative et mécanismes » . Rapport de recherche L.P.C. No 138 ,Paris 1986 .
- [11] Kassoul. M : « Contribution à l'étude de la sédimentation des barrages en Algérie » . Thèse d'ingénieur l' E.N.S.H. , Blida 1991.
- [12] Lallam. L. : « Statistique et Informatique : les statistiques sous Pascal, G.W.Basic et le langage graphique » . Atlas Edition, 1993.
- [13] Lârras. J : « Hydraulique et granulat » . Edition Eyrolles ,Paris ,1982.
- [14] Mahdi . T et Machaie . k : « L'Hydraulique de la sédimentation des retenues : une approche par modèle mathématique de la formation de Delta » thèse d'Ingénieur , E.N.P d'Alger 1993.



## Bibliographie

- [15] Meddi . N : « Etude du transport solide à l'échelle de la crue dans le bassin de l'Oued Mina » Algérie Equipement , E.N.T.P , n°13 , 1994.
- [16] Remenieras. G : « L'Hydrologie de l'ingénieur » .  
Edition Eyrolles 1972.
- [17] Remini. B : « Etude hydrodynamique du mécanisme d'envasement »  
Thèse de magister E.N.P d'Alger , 1990.
- [18] Saïdi. A : « Erosion spécifique et prévision de l'envasement »  
Actes du colloque sur l'érosion des sols et l'envasement des barrages .  
A.N.R.H. 1-3 Décembre ,1991.
- [19] Salas. G.D , Delleur.G.W, Yevjevich.V and Lane.W.L :  
« Applied modeling of hydrology time series ».  
Water resources publications , U.S.A 1985 .
- [20] Sarra - Bertal .G : « Cours d'hydrologie » ,  
2 eme partie ,I.N.A EL - Harrach 1979 .
- [21] Sharp. JJ et Sawdan.P : « Basic hydrology » .  
Butter Worth , England 1984 .
- [22] Sogreah : « Etude de schéma directeur des ressources en eau  
du Cheliff » , Canada 1984.
- [23] Touabia.B : « Quantification de la salinité et du transport :  
cas du bassin de l' Oued Deurdeur ».  
thèse de magister ,I.N.A Alger 1986 .